ISSN 2238-8486

PERSPECTIVA

EDUCAÇÃO, GESTÃO & TECNOLOGIA



Fatec Itapetininga

Prof. Antonio Belizandro Barbosa Resende

EXPEDIENTE

Editores Responsáveis

Fábio Albuquerque Entelmann - Fatec Itapetininga
Gilcéia Goularte de Oliveira Garcia - Fatec Itapetininga
Jefferson Biajone - Fatec Itapetininga
Silvia Panetta Nascimento - Fatec Itapetininga

Corpo Editorial

Ademar Soares Castelo Branco - Fatec Itapetininga
Ademir Diniz Neves - Fatec Itapetininga
Ana Claudia Rocha Braga - Fatec Itapetininga
Anderson Cardoso - Fatec Itapetininga
Andréa Pavan Perin - Fatec Itapetininga
Andréia Rodrigues Cassare - Fatec Itapetininga
Andressa Silvério Terra França - Instituto Federal de São Paulo
Antonio Roberto Giriboni Monteiro - Universidade Estadual de Maringá
Bruno Miguel Nogueira de Souza - Universidade Estadual do Norte do Paraná
Bruno José Viana Kortz - Fatec Itapetininga
Cesário de Moraes Leonel Ferreira - Fatec Itapetininga
Claudia Cirineo Ferreira Monteiro - Universidade Estadual de Maringá
Danilo Ruy Gomes - Fatec Itapetininga
Deivison Shindi Takatu - Fatec Itapetininga
Emerson Duarte Bonfim - Fatec Itapetininga
Eva Fagundes Weber - Fatec Itapetininga
Flavia Cristina Cavalini - Fatec Itapetininga
Fernanda Cristina Pierre Di Nardo - Fatec Botucatu
Frederico Guilherme de Souza Beghelli - Fatec Itapetininga
Helder Boccaletti - Fatec Itapetininga
José Alfredo Villagómez-Cortés - Universidad Veracruzana, Mexico
Isolina Maria Leite de Almeida - Fatec Itapetininga
Linda Catarina Gualda - Fatec Itapetininga
Luciana do Santos Almeida - Fatec Itapetininga
Luciana Ruggiero Gonzalez - Fatec Itapetininga
Marcelo do Santos Moreira - Fatec Itapetininga
Marcelo dos Santos Silvério - Fatec Itapetininga
Marco Antonio Basseto - Unesp Botucatu
Marcus Vinicius Branco de Souza - Fatec Itapetininga
Paula Rodrigues Granato - Fatec Itapetininga
Paulo Cesar Doimo Mendes - Fatec Itapetininga
Roberto Clarete Simonetti - Fatec Itapetininga
Rodrigo Diniz - Fatec Itapetininga
Rosangela Gonsalves de Araujo - Fatec Itapetininga
Sonia Maria Esposte Sturaro - Fatec Capão Bonito
Soraya Regina Sacco Surian - Instituto Federal Catarinense
Valéria Cristina Scudeler - Fatec Itapetininga

Diagramação, Portal, Edição Digital e QR Codes

Gilcéia Goularte de Oliveira Garcia
Jefferson Biajone
Lucas Mendes da Silva Del Duque

Multidisciplinar



ISSN 2238-8486

Portal da Revista

Prezados leitores,

É com grande satisfação que apresentamos a mais recente edição da Revista Perspectiva em Educação, Gestão & Tecnologia, da Fatec Itapetininga, periódico que se consolida como um espaço privilegiado para a difusão científica e para o fortalecimento do diálogo interdisciplinar. Neste semestre, celebramos o início de uma nova etapa com o lançamento do novo site da revista, agora estruturado no *Open Journal Systems* (OJS), plataforma de gestão editorial e publicação científica amplamente adotada no meio acadêmico, cuja importância reside na padronização dos fluxos de editoração, na ampliação da visibilidade dos periódicos e no fortalecimento das práticas de ciência aberta.

Registramos nossa profunda gratidão ao corpo editorial e damos as boas-vindas aos novos membros, cuja dedicação e compromisso têm sido fundamentais para a consolidação e o contínuo aprimoramento da missão institucional da revista.

Nesta edição, reunimos 29 artigos que abordam questões de elevada relevância no cenário contemporâneo, contemplando desafios relacionados ao desenvolvimento econômico, educacional, humano e ambiental. As contribuições refletem o empenho coletivo de alunos e professores das FATECs de Itapetininga, SEBRAE, Tatuí, Sorocaba, Mogi das Cruzes, Rubens Lara, São Paulo, Votorantim, Botucatu e Itaquera, da Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR) e da Faculdade de Ensino Superior Santa Bárbara (FAESB). Essa diversidade institucional traduz a riqueza das experiências acadêmicas e a pluralidade de perspectivas que enriquecem nosso debate científico.

Convidamos nossos leitores a explorar os conteúdos desta edição com atenção e abertura intelectual, certos de que encontrarão reflexões instigantes e resultados que contribuem para o avanço da ciência e da sociedade.

Desejamos a todos uma leitura proveitosa e inspiradora, que fortaleça ainda mais o compromisso coletivo com o saber.

Gilcéia G. de Oliveira Garcia

Profª Esp. Gilcéia Goularte de Oliveira Garcia

Editora Responsável

A UTILIZAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO COMBATE AO *PHISHING*
THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN COMBATING PHISHING

Thayná Marostica Machado da Silva[1]
Rafael de Sá Mascarenhas[2]

RESUMO: Este artigo analisa o fenômeno do *phishing* sob a ótica da Engenharia Social, investigando a manipulação de vieses cognitivos para a exfiltração de dados sensíveis. Por meio de uma pesquisa bibliográfica, examina-se o papel da Inteligência Artificial (IA) na identificação e mitigação de ameaças cibernéticas. A pesquisa estratifica a eficácia de algoritmos de Machine Learning (ML), como Support Vector Machine (SVM) e XGBoost, na análise estatística e reconhecimento de padrões em metadados. Adicionalmente, explora-se a aplicação de redes neurais de Longa Memória de Curto Prazo (LSTM) e Processamento de Linguagem Natural (PLN) no domínio do Deep Learning (DL), visando a detecção de gatilhos semânticos de urgência e coerção em comunicações eletrônicas. Os resultados indicam que a integração híbrida de modelos de ML e DL potencializa a acurácia preditiva, superando limitações de abordagens isoladas. Discute-se, ainda, a natureza dual da IA evidenciando seu uso ambivalente: como vetor de defesa robusta e como ferramenta de automação para ataques de *spear-phishing* em larga escala. Conclui-se que a implementação de sistemas multicamadas baseadas em IA é imperativa para a resiliência cibernética de usuários em diversos níveis de proficiência técnica.
Palavras-chave: Cibersegurança; Deep Learning; Inteligência Artificial; Machine Learning; Prevenção.

ABSTRACT: This paper analyzes the phenomenon of phishing through the lens of Social Engineering, investigating the manipulation of cognitive biases for sensitive data exfiltration. Through a systematic literature review, the role of Artificial Intelligence (AI) in identifying and mitigating cyber threats is examined. The research stratifies the efficacy of Machine Learning (ML) algorithms, such as Support Vector Machine (SVM) and XGBoost, in statistical analysis and pattern recognition within metadata. Additionally, it explores the application of Long Short-Term Memory (LSTM) networks and Natural Language Processing (NLP) within the Deep Learning (DL) domain, aiming to detect semantic triggers of urgency and coercion in electronic communications. The results indicate that the hybrid integration of ML and DL models enhances predictive accuracy, overcoming the limitations of isolated approaches. Furthermore, the dual nature of AI is discussed, highlighting its ambivalent use: as a robust defense vector and as an automation tool for large-scale spear-phishing attacks. It is concluded that the implementation of AI-based multi-layered systems is imperative for the cyber resilience of users across diverse levels of technical proficiency.
Keywords: Artificial Inteligence; Cybersecurity; Deep Learning; Machine Learning; Prevention.

Mestranda em Ciências da Computação - Universidade Federal de São Carlos - E-mail: thaynamms@estudante.ufscar.br [1]
Mestre em Computação Aplicada – Universidade Presbiteriana Mackenzie - E-mail: rafael.mascarenhas@mackenzie.br [2]

1 INTRODUÇÃO

O *Phishing*, embora historicamente consolidado, permanece como uma das táticas de exfiltração de dados mais persistentes e eficazes no ecossistema de ameaças cibernéticas contemporâneo. Fundamentado em vetores de Engenharia Social, o ataque visa manipular psicologicamente a vítima, explorando suas vulnerabilidades, para que informe seus dados sensíveis de forma intencional (Oliveira *et al.*, 2025). No cenário brasileiro, a criticidade deste fenômeno é evidenciada por métricas alarmantes: em 2022, registrou-se uma média de 1.540 incidentes semanais, com uma trajetória de crescimento acentuada pela digitalização acelerada de serviços (Junior; Cunha, 2022).

A despeito dos esforços em programas de conscientização, a sofisticação dos ataques, que agora contam com o auxílio de IAs Generativas para criar comunicações personalizadas e convincentes, impõe limites à eficácia de medidas puramente educativas. Diante disso, torna-se imperativo o desenvolvimento de sistemas de detecção automatizados que operem de forma contínua e transparente, mitigando o erro humano sem comprometer a usabilidade do sistema.

A Inteligência Artificial (IA) emerge como o paradigma para a segurança preditiva. Definida pela aplicação de algoritmos de alta complexidade voltados ao processamento massivo de dados e otimização de funções sistêmicas (MORAIS; BRANCO, 2023), a IA permite a identificação de anomalias em *datasets* diversos em origem e formato. A eficácia dessa tecnologia em identificar padrões complexos já é observada em diversos domínios críticos. Na área da segurança da informação, por exemplo, algoritmos de Machine Learning e Deep Learning podem ser aplicados na prevenção e respostas automáticas a detecções suspeitas (Monfre *et al.*, 2023). Essa capacidade de processamento de variáveis multimodais fundamenta a transposição dessas tecnologias para a cibersegurança, onde a complexidade dos ataques de *phishing* exige a mesma acurácia diagnóstica.

O desafio científico, contudo, reside na seleção e no treinamento de subáreas específicas, dado que as variantes de *phishing* apresentam comportamentos distintos, desde a ofuscação de URLs até a manipulação semântica em comunicações de texto. O presente trabalho propõe uma investigação bibliográfica acerca da eficácia da IA na detecção e mitigação de ataques de *phishing*. A análise foca na convergência entre

Machine Learning e modelos de Processamento de Linguagem Natural, examinando como modelos estatísticos e redes neurais profundas processam indicadores de comprometimento (IoCs). Ao integrar a análise técnica da Engenharia Social com o estado da arte em computação cognitiva, este estudo visa sistematizar o conhecimento necessário para a construção de defesas resilientes contragolpes digitais em tempo real.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste estudo é analisar a eficácia das arquiteturas de Machine Learning (Support Vector Machine e XGBoost) e Deep Learning (redes LSTM e modelos de Processamento de Linguagem Natural) na detecção proativa de ataques de *phishing*, avaliando sua capacidade de gerar alertas precisos e mitigar a vulnerabilidade do usuário final frente a vetores de engenharia social.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Sistematizar o estado da arte acerca das variantes de *phishing* e suas táticas de evasão, estabelecendo uma taxonomia dos desdobramentos atuais no cenário de ameaças cibernéticas;
- Avaliar o desempenho de algoritmos de IA (como SVM, XGBoost e Redes Neurais LSTM) na identificação de padrões maliciosos em datasets de URLs e e-mails, comparando métricas de acurácia e falsos positivos;
- Discutir o paradigma da IA Adversária, examinando como criminosos utilizam a automação e modelos generativos para sofisticar a criação e a distribuição de campanhas de *phishing*.

2 METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como uma pesquisa bibliográfica de natureza qualitativa. Segundo Gerhardt e Silveira (2009), a pesquisa qualitativa não se preocupa com representatividade numérica, mas com o aprofundamento da compreensão de um grupo social ou organização. Para garantir o rigor científico na

seleção do corpus documental, seguiu-se o protocolo de Sampaio (2022), que estabelece etapas estruturadas de busca, filtragem e análise crítica, permitindo uma síntese fiel do estado da arte sobre o combate ao *phishing* via IA.

2.1 ESTRATÉGIA DE BUSCA E PROTOCOLO DE SELEÇÃO

Para o levantamento do corpus documental, foi consultada a base de dados Google Scholar, selecionada por sua abrangência na indexação de periódicos científicos, teses e anais de eventos de relevância acadêmica. Cada publicação identificada foi submetida aos seguintes critérios de elegibilidade:

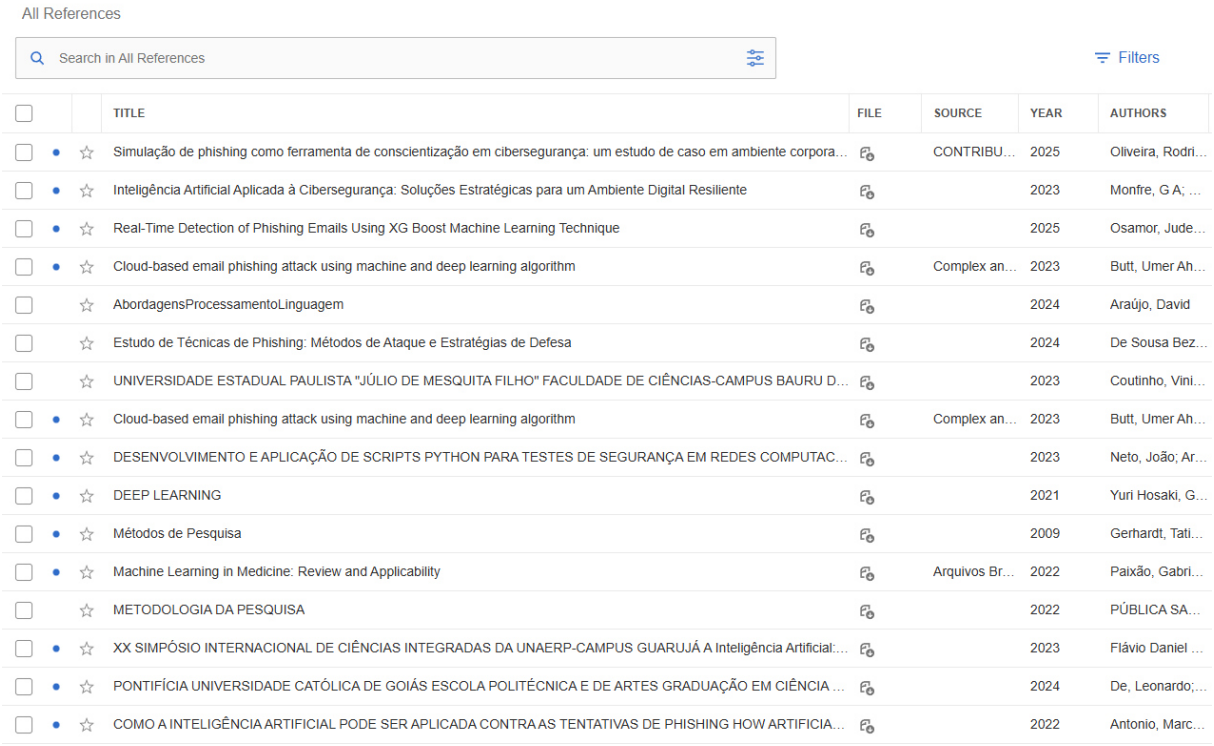
- Pertinência Temática: Verificação da aderência aos eixos centrais: *Phishing*, Engenharia Social e Inteligência Artificial. Publicações que não apresentavam convergência direta com os objetivos da pesquisa foram sumariamente descartadas em favor do tópico subsequente.
- Recorte Temporal: Estabeleceu-se uma janela de dez anos (2020–2025), intervalo que compreende a ascensão das arquiteturas de Redes Neurais Profundas e a crescente sofisticação das ameaças cibernéticas.
- Filtro Linguístico: Restringiu-se a seleção a materiais redigidos em português e inglês, assegurando a precisão na interpretação terminológica e técnica dos algoritmos discutidos.

2.2 GESTÃO E SISTEMATIZAÇÃO DO REFERENCIAL TEÓRICO

Após a etapa de filtragem, o gerenciamento do material selecionado foi operacionalizado através do software Mendeley Reference Manager. A utilização desta ferramenta visou assegurar a integridade dos metadados (autoria, ano e título) e a padronização normativa das citações e referências ao longo do manuscrito.

A organização interna do referencial foi estratificada por meio de uma arquitetura de pastas temáticas e indexação por etiquetas (tags), conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Levantamento das publicações



		TITLE	FILE	SOURCE	YEAR	AUTHORS
☐	• ☆	Simulação de phishing como ferramenta de conscientização em cibersegurança: um estudo de caso em ambiente corpora…		CONTRIBU…	2025	Oliveira, Rodri…
☐	• ☆	Inteligência Artificial Aplicada à Cibersegurança: Soluções Estratégicas para um Ambiente Digital Resiliente			2023	Monfre, G A; …
☐	• ☆	Real-Time Detection of Phishing Emails Using XG Boost Machine Learning Technique			2025	Osamor, Jude…
☐	• ☆	Cloud-based email phishing attack using machine and deep learning algorithm		Complex an…	2023	Butt, Umer Ah…
☐	☆	AbordagensProcessamentoLinguagem			2024	Araújo, David
☐	☆	Estudo de Técnicas de Phishing: Métodos de Ataque e Estratégias de Defesa			2024	De Sousa Bez…
☐	☆	UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO" FACULDADE DE CIÊNCIAS-CAMPUS BAURU D…			2023	Coutinho, Vini…
☐	• ☆	Cloud-based email phishing attack using machine and deep learning algorithm		Complex an…	2023	Butt, Umer Ah…
☐	• ☆	DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE SCRIPTS PYTHON PARA TESTES DE SEGURANÇA EM REDES COMPUTAC…			2023	Neto, João; Ar…
☐	• ☆	DEEP LEARNING			2021	Yuri Hosaki, G…
☐	• ☆	Métodos de Pesquisa			2009	Gerhardt, Tati…
☐	• ☆	Machine Learning in Medicine: Review and Applicability		Arquivos Br…	2022	Paixão, Gabri…
☐	☆	METODOLOGIA DA PESQUISA			2022	PÚBLICA SA…
☐	• ☆	XX SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS INTEGRADAS DA UNAERP-CAMPUS GUARUJÁ A Inteligência Artificial:…			2023	Flávio Daniel …
☐	• ☆	PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS ESCOLA POLITÉCNICA E DE ARTES GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA …			2024	De, Leonardo;…
☐	• ☆	COMO A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PODE SER APLICADA CONTRA AS TENTATIVAS DE PHISHING HOW ARTIFICIA…			2022	Antonio, Marc…

Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

Como demonstrado no mapeamento das produções científicas, o corpus documental foi estratificado em quatro eixos distintos para fundamentar a progressão teórica do estudo. O domínio de *Phishing* e Engenharia Social concentra as fontes voltadas aos vetores de ataque e à manipulação comportamental, enquanto o eixo de IA, agrupa o referencial sobre processamento massivo de dados e lógica algorítmica.

Por fim, a categoria de Machine Learning (ML) e Deep Learning (DL) que reúne a literatura técnica sobre modelos preditivos e classificação automatizada de ameaças, ao passo que o segmento de Metodologia de Pesquisa consolida as diretrizes procedimentais que nortearam a pesquisa.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 *PHISHING* E ENGENHARIA SOCIAL

A Engenharia Social consiste em uma estratégia de ataque baseada na manipulação psicológica de indivíduos para a obtenção de dados sensíveis ou o acesso a sistemas restritos, explorando vulnerabilidades do comportamento humano

em detrimento de intrusões estritamente técnicas (Alves, 2024). Para tanto, utiliza-se de gatilhos como o senso de urgência ou a simulação de relações de confiança, de forma que independente do nível de conhecimento técnico e treinamento esses ataques podem ser realizados com sucesso (Oliveira *et al.*, 2025). Dentre as variações de *phishing* associadas a essa prática, o Spear *Phishing* caracteriza-se por comunicações eletrônicas personalizadas para alvos específicos com o intuito de instalar malwares e extrair dados, enquanto o Clone *Phishing* baseia-se na replicação de e-mails legítimos anteriormente enviados, substituindo links originais por endereços maliciosos (Junior; Cunha, 2022).

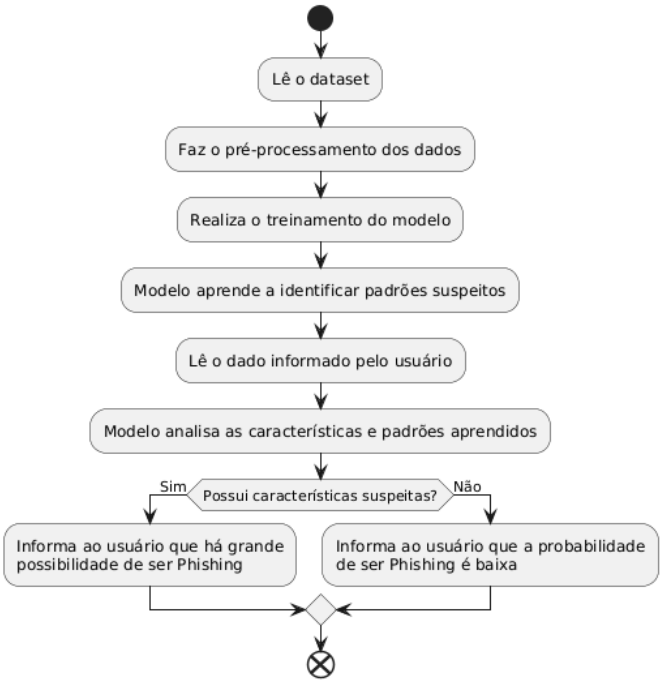
3.2 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E O EMPREGO DE MACHINE LEARNING

A Inteligência Artificial atua no processamento de volumes de dados que excedem a capacidade de análise manual, permitindo a identificação de padrões de ataque (Morais; Branco, 2023).

Dentro desse domínio, o Machine Learning (ML) integra técnicas matemáticas e estatísticas a algoritmos para identificar padrões em conjuntos de variáveis e realizar predições. Através do treinamento com datasets de volumetria expressiva, os modelos tornam-se capazes de detectar anomalias em elementos como URLs e metadados de comunicações eletrônicas (Coutinho, 2023).

Por fundamentar-se em métodos estatísticos, esses algoritmos quantificam características para calcular a probabilidade de uma ameaça, classificando a natureza da interação e auxiliando na prevenção de ataques de maneira automatizada (Junior; Cunha, 2022). O fluxo operacional desses modelos compreende desde a extração de atributos até a decisão final, fornecendo a estrutura para a mitigação de riscos decorrentes da Engenharia Social, conforme visto na Figura 2, uma exemplificação vislumbrada na literatura.

Figura 2 - Fluxo de funcionamento de algoritmos de ML



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

Como visualizado na Figura 2, o fluxo operacional dos algoritmos de ML inicia-se com a coleta de datasets e o subsequente pré-processamento dos dados, etapa em que as características são normalizadas para o treinamento do modelo. Quando a análise recai sobre textos, esse estágio assume maior profundidade técnica ao envolver métodos como a Tokenização, que segmenta o conteúdo linguístico em unidades menores, e o TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency), utilizado para mensurar a relevância estatística de termos específicos em relação ao corpus documental.

Esse refinamento dos dados brutos é necessário para garantir a eficácia da classificação. Segundo Coutinho (2023, p. 24), "o objetivo de um classificador é, dado um conjunto de dados de entrada, determinar a qual classe estes dados pertencem". Dessa forma, após a extração de atributos e o aprendizado de padrões, o sistema torna-se capaz de analisar novas entradas em tempo real, fornecendo o fundamento necessário para o uso de tecnologias preditivas na mitigação de riscos oriundos da Engenharia Social.

3.3 DEEP LEARNING E PROCESSAMENTO DE LINGUAGEM NATURAL

De acordo com Hosaki e Ribeiro (2021), o Deep Learning (DL) compreende um conjunto de técnicas que utilizam redes neurais artificiais multicamadas para a resolução de problemas por meio de níveis de abstração. No contexto do *Phishing*, o DL é aplicado para a classificação e detecção de ataques, utilizando, por exemplo, arquiteturas de redes neurais para o processamento de sequências, o que permite a identificação de padrões e a categorização da ameaça. Esta abordagem fornece ao usuário informações contextuais sobre a natureza do incidente através de uma análise que considera a complexidade e a profundidade dos dados.

Conforme o estudo de Araújo (2024), o Processamento de Linguagem Natural (PLN) atua como um campo da Inteligência Artificial voltado ao processamento e compreensão da linguagem humana por meio de algoritmos. A integração entre PLN e redes neurais profundas possibilita a análise semântica de textos, permitindo a identificação de indícios de urgência ou coerção. Esta sinergia técnica é o que permite superar as limitações da análise puramente estatística de metadados, auxiliando na sinalização de comunicações suspeitas ao examinar o conteúdo linguístico e fornecendo insights que auxiliam o usuário na percepção de tentativas de manipulação psicológica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados demonstra que a eficácia na detecção de *phishing* reside na transição da análise de indicadores superficiais para a compreensão contextual. Enquanto os algoritmos de Machine Learning, como o SVM e o XGBoost, operam de forma complementar na identificação de anomalias em metadados e URLs suspeitas, o emprego do Deep Learning resolve a lacuna da análise estritamente técnica ao focar na interpretação semântica das mensagens.

4.1 DESEMPENHO DOS ALGORITMOS DE DETECÇÃO

Foram analisados estudos experimentais que fornecem evidências quantitativas sobre o desempenho de diferentes algoritmos aplicados no contexto de detecção de *Phishing* E-mail.

O primeiro estudo analisado, realizado por Osamor *et al.* (2025), aplicou algoritmos de Random Forest, Árvore de Decisão, XGBoost e Regressão Lógica para

treinarem por meio de um banco de dados públicos com aproximadamente 49.000 e-mails com 80% sendo legítimos e 20% com o resultado conclusivo de serem *phishing*. Foram extraídas 31 features a partir da análise do corpo do e-mail, assunto, cabeçalho, URLs, palavras urgentes e detecção de códigos em HTML.

Já o segundo estudo de Butt *et al*. (2022), focou nos algoritmos de SVM, LSTM e Naive Bayes, treinados pela extração de features com as partes de e-mails categorizados como spam ou não spam proporcionados pelo banco de dados online CSDMC_SPAM.

A tabela 1 apresenta os resultados dos dois estudos, comparando as mesmas métricas utilizadas por ambos.

Tabela 1 – Desempenho dos algoritmos

Algoritmo	Acurácia	Precisão	Recall	F1-Score
Random Forest	98,52%	98%	99%	98,50%
Árvore de Decisão	96,44%	96%	97%	96,50%
XGBoost	98,58%	99%	98%	98,50%
Regressão Lógica	97,05%	97%	97%	97%
SVM	99,62%	99,60%	99,60%	99,60%
LSTM	98%	98%	98%	98%
Naive Bayes	97%	97%	97%	97%

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Por meio dos resultados é notório que os algoritmos possuem uma taxa alta na detecção de *phishing*, destacando-se o SVM com 99,62% de acurácia. Ao analisar os resultados é perceptível que o XGBoost demonstrou maior equilíbrio entre precisão e recall, essa reciprocidade entre os algoritmos indica um potencial de compatibilidade para serem utilizadas como abordagens híbridas, tornando a detecção ainda mais robusta.

4.2 UNIFICAÇÃO ENTRE MACHINE LEARNING E DEEP LEARNING

De acordo com Inacio Junior e Cunha (2022), a aplicação da Inteligência Artificial contra tentativas de *phishing* permite que o sistema compreenda os padrões existentes de maneira mais aprofundada, resultando em classificações mais assertivas. Essa sinergia entre o aprendizado de máquina — focado em padrões estatísticos — e o Deep Learning — focado na semântica — possibilita que a tecnologia identifique golpes robustos que poderiam passar despercebidos por uma análise humana convencional.

Contudo, a literatura ressalta que a IA possui um caráter ambivalente da mesma forma que provê mecanismos de defesa, pode ser utilizada para a automação de golpes. De acordo com Morais e Branco (2023), embora a IA apresenta aplicações benéficas, seu potencial de uso indevido gera controvérsias. Nesse contexto, a tecnologia possibilita o desenvolvimento de mensagens customizadas em larga escala. Segundo Alves (2024), a Engenharia Social utiliza gatilhos emocionais, prática que se torna sofisticada quando o PLN é empregado para implementar o Spear *Phishing* de forma personalizada. Conforme Araújo (2024), essa integração permite uma análise semântica que conecta informações anteriores, dificultando o questionamento da vítima. Assim, observa-se que o cenário da segurança vive em constante adaptação, com métodos de prevenção e estratégias de ataque evoluindo simultaneamente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As considerações finais do presente estudo permitem compreender que a Inteligência Artificial consolidou-se como uma ferramenta indispensável no combate ao *Phishing*, atuando de forma proativa na identificação e mitigação de ameaças digitais. A utilização de algoritmos como o XGBoost para o ajuste de erros e redes neurais do tipo LSTM para a análise profunda de textos possibilita que o sistema compreenda padrões complexos, classifique-os com precisão e aprenda a identificar novas táticas criminosas de maneira autônoma. Um ponto de destaque na análise é a dualidade inerente à tecnologia, evidenciando que a IA, embora fundamental para a defesa, também é explorada por agentes maliciosos para a sofisticação de ataques, o que torna imperativo que as ferramentas defensivas sejam capazes de detectar a atuação de outras inteligências artificiais em ambientes de rede. Dessa forma, a área da segurança cibernética configura-se em ciclos evolutivos constantes, buscando prever estratégias e garantir a proteção de usuários com diferentes níveis de letramento tecnológico.

A principal contribuição deste trabalho reside na demonstração de que a unificação entre técnicas de Machine Learning e as camadas de abstração do Deep Learning fundamenta uma abordagem defensiva mista e robusta. Essa sinergia permite o exame minucioso de URLs e e-mails suspeitos sob perspectivas estatísticas

e linguísticas, alertando o usuário sobre a presença de gatilhos de Engenharia Social, como o senso de urgência e o uso de parâmetros inseguros em links.

No entanto, identificou-se como lacuna de pesquisa a necessidade de maior investigação sobre a resposta desses modelos em tempo real diante de ataques gerados por IAs generativas. Especificamente, o surgimento de LLMs (Large Language Models) impõe um novo desafio, pois essas ferramentas permitem a criação de e-mails de *phishing* com alto grau de naturalidade e contexto, tornando-os virtualmente indistinguíveis de comunicações legítimas e desafiando a capacidade de detecção até mesmo dos filtros de PLN mais avançados. Como direcionamento futuro, será realizada a criação prática de algoritmos para validar os conceitos estabelecidos neste artigo, buscando testar a eficácia da integração entre aprendizado de máquina e redes neurais no enfrentamento dessas ameaças simuladas e altamente sofisticadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A., G. *et al.* **Inteligência Artificial Aplicada à Cibersegurança: Soluções Estratégicas para um Ambiente Digital Resiliente**. Disponível em: https://immes.edu.br/wp-content/uploads/2025/04/Artigo_MATIZ_2023_Ciberseguranca.pdf?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 22 maio. 2026.

ALVES, Leonardo de Moura. **ENGENHARIA SOCIAL: ESTUDO DE ATAQUES E MÉTODOS DE PREVENÇÃO.** Orientador: Profa. Dra. Solange da Silva. 2024. TCC (Graduação) - Curso de Ciência da Computação, Escola Politécnica e de Artes, da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiás, 2024. Disponível em: https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/7976. acesso em: 11 mai. 2025.

ARAÚJO, David Pereira de. **Abordagens de Processamento de Linguagem Natural e Aprendizado Profundo para Classificação de Atos Administrativos de Diário Oficial.** Orientador: Henrique Coelho Fernandes. 2024. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal de Uberlândia , Uberlândia, 2024. Disponível em: https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/44590/1/AbordagensProcessamentoLinguagem.pdf . Acesso em: 25 nov. 2025.

BEZERRA, Paloma de Sousa; MILLIAN, Lucca Eiki Amarante; SILVA, Rodrigo Cardoso. **Estudo de Técnicas de *Phishing*: Métodos de Ataque e Estratégias de Defesa.** Faculdade de Computação e Informática (FCI), Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2024. Disponível em: https://adelpha-

api.mackenzie.br/server/api/core/bitstreams/ea3bb8ff-17a5-4439-b98b-43725da49698/content. Acesso em: 4 dez. 2025.

BUTT, Umer Ahmed *et al. Cloud-based email phishing attack using machine and deep learning algorithm*. ***Complex & Intelligent Systems***, v. 9, n. 3, p. 3043–3070, 2023.

COUTINHO, VINICIUS MACHADO. **DETECÇÃO DE PÁGINAS DE *PHISHING* UTILIZANDO APRENDIZADO DE MÁQUINA.** Orientador: Kelton Augusto Pontara da Costa. 2023. TCC (Graduação) - Curso de Ciência da Computação, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru, 2023. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/6818f06d-40ea-4d62-b967-d815e46bf056/content. acesso em: 26 nov. 2025.

DE SÁ DOUGLAS VIEIRA BARBOZA, Rodrigo Figueiredo Costa de Oliveira Sidney Loyola. **Simulação de *phishing* como ferramenta de conscientização em cibersegurança: um estudo de caso em ambiente corporativo**. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/19198>. Acesso em: 22 maio. 2026.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de Pesquisa.** Rio Grande do Sul. 2009. Disponível em: https://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf. Acesso em: 11 mai. 2025.

HOSAKI, Gabriel Yuri; RIBEIRO, Douglas Francisco. DEEP LEARNING. **Revista de Gestão e Estratégia**, Assis, ano 2021, Disponível em: https://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/5060/1/DEEP-LEARNING.pdf. Acesso em: 11 mai. 2025.

INACIO JUNIOR, Marcos Antonio; CUNHA, Alberane Lucio Thiago da. COMO A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PODE SER APLICADA CONTRA AS TENTATIVAS DE *PHISHING*. **COMO A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PODE SER APLICADA CONTRAAS TENTATIVAS DE PHISHING**, [s. l.], 30 nov. 2022 Disponível em: http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/2483. Acesso em: 11 mai. 2025.

JUDE OSAMOR, MOSES APROFIN ASHAWA, JACKIE RILEY, PIUS OWOH. ***Real-Time Detection of Phishing Emails Using XG Boost Machine Learning Technique***. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/393647677_Real-Time_Detection_of_Phishing_Emails_Using_XG_Boost_Machine_Learning_Technique>. Acesso em: 23 maio. 2026.

MORAIS, Prof. Me. Flávio Daniel Borges de; BRANCO, Prof. Me. Valdec Romero Castelo. A Inteligência Artificial: conceitos, aplicações e controvérsias. **XX SICI**, Guarujá, ano 2023, Disponível em: https://www.unaerp.br/pesquisa/anais-de-congressos-unaerp/sici. Acesso em: 11 mai. 2025.

SAMPAIO, Tuane Bazanella. **Metodologia da pesquisa.** Santa Maria, Rio Grande do Sul. 2022. Disponível em:

https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/26138/MD_Metodologia_da_Pesquisa.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 11 mai. 2025.

O IMPACTO DA COVID-19 NO HÁBITO DE CONSUMO
THE IMPACT OF COVID-19 ON CONSUMPTION HABITS

Rafaella Yumi Inada [1]
Ana Clara Pascoal Mansur [2]
Monica Pereira da Rosa [3]

RESUMO: A pandemia de Covid-19, declarada pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em março de 2020, provocou mudanças significativas no comportamento socioeconômico da população brasileira, afetando diretamente o mercado de trabalho e o consumo. Este estudo tem como objetivo analisar os impactos da pandemia no comportamento de consumo da população brasileira, considerando as transformações socioeconômicas ocorridas durante e após o período de emergência sanitária. Para isso, são utilizados dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) e de outras fontes secundárias, como estudos do IBGE e da Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS). A pesquisa aborda, ainda, as teorias sobre o comportamento do consumidor, com ênfase na hierarquia das necessidades de Maslow e na teoria do comportamento planejado de Ajzen, aplicadas ao contexto de crise. Os resultados apontam que a crise gerada pela pandemia impactou as decisões de compra, com uma priorização dos produtos de necessidade básica, sendo estes de alimentação e higiene. As organizações enfrentaram desafios, como a adaptação ao digital e a necessidade de inovação para atender às novas demandas do mercado. O estudo concluiu que frente a crise da COVID-19 as prioridades de consumo e valores buscados no momento da compra se alteraram, e com isso surge a necessidade de as organizações se adaptarem ao novo cenário diante das mudanças no hábito de consumo da população.
Palavras-chave: Comportamento de consumo; Digitalização; Economia brasileira; Pandemia de Covid-19.

ABSTRACT: The COVID-19 pandemic, declared by the World Health Organization (WHO) in March 2020, caused significant changes in the socioeconomic behavior of the Brazilian population, directly affecting the labor market and consumption patterns. This study aims to analyze the impacts of the pandemic on consumer behavior in Brazil, considering the socioeconomic transformations that occurred during and after the public health emergency period. To this end, data from the National Household Sample Survey (PNAD) and other secondary sources were used, such as studies from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) and the Pan American Health Organization (PAHO). The research also addresses theories of consumer behavior, with emphasis on Maslow's hierarchy of needs and Ajzen's theory of planned behavior, applied to the context of crisis. The results indicate that the crisis generated by the pandemic affected purchasing decisions, leading to a prioritization of basic necessity products, especially food and hygiene items. Organizations faced challenges such as digital adaptation and the need for innovation to meet new market demands. The study concludes that, in the face of the COVID-19 crisis, consumption priorities and values sought at the time of purchase changed, highlighting the need for organizations to adapt to the new scenario resulting from changes in consumer habits.
Keywords: Consumer behavior; COVID-19 pandemic; Brazilian economy; Digitalization.

Gestão de Negócios e Inovação - Instituição Fatec Sebrae - E-mail: rafaella.inada@gmail.com [1]
Gestão de Negócios e Inovação - Instituição Fatec Sebrae - E-mail: anaclaramansur@outlook.com [2]
Professora de Gestão de Negócios e Inovação - Instituição Fatec Sebrae - E-mail: mp.rosa1@uol.com.br [3]

1 INTRODUÇÃO

A pandemia de Covid-19, declarada pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em 30 de janeiro de 2020, passou a ser reconhecida como um marco de profunda transformação social, econômica e comportamental em escala global. No contexto brasileiro, os efeitos dessa crise foram amplamente observados em diferentes segmentos da sociedade, sendo registrados impactos expressivos no mercado de trabalho, nos padrões de consumo e na dinâmica das organizações. Com a adoção de medidas de distanciamento social, restrições de mobilidade e suspensão de atividades presenciais, foi acelerada a digitalização dos processos de compra e modificadas as prioridades de consumo da população.

Observou-se que o comportamento do consumidor, tradicionalmente influenciado por fatores econômicos, culturais e sociais, passou a ser fortemente condicionado pela instabilidade econômica e pela necessidade de adaptação às condições impostas pela crise sanitária. Nesse cenário, referências teóricas como a hierarquia das necessidades proposta por Maslow e a teoria do comportamento planejado desenvolvida por Ajzen têm sido amplamente utilizadas para compreender de que forma situações de crise estimulam a reorganização das necessidades humanas e alteram os processos decisórios relacionados ao consumo.

Diante desse contexto, foi estabelecido como objetivo deste estudo analisar os impactos da pandemia de Covid-19 sobre o comportamento de consumo da população brasileira, considerando as transformações socioeconômicas verificadas no período e suas repercussões sobre o mercado de trabalho e sobre as organizações. Para alcançar tal objetivo, são utilizados dados provenientes da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), bem como outras fontes secundárias de autores que versam sobre o tema.

A relevância do presente estudo é evidenciada pela necessidade de compreender como os hábitos de consumo foram alterados durante a pandemia e de que forma consumidores e organizações responderam às mudanças estruturais impostas pela crise. Além disso, destaca-se o papel central da digitalização, tanto no comportamento de compra quanto na adaptação das empresas, cujo processo de transformação digital foi intensificado pela conjuntura pandêmica.

A estrutura deste artigo é organizada da seguinte forma: após esta introdução, são apresentados, no Capítulo 2, o problema de pesquisa e os objetivos do estudo. No Capítulo 3, são discutidos os fundamentos teóricos relacionados ao comportamento do consumidor e às adaptações socioeconômicas decorrentes da pandemia. O Capítulo 4 contempla o método seguido para a realização da pesquisa, no Capítulo 5 está a apresentação dos resultados obtidos por meio da pesquisa realizada. Por fim, no Capítulo 6, são expostas as análises e conclusões do estudo, considerando os principais achados e suas implicações.

2 PROBLEMA E OBJETIVOS

O problema identificado nas crises econômicas refere-se à alteração no perfil do consumidor e à mudança nas formas de operação das organizações, uma vez que o ritmo dos negócios tende a ser ditado pela economia. Quando uma crise econômica ocorre, é comum que o poder de consumo da população diminua, que a inflação aumente e que os custos dos materiais necessários para a fabricação dos produtos se alterem. Consequentemente, as prioridades dos consumidores são modificadas e as empresas são levadas a buscar estratégias de reinvenção para se adaptar ao novo contexto do mercado.

Ao analisar o período de pandemia e pós-pandemia, será investigado como o perfil do consumidor se alterou. Para isso, serão realizadas pesquisas quantitativas, com o objetivo de analisar as novas prioridades de gastos da população durante a pandemia, além de identificar quais hábitos desenvolvidos nesse período foram mantidos no pós-pandemia. O foco será, ainda, examinar como essas mudanças impactaram as preferências dos consumidores em relação às empresas, identificando as características que mais atraem os clientes, como a presença de lojas online, a forma de atendimento, a qualidade dos produtos, os prazos de entrega, entre outros aspectos.

3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PANDEMIA DE COVID-19

Em 30 de janeiro de 2020, a Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou Emergência de Saúde Pública Internacional para o recém-descoberto coronavírus. De acordo com o Boletim Epidemiológico da OPAS/OMS, havia 7.834 casos confirmados no mundo, com 1.370 pessoas em estado grave e 170 mortes.

Em 5 de maio de 2023, a OMS declarou que a COVID-19 não sendo considerada uma Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional (PHEIC), marcando o fim da fase de emergência global. Apesar disso a pandemia teve impactos significativos na vida da população, principalmente no contexto socioeconômico brasileiro.

O mercado de trabalho sofreu alterações expressivas: segundo a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua), do IBGE (2020a), o número de pessoas desocupadas aumentou consideravelmente durante a pandemia, passando de 11,9% em 2019 para 13,5% em 2020, alcançando 14,9% em 2021. A média salarial mensal variou de R$3.100 a R$ 3.200 em 2020, mas apresentou queda nos três primeiros trimestres de 2021, indicando uma redução do poder aquisitivo da população. Consequente os cortes de gastos estão voltados a educação, lazer e cultura, uma vez que priorizam necessidades básicas como alimentação, habitação e saúde, de acordo com dados extraídos da POF (2017-2018).

3.2 IMPACTOS DA PANDEMIA DE COVID-19 NA VIDA DA POPULAÇÃO BRASILEIRA

De acordo com dados do IBGE (2020b), foram afastadas do mercado de trabalho cerca de 2,7 milhões de pessoas em decorrência do distanciamento social. Verificou-se que aproximadamente 7,9 milhões de trabalhadores passaram a exercer suas atividades de forma remota.

Além disso, a renda de cerca de 16,3 milhões de pessoas apresentou redução em relação ao valor habitual, enquanto 15,3 milhões de brasileiros deixaram de procurar emprego devido à pandemia ou à ausência de ofertas de trabalho em suas localidades.

Observou-se, ainda, que 41% dos domicílios receberam auxílio emergencial, e 879 mil pessoas ocupadas e afastadas deixaram de receber remuneração durante o período analisado.

Os impactos sociais e regionais da pandemia foram expressivos. De acordo com Barros (2021), vinte estados brasileiros registraram taxa média de desemprego recorde em 2020, evidenciando o agravamento das desigualdades econômicas no país. Além disso, cerca de 30% da população com menores rendimentos vivia com menos do que o necessário para despesas básicas, segundo Barros (2020), o que reforça os efeitos negativos da crise sobre as camadas mais vulneráveis da sociedade.

3.3 IMPACTOS DAS TRANSFORMAÇÕES SOCIOECONÔMICAS NAS ORGANIZAÇÕES DURANTE E APÓS A PANDEMIA DE COVID-19

Segundo dados do IBGE (2020c), 33,5% das empresas em funcionamento durante a segunda quinzena de agosto de 2020 relataram efeitos negativos da pandemia sobre seus negócios. Entre elas, 32,9% informaram diminuição nas vendas ou serviços comercializados, enquanto 31,4% relataram dificuldades para fabricar produtos ou atender clientes. Além disso, 46,8% mencionaram problemas para acessar fornecedores de insumos, matérias-primas ou mercadorias, e 40,3% registraram dificuldades para realizar pagamentos de rotina. Apenas 21,4% das empresas adotaram pelo menos uma medida de apoio governamental, como o adiamento de impostos ou a obtenção de crédito emergencial para pagamento da folha salarial.

3.4 IMPACTOS DA CRISE NO HÁBITO DE CONSUMO DO CONSUMIDOR

Para entender as mudanças no hábito de consumo da população durante a pandemia, pode-se considerar a Teoria de Maslow sobre a hierarquia das necessidades, a qual propõe que as necessidades humanas são organizadas de forma hierárquica. Nesse modelo, as pessoas buscam primeiro satisfazer as necessidades mais básicas, como as fisiológicas, antes de avançar para as necessidades mais complexas. A pirâmide de Maslow é composta por cinco níveis de necessidades, que vão das mais fundamentais às mais complexas: (1) necessidades fisiológicas, que envolvem a sobrevivência humana, como o acesso à alimentação, água, ar, abrigo e sono; (2) necessidades de segurança, como proteção física e emocional, estabilidade financeira, saúde e segurança pessoal; (3) necessidades

sociais, como o desejo de estabelecer relações interpessoais, amizade, amor, aceitação e pertencimento a um grupo; (4) necessidades de estima, que envolvem o desejo de reconhecimento, respeito e autoestima; e, por fim, (5) necessidades de autorrealização, que dizem respeito à realização do potencial máximo de uma pessoa.

> "quando uma necessidade de um nível inferior é satisfeita, ela deixa de ser o principal motivador do comportamento e as necessidades de um nível superior começam a se tornar predominantes. No entanto, isso não significa que as necessidades mais altas, como o desejo de estima ou autorrealização, sejam imediatamente atendidas, uma vez que as necessidades mais básicas, como alimentação e segurança, sempre estarão no topo da hierarquia." (Maslow, 1970, p. 35).

Para Kotler e Keller (2012), em sua obra Administração de Marketing, o comportamento do consumidor é entendido como o estudo do processo de decisão realizado antes da aquisição, utilização e disposição de produtos ou serviços. Segundo Kotler, o comportamento do consumidor não é influenciado exclusivamente pelas necessidades do indivíduo, mas também por uma série de fatores psicológicos, sociais, culturais e pessoais. O comportamento do consumidor, conforme Kotler, pode ser descrito como um processo composto por cinco estágios principais. No primeiro estágio, o consumidor reconhece uma necessidade ou desejo que necessita ser satisfeito. Em seguida, o consumidor passa a buscar informações sobre o produto ou serviço, por meio de pesquisas na internet, conversas com amigos, opiniões de especialistas e até mesmo experiências anteriores. O terceiro estágio ocorre quando o consumidor compara suas alternativas, levando em consideração preço, qualidade, características e marca. Após a avaliação das opções, o consumidor decide qual produto ou serviço comprar. O último estágio é denominado comportamento pós-compra, momento no qual o consumidor avalia se sua decisão foi satisfatória. Neste ponto, a avaliação do consumidor determina sua lealdade à marca, o que, por sua vez, influencia suas futuras decisões de compra.

Sabe-se que, durante o período de pandemia, a população vivencia uma situação de crise, o que evidencia a importância de não apenas considerar as decisões de compra com base no comportamento do consumidor em tempos de normalidade, mas também adotar uma abordagem que leve em conta os fatores que influenciam essas decisões em tempos de crise.

Pesquisas realizadas por Kaytaz e Gul (2014) indicam que, em períodos de crise, como recessões econômicas ou crises financeiras, o comportamento do consumidor é profundamente impactado pela redução da renda, pela incerteza no

mercado de trabalho e pelas mudanças nas prioridades de consumo. Durante esses períodos, os consumidores tendem a ser mais cautelosos, planejando suas compras com mais cuidado e buscando priorizar o custo-benefício.

A teoria do comportamento do consumidor em tempos de crise sustenta que as necessidades humanas e os comportamentos de consumo podem ser reorganizados conforme a situação econômica, levando a uma reestruturação nas prioridades de compra. O consumidor, diante das incertezas sobre o futuro, prioriza a retenção de gastos e tende a buscar alternativas mais baratas, adotando uma postura mais racional nas escolhas e promovendo um maior controle financeiro. Este comportamento leva os consumidores a buscarem não apenas produtos mais baratos, mas também a repensar suas expectativas em relação às marcas, favorecendo aquelas que oferecem produtos acessíveis, promoções e vantagens financeiras.

A teoria do comportamento planejado proposta por Icek Ajzen (1991) complementa a análise do comportamento do consumidor em tempos de crise, ao sugerir que as condições externas e a percepção de controle sobre o ambiente diminuem, o que torna os consumidores mais cautelosos ao tomar suas decisões de compra. A intenção e a atitude do consumidor são diretamente influenciadas pela percepção sobre os recursos disponíveis (como a renda) e pelas opções percebidas (como preços acessíveis). Assim, a escolha por produtos mais baratos e a redução de gastos tornam-se comportamentos amplamente observados durante a crise.

A teoria da hierarquia das necessidades de Maslow pode ser adaptada para entender como a crise econômica afeta o consumo. Quando a crise atinge a economia, muitos consumidores se veem obrigados a reavaliar suas necessidades e prioridades. No topo da pirâmide, necessidades como estima e autorrealização (viagens, lazer, produtos de luxo, entre outros) são muitas vezes desconsideradas, dando lugar às necessidades mais básicas, como alimentação, segurança e abrigo. Esse processo resulta na redistribuição dos recursos, levando o consumidor a priorizar bens essenciais e a reduzir os gastos com produtos e serviços não essenciais. Esse fenômeno pode ser observado em crises financeiras e econômicas, como a pandemia de COVID-19, que levou muitos indivíduos a reverem suas prioridades.

3.5 O IMPACTO DA CRISE NO HÁBITO DE CONSUMO NA PANDEMIA DE COVID-19

Em janeiro de 2020, foram identificados casos de Covid-19 fora da China, o que levou a Organização Mundial da Saúde (OMS) a declarar emergência internacional em saúde pública, conforme relatado pela Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS, 2020). O primeiro caso na América Latina foi identificado no Brasil, na cidade de São Paulo, em 26 de fevereiro de 2020. Em 11 de março de 2020, devido ao aumento do número de casos, a OMS declarou a pandemia mundial (BRASIL, 2020).

A chegada da Covid-19 ao Brasil fez com que medidas sanitárias fossem adotadas pelas autoridades de saúde em âmbito federal, estadual e municipal. A medida mais difundida foi o distanciamento social, que visava controlar a mobilidade da população por meio do fechamento do comércio não essencial, das instituições de ensino, das áreas públicas e de qualquer atividade que causasse aglomeração de pessoas. A recomendação foi de que a população permanecesse em casa (AGÊNCIA BRASIL, 2020).

O isolamento social impactou o comportamento das pessoas, afetando as formas de relacionamento, os hábitos de higiene, as mudanças culturais, entre outros aspectos. As incertezas geradas pela crise sanitária também provocaram mudanças nos hábitos dos consumidores. O fechamento das lojas físicas fez com que a busca pelo comércio eletrônico fosse intensificada (ABCOMM, 2020a).

A priorização de produtos essenciais e a escolha por marcas mais acessíveis ou que ofereçam descontos passaram a ser uma prática comum, o que também foi impulsionado pela digitalização do consumo e pelo aumento das compras online (ABCOMM, 2020b). A mudança do comércio físico para o digital, impulsionada pela necessidade de distanciamento social, fez com que muitos consumidores migrassem para o e-commerce como a principal forma de aquisição de bens e serviços. Isso resultou em um aumento das vendas online, com consumidores buscando não apenas praticidade, mas também melhores preços e ofertas, contribuindo para a cautela no consumo.

A transição para o e-commerce também gerou novas dinâmicas de consumo, com muitos consumidores priorizando promoções e descontos em produtos de primeira necessidade, além de pesquisar mais sobre os custos e as alternativas mais baratas. Essa mudança no comportamento foi amplificada pela incerteza econômica, pela redução da renda e pela restrição da mobilidade, que tornaram a compra online uma solução conveniente e muitas vezes mais barata, especialmente para aqueles que precisaram otimizar seus gastos durante a pandemia.

3.6 IMPACTOS DA MUDANÇA DE HÁBITO DE CONSUMO DA POPULAÇÃO QUE AFETAM AS ORGANIZAÇÕES

Durante a crise da COVID-19, as organizações enfrentaram grandes desafios para se adaptar às mudanças no comportamento do consumidor. A necessidade de distanciamento social e as restrições impostas pelos governos forçaram as empresas a adotarem rapidamente novas tecnologias, priorizando o meio digital como uma alternativa à interação presencial com os consumidores. Isso ocorreu principalmente devido ao fechamento das lojas físicas e ao lockdown, que limitaram o contato direto e mudaram o hábito de consumo (OECD, 2020). Nesse contexto, as empresas se viram desafiadas a repensar seus modelos de negócio e a buscar maneiras de manter o relacionamento com os consumidores por meio de plataformas digitais. Entretanto, embora as tecnologias tenham ajudado a suprir a falta de interação física, elas também geraram inseguranças, como o aumento de fake news, golpes online e o discurso de ódio nas redes sociais, dificultando a construção de confiança entre consumidores e empresas (OECD, 2020).

Dessa forma, para que as empresas conseguissem consolidar a adoção do meio digital entre seus consumidores, foi necessário reforçar aspectos como a transparência, a inovação e a adaptabilidade nos seus processos e estratégias. As organizações precisaram inovar na gestão de seus negócios, criando novas formas de atender à demanda do consumidor e desenvolvendo novos produtos que respondessem às necessidades emergentes da crise. Além disso, houve a necessidade de reformulação do modelo de trabalho, com a adaptação de novas ferramentas digitais e a implementação do trabalho remoto ou híbrido, de forma a manter a continuidade dos negócios em um cenário incerto (OECD, 2020). A comunicação clara sobre essas mudanças tornou-se essencial para aumentar a confiança do consumidor, que estava mais cauteloso devido ao contexto de crise e incerteza.

Além disso, as mudanças no comportamento de consumo impulsionaram a necessidade de cooperação entre empresas, uma vez que, em tempos de escassez e dificuldades econômicas, muitas organizações sobreviveram graças a trocas de favores e parcerias colaborativas. As empresas, muitas vezes, firmaram acordos para suprir a falta de matéria-prima ou recursos necessários para a operação, colaborando mutuamente para garantir o funcionamento das cadeias produtivas durante a

pandemia (Crick & Crick, 2020). Essa competição, conceito que descreve a colaboração entre concorrentes, mostrou-se uma estratégia fundamental para enfrentar a crise, evidenciando que, em tempos de dificuldades extremas, a colaboração entre empresas pode ser um recurso valioso para a continuidade dos negócios.

A pandemia também trouxe à tona a importância das competências digitais para os colaboradores, uma vez que as empresas passaram a exigir maior conhecimento e adaptação às novas ferramentas tecnológicas. Esse cenário gerou um desafio na retenção de talentos, já que muitas empresas, especialmente as de pequeno e médio porte, enfrentaram dificuldades financeiras para investir em tecnologia e capacitação de sua força de trabalho. Esse cenário acentuou a disparidade entre as empresas de diferentes tamanhos e também entre as classes sociais, com muitas empresas de menor porte não conseguindo implementar as tecnologias necessárias para atender à nova demanda digital dos consumidores (Almeida et al., 2020).

Por outro lado, a crescente digitalização das interações comerciais também trouxe novas oportunidades para as empresas, principalmente aquelas que conseguiram se adaptar rapidamente às plataformas digitais e adotaram modelos de negócios mais flexíveis. O aumento das compras online, a preferência por entregas rápidas e a busca por produtos essenciais durante a pandemia resultaram em mudanças significativas no comportamento de consumo, com muitos consumidores migrando para o digital, buscando rapidez e conveniência (Sheth, 2020). As empresas, por sua vez, passaram a adotar uma abordagem mais humanizada e empática, ajustando suas estratégias de marketing e atendimento ao cliente para atender a essas novas necessidades.

Essas mudanças também refletem uma transformação permanente no hábito de consumo, com os consumidores cada vez mais inclinados a comprar online, especialmente os mais jovens. No entanto, a adaptação ao meio digital não se deu de forma uniforme, e os hábitos de consumo passaram a variar, com alguns consumidores retornando ao consumo presencial em determinados setores, enquanto outros mantiveram-se fielmente aos modelos digitais (Sheth, 2020). Esse fenômeno aponta para uma mutação no hábito de consumo que exigem das empresas uma constante inovação e o desenvolvimento de estratégias que integrem tanto o físico

quanto o digital, a fim de manter a competitividade em um mercado cada vez mais exigente e dinâmico.

4 MÉTODO

A pesquisa segue uma abordagem quantitativa, baseada na concepção de Gil (2008), onde esse tipo de metodologia busca traduzir em números as opiniões e informações coletadas, viabilizando maior precisão na análise e interpretação dos dados. Para esta coleta de dados, foi desenvolvido um questionário robusto contendo perguntas fechadas, separadas em blocos temáticos relacionados ao hábito de consumo antes e durante o período de pandemia, às mudanças percebidas nas empresas e às preferências dos consumidores no período analisado. O questionário utilizado para coleta foi disponibilizado de forma online, garantindo amplo alcance e facilidade de participação, conforme orienta Gil (2008) ao destacar a importância da acessibilidade nas pesquisas descritivas.

A amostra foi composta por 89 participantes, selecionados por conveniência, uma técnica aceitável em pesquisas sociais quando o objetivo é compreender tendências gerais de comportamento em um grupo acessível ao pesquisador. Os participantes apresentavam perfis diversos quanto à idade, escolaridade, situação laboral e estado civil, permitindo observar diferentes padrões de consumo influenciados pelo contexto da pandemia. Após a coleta, os dados foram organizados e tabulados em planilhas eletrônicas, procedimento recomendado por Gil (2008) para facilitar o tratamento estatístico básico, como frequências absolutas e relativas.

A análise concentrou-se na identificação de mudanças nos comportamentos de compra, especialmente no que se refere à migração do consumo presencial para o digital, aos fatores que influenciaram a escolha de marcas e às percepções sobre as adaptações realizadas pelas empresas durante a pandemia. Seguindo a orientação de Gil (2008), a interpretação dos resultados buscou relacionar os dados numéricos às transformações sociais e econômicas vivenciadas no período, permitindo compreender como o cenário de crise impactou diretamente as escolhas e prioridades dos consumidores. Assim, a metodologia utilizada atendeu ao objetivo de descrever, com base em dados mensuráveis, os principais efeitos da pandemia sobre os hábitos de consumo e sobre a relação entre consumidores e empresas.

5 RESULTADOS

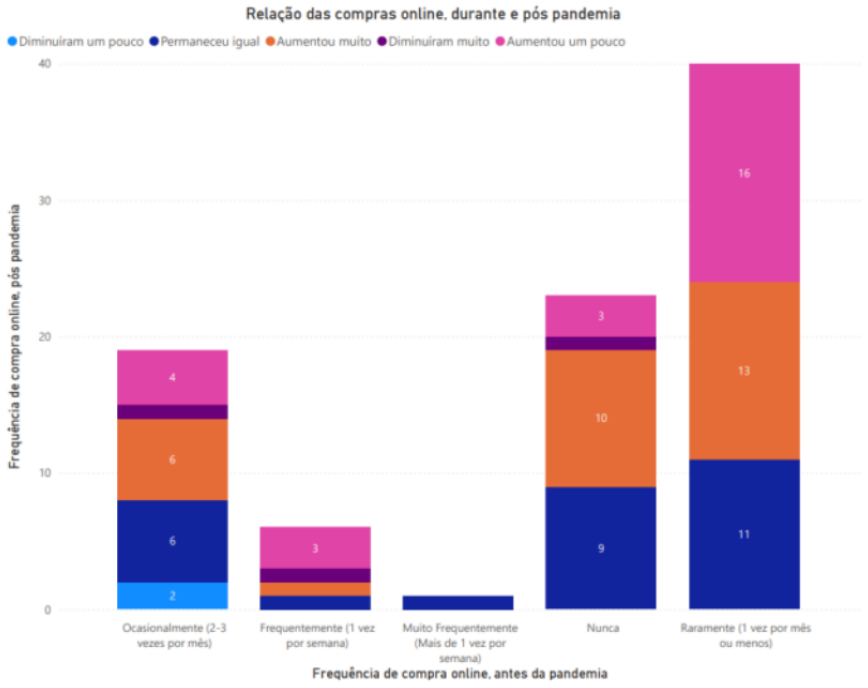
Com o objetivo de analisar o impacto que foi tido pela pandemia nos hábitos de consumo da população, foi realizada uma pesquisa quantitativa com perguntas referentes a esse período de pós e durante a pandemia. Os resultados obtidos são apresentados a seguir.

A pesquisa contou com 89 respondentes, com idades entre 18 e 54+ anos. Em relação à escolaridade, 6,74% declararam ensino fundamental completo, 42,7% ensino médio, 40,45% ensino superior e 10,11% pós-graduação ou acima.

Quanto à situação de trabalho no período analisado, 26,97% ficaram desempregados, 37,08% trabalhavam presencialmente, 13,48% não trabalhavam, 5,62% eram aposentados, 7,87% migraram para o modelo híbrido e 8,99% permaneceram em home office.

Antes da pandemia, 23 participantes nunca realizavam compras online, 40 compravam raramente, 19 compravam ocasionalmente, 6 compravam frequentemente e 1 comprava com muita frequência. Durante a pandemia, observou-se aumento da frequência de compras online em praticamente todos os grupos, indicando migração do consumo para o ambiente digital, como apresentado na Figura 1.

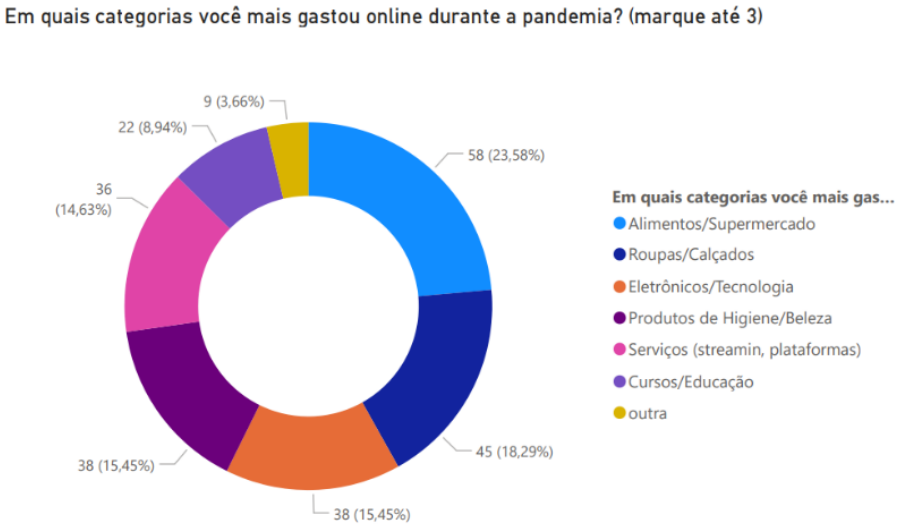
Figura 1 – Gráfico de Frequência de compras online antes e durante a pandemia



Fonte: Elaborado pelas autoras (2025).

Durante a pandemia, as categorias com maior volume de gastos (até 3 marcações) foram: Alimentação/Supermercado (58 respostas; 23,58%); Roupas/Calçados (45 respostas; 18,29%); Eletrônicos/Tecnologia (38 respostas; 15,45%); Produtos de Higiene/Beleza (38 respostas; 15,45%); Serviços de streaming e plataformas (36 respostas; 14,63%); Cursos/Educação (22 respostas; 8,94%); Outros (9 respostas; 3,66%), como apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Gráfico de Categorias com maior gasto online durante a pandemia



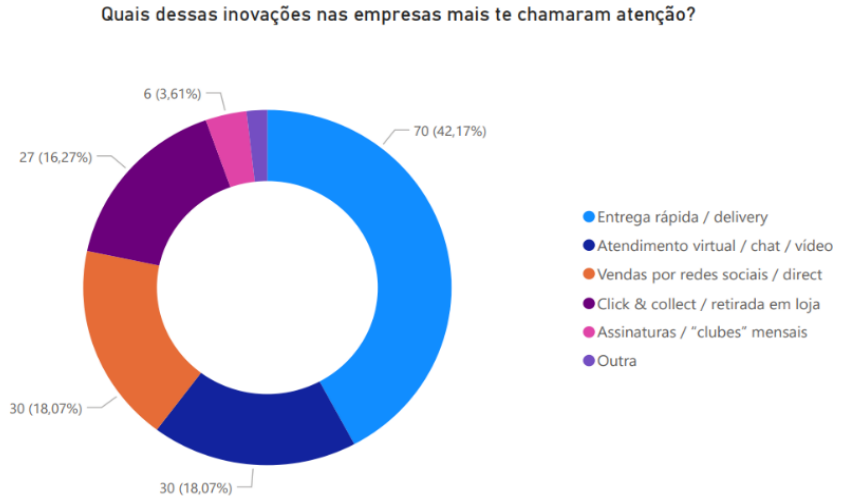
Fonte: Elaborado pelas autoras (2025).

Quanto à busca por novas marcas, 56 participantes afirmaram ter buscado novas marcas, 15 não buscaram e 18 não se lembram. Os principais motivos relatados foram: Melhores preços (64; 41%); Conveniência/entrega rápida (44; 28%); Indicação/marketing (21; 13%); Falta de estoque (16; 10%); Outros (11; 7%).

Em relação à valorização de empresas com contato digital fácil (site, aplicativo e redes sociais), 64 participantes concordaram que isso influencia a decisão de compra, 5 discordaram e 20 não opinaram. Além disso, 84 participantes perceberam mudanças nas empresas durante a pandemia, enquanto 5 não perceberam.

Entre as inovações percebidas, destacaram-se: Entrega rápida/delivery (70; 42,17%); Atendimento virtual/chat/vídeo (30; 18,07%); Vendas por redes sociais/direct (30; 18,07%); Click & collect/retirada em loja (27; 16,27%); Assinaturas/"clubes" mensais (6; 3,61%); Outros (3; 1,81%), dados apresentados na Figura 3.

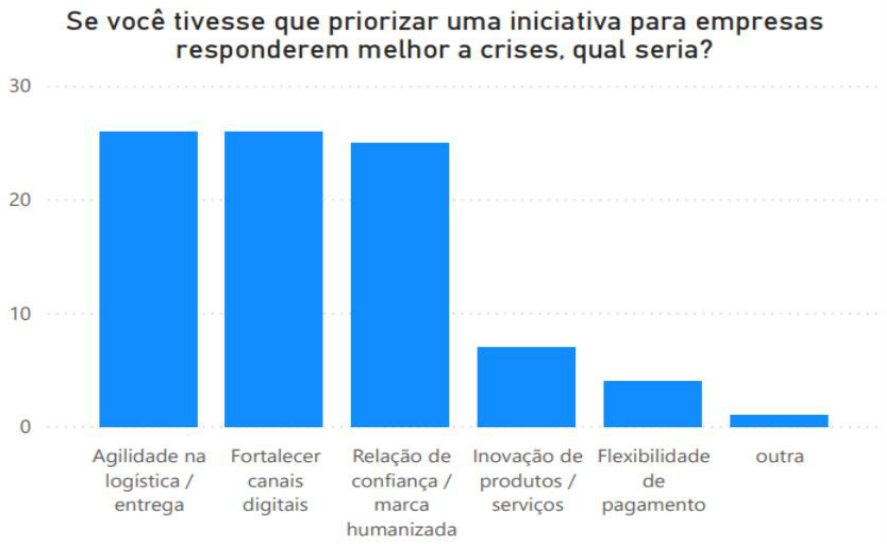
Figura 3 – Gráfico de Inovações nas empresas que mais chamaram atenção



Fonte: Elaborado pelas autoras (2025).

Quando solicitados a priorizar uma iniciativa para que empresas respondam melhor a crises, os itens mais citados foram: Agilidade na logística/entrega (26 respostas); Fortalecimento dos canais digitais (26 respostas); Relação de confiança/marca humanizada (25 respostas); Inovação de produtos/serviços (7 respostas); Flexibilidade de pagamento (4 respostas); Outros (1 resposta), dado apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Gráfico de Iniciativa prioritária para empresas responderem melhor a crises



Fonte: Elaborado pelas autoras (2025).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise dos dados coletados na pesquisa, conclui-se que a pandemia da COVID-19 impactou diretamente nos hábitos de consumo da população, consequentemente afetando as empresas, que frente às mudanças tiveram a necessidade de se adaptar ao novo mercado. Pode-se observar que houve uma ampla mudança do âmbito presencial para o ambiente online, como a troca de lojas físicas por virtuais, aumentando o número e a frequência em que a população realiza transações no ambiente virtual.

Verificou-se que as prioridades de consumo foram direcionadas para as categorias essenciais, como alimentação, saúde, segurança e higiene, consequentemente diminuindo a participação de lazer e educação, como apresentado pelo IBGE, citando que em tempos de crise há uma diminuição na verba voltado a área de educação, como escolas, cursos e materiais escolares e as pessoas passam a gastar mais com habitação, alimentação e saúde. De acordo com Maslow, as necessidades principais para o ser humano são necessidades fisiológicas, básicas para a sobrevivência humana, como a alimentação, necessidades de segurança, como a atenção à saúde. No entanto, de acordo com dados da pesquisa o aumento de gastos em roupas/calçados e eletrônicos/tecnologia vão contra as teorias citadas acima, uma vez que elas se encaixam em categorias onde haveria corte de gastos, mas o aumento de gastos em tecnologia pode ser explicado pela migração do presencial para o meio virtual, como, por exemplo, as aulas online, trabalhos híbridos e home office.

Ademais, é notório que houve um aumento na busca de novas marcas, sendo que essa decisão era influenciada principalmente pelos preços e a conveniência, o que vai de encontro com a teoria de Kaytaz e Gul, que falam sobre a queda do rendimento familiar e a busca por segurança, ou seja, os consumidores tendem a serem mais cautelosos na hora de comprar novos itens e buscam sempre pelo maior custo benefício, essa teoria também afirma que em tempos de crise há uma reestruturação nos hábito de consumo, que por sua vez tem suas prioridades alteradas.

Evidenciou-se, ainda, que a pandemia trouxe à tona a necessidade das organizações se adaptarem ao meio digital, uma vez que os consumidores estavam em transição, ou seja, estavam mudando a sua forma de consumo, indo do âmbito físico para o digital, dentre as mudanças efetivadas as mais significativas estavam relacionadas a uma rápida comunicação entre cliente e empresa, ou melhor dizendo,

uma maior eficiência no tempo de entrega e resposta, nesse caso, como mostrado por Sheth, as empresas foram obrigadas a se adaptarem ao uso da tecnologia da noite para o dia, ou seja, houve uma aceleração de um processo que estava sendo adiado por algumas empresas, sendo assim, a barreira inicial foi quebrada e os novos hábitos de consumo não vão desaparecer com o fim da pandemia e vai demorar muito tempo para que eles sejam esquecidos no tempo. Outrossim, também foi destacado que as mudanças tecnológicas se tornaram um quesito necessário para que as empresas mantivessem uma certa competitividade no mercado, dentro do cenário de pós-pandemia, aquelas que resistiram ao período da pandemia foram aquelas que se adaptaram melhor ao novo mundo.

Portanto, o hábito de consumo das pessoas tendem a se alterar, de acordo com a economia, lugar onde ela vive e possíveis acontecimentos inesperados, como foi o caso da pandemia, e com eles as empresas precisam sempre estar se adaptando, ou seja, as organizações precisam estar de olho no cenário em que vivem e buscar analisar quais são as possíveis mudanças, uma vez que são diversas características que afetam os consumidores, consequentemente alterando a sua prioridade de consumo e quais características atraem o cliente. No caso da crise da COVID-19, a busca por produtos de necessidades básicas e segurança aumentaram, a procura por novas marcas cresceu, tendo em vista o custo-benefício e o poder de compra, além de evidenciar que a maioria dos clientes perceberam as mudanças aplicadas pelas empresas e aprovaram que as alterações foram benéficas na hora de escolher a marca onde eles iriam comprar.

REFERÊNCIAS

ABCOMM. **Mudança no comportamento de consumo durante a pandemia de Covid-19.** Disponível em: <https://www.abcomm.org.br>. Acesso em: 3 nov. 2025.

AGÊNCIA BRASIL. **Medidas de distanciamento social durante a pandemia de Covid-19.** Disponível em: <https://www.agenciabrasil.gov.br>. Acesso em: 3 nov. 2025.

AJZEN, Icek. The Theory of Planned Behavior. **Organizational Behavior and Human Decision Processes,** v. 50, n. 2, p. 179-211, 1991.

ALMEIDA, S. et al. **The Challenges and Opportunities in the Digitalization of Companies in a Post-COVID-19 World.** ResearchGate, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/343338422>. Acesso em: 24 out. 2025.

BARROS, Alerrandre. **30% da população com menores rendimentos vivem com menos que o necessário.** IBGE, 25 nov. 2020. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br>. Acesso em: 13 maio 2025.

BARROS, Alerrandre. **Com pandemia, 20 estados têm taxa média de desemprego recorde em 2020.** IBGE, 28 abr. 2021. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br>. Acesso em: 13 maio 2025.

BRASIL. **Declaração de pandemia da Covid-19 pela OMS.** Ministério da Saúde, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br>. Acesso em: 3 nov. 2025.

CRICK, J. M.; CRICK, D. **Coopetition and COVID-19: Collaborative business-to-business marketing strategies in a pandemic crisis.** 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0019850120303758>. Acesso em: 24 out. 2025.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua Trimestral – PNADC/T.** Estatísticas Sociais: IBGE, [2019?]. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1616#resultado>. Acesso em: 13 maio 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua Trimestral – PNADC/T.** Estatísticas Sociais: IBGE, [2021?]. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6473#resultado>. Acesso em: 13 maio 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **POF 2017-2018: cerca de ¼ da renda disponível das famílias brasileiras é não monetária.** Estatísticas Sociais: IBGE, 2020a. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br>. Acesso em: 13 maio 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pulso Empresa: Impacto da COVID-19 nas Empresas.** Estatísticas Experimentais: IBGE, 2020b. Disponível em: <https://covid19.ibge.gov.br/pulso-empresa/>. Acesso em: 9 out. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Trabalho: Desocupação, renda, afastamentos, trabalho remoto e outros efeitos da pandemia no trabalho.** Estatísticas Sociais: IBGE, 2020c. Disponível em: <https://covid19.ibge.gov.br/pnad-covid/trabalho.php>. Acesso em: 13 maio 2025.

KAYTAZ, Mehmet S.; GUL, Mehmet S. Impact of Economic Crises on Consumer Behavior. **Journal of Consumer Research,** v. 12, n. 2, p. 45-58, 2014.
KOTLER, Philip; KELLER, Kevin L. **Administração de marketing.** 14. ed. São Paulo: Pearson, 2012.

MASLOW, Abraham H. A Theory of Human Motivation. **Psychological Review,** v. 50, n. 4, p. 370-396, 1943.

OECD. **Digital Economy Outlook 2020: COVID-19 and the Digital Transformation.** 2020a. Disponível em: <https://www.oecd.org>. Acesso em: 24 out. 2025.

OECD. **The impact of the COVID-19 pandemic on the economy and the digital transformation.** 2020b. Disponível em: <https://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses>. Acesso em: 24 out. 2025.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE (OPAS). **COVID-19: Emergence of the pandemic outside China.** 2020a. Disponível em: <https://www.paho.org>. Acesso em: 3 nov. 2025.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE; ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **OMS declara emergência de saúde pública de importância internacional por surto de novo coronavírus.** Comunicado de imprensa, 30 jan. 2020b. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/news/30-1-2020-who-declares-public-health-emergency-novel-coronavirus>. Acesso em: 13 maio 2025.

SHETH, J. N. **Impact of Covid-19 on Consumer Behavior: Will the Old Habits Return or Die?** 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0148296320303647>. Acesso em: 24 out. 2025.

ANÁLISE DE VULNERABILIDADES NA TECNOLOGIA RFID: UM ESTUDO EXPLORATÓRIO COM CARTÕES MIFARE CLASSIC
VULNERABILITY ANALYSIS IN RFID TECHNOLOGY: AN EXPLORATORY STUDY WITH MIFARE CLASSIC CARDS

Pedro de Sousa Vicente Menck[1]
Rafael de Sá Mascarenhas[2]

RESUMO: O uso da tecnologia de Identificação por Radiofrequência (RFID) tem crescido em sistemas de controle de acesso e pagamentos. Cartões baseados no padrão MIFARE Classic são adotados devido ao seu baixo custo, mas introduzem vulnerabilidades de segurança conhecidas. Este artigo apresenta uma análise prática dessas vulnerabilidades, com foco nas fragilidades do algoritmo de criptografia proprietário CRYPTO-1. A metodologia englobou uma revisão bibliográfica e a execução de experimentos práticos utilizando a ferramenta de teste de penetração Proxmark3 com o Firmware Iceman. Foram avaliados cartões convencionais e "Chinese Magic Cards" por meio de ataques do tipo Nested, Darkside e Hardnested. Os resultados demonstraram uma vulnerabilidade sistemática nos setores dos cartões. O ataque Nested recuperou chaves com políticas padrão entre 1 a 3 segundos, enquanto o ataque Hardnested comprometeu chaves não padrão em poucos minutos. Após a extração, foi possível realizar a leitura integral da memória e a clonagem completa dos dispositivos. Conclui-se que o padrão MIFARE Classic permanece vulnerável a ataques estruturais e de clonagem. A mitigação mais eficaz é a migração para tecnologias mais robustas, como MIFARE Plus ou DESFire EV2. Para sistemas que não podem ser atualizados imediatamente, recomenda-se a rotação periódica de chaves, a remoção de chaves padrão e a implementação de mecanismos anti-replay nos leitores.
Palavras-chave: RFID, MIFARE Classic, Proxmark3, Clonagem de Cartões, Segurança da Informação

ABSTRACT: The use of Radio-Frequency Identification (RFID) technology has grown significantly in access control and payment systems. Cards based on the MIFARE Classic standard are widely adopted due to their low cost but introduce known security vulnerabilities. This article presents a practical analysis of these vulnerabilities, focusing on the structural weaknesses of the proprietary CRYPTO-1 encryption algorithm. The methodology included a literature review and practical experiments using the Proxmark3 penetration testing tool with the Iceman Firmware. Standard cards and "Chinese Magic Cards" were evaluated using Nested, Darkside, and Hardnested attacks. The results demonstrated systematic vulnerabilities in the card sectors. The Nested attack recovered keys with default policies in 1 to 3 seconds, while the Hardnested attack compromised non-default keys within a few minutes. After key extraction, full memory reading and complete device cloning were successfully achieved. We conclude that the MIFARE Classic standard remains highly vulnerable to structural and cloning attacks. The most effective mitigation is migrating to more robust technologies, such as MIFARE Plus or DESFire EV2. For systems that cannot be immediately upgraded, we recommend periodic key rotation, the removal of default keys, and the implementation of anti-replay mechanisms in the readers.
Keywords: RFID, MIFARE Classic, Proxmark3, Card Cloning, Information Security.

Graduado em Análise e Desenvolvimento de Sistemas – Instituição: Fatec Tatuí - E-mail: pedro.vicente2@fatec.sp.gov.br [1]
Mestre em Computação Aplicada – Instituição: Universidade Presbiteriana Mackenzie - E-mail: rafael.mascarenhas@mackenzie.br[2]

1 INTRODUÇÃO

A tecnologia de Identificação por Radiofrequência (RFID) possibilita a identificação e a transmissão de dados sem a necessidade de contato físico, utilizando ondas de rádio para a comunicação entre etiquetas e leitores. Atualmente, o padrão MIFARE Classic, desenvolvido pela NXP Semiconductors, consolidou-se como um dos protocolos mais utilizados globalmente em sistemas de transporte público e controle de acesso devido ao seu baixo custo de implementação. No entanto, apesar de sua conveniência, esse sistema apresenta vulnerabilidades de segurança documentadas que podem comprometer a privacidade e a integridade das informações. A fragilidade central desse ecossistema reside no algoritmo de criptografia proprietário CRYPTO-1.

Nesse aspecto, a engenharia reversa poderia expor falhas estruturais que facilitam a execução de ataques via interface aérea, além disso, a literatura aponta riscos de clonagem em cenários nos quais o agente externo necessita apenas da proximidade física momentânea com o dispositivo, dispensando a interação com um leitor legítimo. A persistência dessas falhas em aplicações reais evidencia a necessidade de avaliações práticas que fundamentem estratégias de mitigação eficazes.

Nesse contexto, o presente estudo realiza uma análise de vulnerabilidades com foco em cartões MIFARE Classic, utilizando experimentação prática com o dispositivo de hardware aberto Proxmark3 equipado com o Firmware Iceman. O objetivo deste trabalho foi identificar e validar fraquezas exploráveis no sistema de segurança desses dispositivos por meio da revisão de protocolos, execução de testes de interceptação de sinais *(sniffing*), análise de autenticação e procedimentos de clonagem. Adicionalmente, buscou-se correlacionar os resultados obtidos com recomendações técnicas e medidas de mitigação destinadas ao aprimoramento da proteção em sistemas baseados na tecnologia RFID.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia aplicada fundamenta-se em uma análise prática de vulnerabilidades conduzida em ambiente controlado para avaliar as fragilidades do padrão MIFARE Classic 1K. Este dispositivo opera na frequência de 13,56 MHz e

utiliza o algoritmo CRYPTO-1 para proteger seus 1024 bytes de memória EEPROM, organizados em 16 setores independentes. Para os experimentos de replicação de dados, utilizaram-se unidades do Chinese Magic Card (Gen1 e Gen2), exemplificado na Figura 1, que se distinguem por permitirem a alteração do Identificador Único (UID) e a emulação de múltiplos dumps de memória.

Figura 1 – Cartão mágico chinês neutro



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

A manipulação dos sinais de rádio e a execução dos protocolos de ataque foram realizadas através do hardware Proxmark3 (Figura 2), em sua variante Proxmark 3 Easy (PROXMARK.COM, 2016), que integra um microcontrolador ARM e processamento de sinal digital (DSP) em tempo real.

Figura 2 – Dispositivo Proxmark3 Easy



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

Este equipamento integra um microcontrolador ARM e circuitos de rádio projetados para a análise e manipulação de sistemas RFID e comunicação NFC. O hardware foi operado com o Firmware Iceman, um fork comunitário desenvolvido para estabilizar e ampliar as funcionalidades originais do dispositivo, oferecendo um

conjunto abrangente de comandos para operações de leitura, emulação e análise de protocolos.

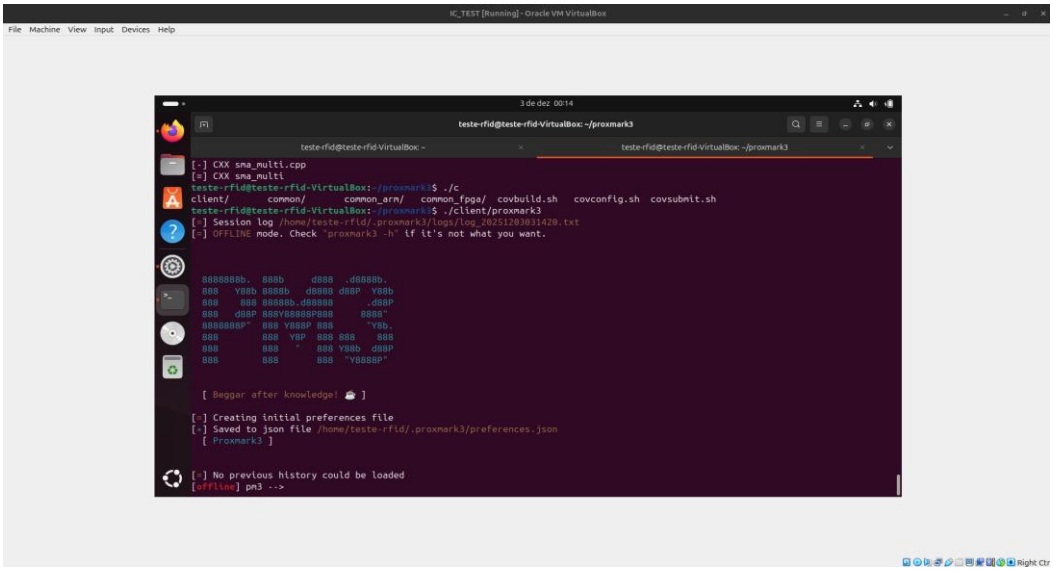
O ambiente computacional consistiu em uma máquina virtual configurada com o sistema operacional Ubuntu Desktop 24.04.3 LTS, 3 vCPUs, 3516 MB de RAM e 50 GB de armazenamento. Os experimentos foram conduzidos no período de agosto a outubro de 2025, em ambiente laboratorial controlado. A conexão entre o hardware e o software cliente foi estabelecida via interface USB em modo pass-through para garantir a baixa latência necessária durante a captura e o registro de pacotes. O fluxo experimental foi iniciado pela identificação do cartão através do comando hf search, registrando-se o UID e o tipo de etiqueta detectada. Sequencialmente, realizou-se uma varredura com o comando hf mf chk para identificar o uso de chaves padrão nos setores da memória.

Com base nas chaves identificadas, aplicaram-se os ataques Nested e Hardnested para a derivação das chaves secretas restantes por meio da coleta de números aleatórios (nonces) e processamento de força-bruta. Em setores sem chaves conhecidas, utilizou-se o ataque Darkside para explorar respostas previsíveis de autenticação e obter material criptográfico parcial. Durante as etapas de teste, o modo sniffer bidirecional do Proxmark3 foi habilitado para validar o protocolo ISO 14443 e registrar o comportamento do algoritmo CRYPTO-1. A etapa final compreendeu a extração da memória integral do cartão original via comando “hf mf dump” e a subsequente replicação das informações no cartão mágico através do comando “hf mf restore”, sendo o sucesso da clonagem confirmado pela autenticação efetiva do dispositivo em um leitor real.

No que tange ao suporte lógico para as operações de auditoria, utilizou-se o Firmware Iceman, uma derivação (fork) comunitária do código original do dispositivo Proxmark3, mantida e atualizada pelo projeto RFID Research Group (RFIDRESEARCHGROUP, 2020). O desenvolvimento desta ferramenta teve como premissa fundamental a estabilização e o aprimoramento das funcionalidades nativas do hardware, visando conferir maior robustez às tarefas de campo. Conforme documentado por Iceman (2023), este firmware diferencia-se por oferecer um conjunto expandido e mais abrangente de comandos em comparação à versão oficial, o que amplia significativamente a capacidade de interação com diferentes tipos de etiquetas.

A configuração pode ser vista na Figura 3.

Figura 3 – Máquina virtual com Iceman



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

Conforme ilustrado na Figura 3, a integração do Iceman ao ambiente virtualizado possibilita o acesso a utilitários especializados que simplificam processos complexos de leitura, emulação e clonagem. Além disso, o firmware provê ferramentas para a análise profunda de protocolos RFID/NFC, permitindo que o pesquisador identifique fragilidades estruturais com maior precisão e agilidade durante os experimentos práticos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A tecnologia de Identificação por Radiofrequência (RFID) consolidou-se como um recurso para a automação de processos, apresentando crescimento em sistemas de controle de acesso, pagamentos e gerenciamento de estoques. Fundamentalmente, esta tecnologia permite a "identificação e transmissão de dados sem contato físico", utilizando ondas de rádio para estabelecer a comunicação bidirecional entre etiquetas (tags) e leitores. No entanto, a despeito da conveniência operacional proporcionada, a implementação de sistemas baseados em RFID introduz vulnerabilidades de segurança que podem comprometer severamente a privacidade e a integridade dos dados trafegados (MEIJER e VERDULT, 2015). Gavoni (2021) sistematiza o panorama de exploração da tecnologia RFID e as respectivas contramedidas, evidenciando que as fragilidades não se restringem a um padrão específico, mas permeiam o ecossistema como um todo.

Nesse cenário de segurança, a tecnologia RFID opera em diferentes faixas de frequência, sendo a alta frequência (HF, 13,56 MHz) a mais utilizada em cartões de proximidade, seguindo as diretrizes do padrão ISO/IEC 14443. O MIFARE Classic, lançado em 1994, destacou-se historicamente como um dos primeiros dispositivos contactless a implementar proteção de memória via criptografia. Conforme detalhado por Munoz-Ausecha, Ruiz-Rosero e Ramirez-Gonzalez (2021), a arquitetura do modelo 1K compreende 1024 bytes de memória EEPROM, segmentada em 16 setores independentes, onde o último bloco de cada setor (sector trailer) armazena chaves secretas de 48 bits e bytes de controle de acesso.

3.1 O ALGORITMO CRYPTO-1 E SUAS LIMITAÇÕES ESTRUTURAIS

A segurança do ecossistema MIFARE Classic é fundamentada no algoritmo de “stream cipher” proprietário denominado CRYPTO-1, o qual é responsável por gerenciar o protocolo de autenticação mútua entre o leitor e o cartão. Tecnicamente, o funcionamento da cifra baseia-se em um registrador de deslocamento com retroalimentação linear (LFSR) de 48 bits, cuja inicialização é processada a partir da combinação da chave secreta de 48 bits e do identificador único (UID) do dispositivo. Conforme descrevem Nohl et al. (2008), as falhas estruturais primárias derivam da reduzida dimensão do estado interno e da previsibilidade nos processos de inicialização: "Esse algoritmo utiliza um LFSR de 48 bits inicializado com a chave secreta e o UID do cartão".

As investigações de Garcia et al. (2008) demonstraram que a maleabilidade do cifrador e as vulnerabilidades em processos de autenticação aninhada permitem a recuperação de chaves secretas em intervalos de segundos. A robustez do protocolo é ainda mais comprometida pela ausência de mecanismos modernos de controle de integridade. Conforme observado por Meijer e Verdult (2015), o sistema carece de autenticação de mensagem e contadores de sessão, o que impede a detecção de qualquer adulteração no fluxo de dados e torna as comunicações suscetíveis a ataques de repetição (replay).

Além das fragilidades algorítmicas, falhas operacionais em implementações específicas agravam o cenário de risco. Teuwen (2024) e Fernández-Caramés et al. (2024) relatam a existência de variantes de cartões que utilizam padrões estáticos ou previsíveis no lugar de números genuinamente aleatórios durante a autenticação. Tal

falha resulta na produção de fluxos de cifra (*keystreams*) repetitivos, o que facilita a aplicação de técnicas como o ataque “Darkside” para a extração parcial de material criptográfico.

Complementarmente, Araujo (2024) destaca que as limitações do sistema não se restringem à cifra, originando-se também do desenho do sistema de gestão de chaves e da estrutura de memória. O uso recorrente de chaves padrão ou reutilizadas em setores administrativos, associado a políticas de acesso inadequadas, permite que o comprometimento de uma única chave acelere a quebra das demais de forma progressiva.

3.2 CRIPTOANÁLISE E VETORES DE ATAQUE DOCUMENTADOS

As fragilidades do CRYPTO-1 permitem a execução de diversos vetores de ataque que comprometem a integridade do dispositivo. Garcia et al. (2008) demonstraram ataques práticos que recuperam chaves secretas em segundos ao explorarem a maleabilidade do cifrador e autenticações aninhadas (nested). Adicionalmente, Courtois (2009) expandiu essas descobertas ao propor métodos de clonagem em cenários card-only, nos quais o atacante necessita apenas da proximidade física com o cartão.

Recentemente, a identificação de variantes com nonces estáticos revelou novas superfícies de exploração. Conforme explica Teuwen (2024), quando o cartão gera valores previsíveis ou repetidos durante a autenticação, o cifrador produz saídas redundantes. Isso possibilita a recuperação do keystream e facilita a aplicação de técnicas como Darkside ou Hardnested. No mesmo sentido, Chiu et al. (2014) descrevem um ataque prático contra variantes "patched" do MIFARE Classic. Diante deste cenário, autores como Araujo (2024) reforçam que as falhas são oriundas de limitações intrínsecas ao desenho do sistema de gestão de chaves.

3.3 FERRAMENTAL DE AUDITORIA E EMULAÇÃO DE TAGS

A viabilidade prática dos ataques mencionados é fundamentada no uso de dispositivos de hardware especializado. O Proxmark3 é definido como um "dispositivo de hardware aberto à comunidade", projetado especificamente para a análise e manipulação de sistemas RFID e NFC. Sua arquitetura integra processamento de

sinal digital (DSP) em tempo real, permitindo operações de leitura, clonagem e emulação de tags.

A eficácia do hardware é ampliada pelo uso do Firmware Iceman, um fork comunitário desenvolvido para estabilizar e expandir as funcionalidades originais do Proxmark3. Segundo Iceman (2023), este software facilita a execução de comandos para replay attacks e força-bruta em sistemas de acesso. Complementarmente, Mackiewicz (2020) destaca a relevância dos Chinese Magic Cards (Gen1/Gen2), variantes que permitem a alteração do UID e a emulação de múltiplos cartões simultaneamente, removendo as restrições físicas impostas por cartões legítimos durante testes de penetração.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados experimentais revela que as vulnerabilidades documentadas no ecossistema MIFARE Classic são, majoritariamente, oriundas de limitações intrínsecas ao algoritmo proprietário CRYPTO-1 e ao desenho do sistema de gestão de chaves. A estrutura de memória, composta por setores e trailers, associada ao uso recorrente de chaves padrão ou reutilizadas, expõe chaves administrativas e permite a leitura ou escrita indevida de blocos quando as políticas de acesso são inadequadas. Além disso, a ausência de mecanismos criptográficos de integridade e a falta de contadores de transação agravam os riscos de ataques de repetição (replay).

4.1 CRONOLOGIA E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

A investigação seguiu uma sequência cronológica iniciada pela identificação do dispositivo através do comando “hf Search” no Proxmark3 Easy. Esta etapa permitiu registrar o identificador único (UID) e o tipo do cartão, além de detectar a presença de chaves padrão reconhecidas ou de backdoors ativos em unidades do tipo *Chinese Magic Card*.

Sequencialmente, realizou-se uma varredura de chaves iniciais com o comando “hf mf chk”, o que possibilitou determinar rapidamente se os setores continham chaves de fábrica, como a “FFFFFFFFFFFF”, sem a necessidade de ataques ativos imediatos.

Com a base de chaves iniciais estabelecida, procedeu-se à execução de ataques direcionados para a extração das chaves secretas remanescentes. Os resultados detalhados demonstram a eficácia de diferentes abordagens:

- Ataque Nested: Utilizado em setores subsequentes a partir de uma chave conhecida, permitiu coletar nonces e fluxos cifrados até a derivação completa de cada chave em intervalos médios entre 1 e 3 segundos.
- Ataque Darkside: Aplicado de forma consistente em setores sem chaves conhecidas, explorando padrões de falha previsíveis durante a autenticação até a obtenção do erro de NACK, viabilizando a quebra da chave.
- Ataque Hardnested: Empregado em cartões com proteções endurecidas (hardened), exigiu a coleta de milhares de nonces cifrados e o processamento de força-bruta offline, com tempos de execução variando entre 30 segundos e alguns minutos. Trabalhos como o de Tezcan (2017) exploram, ainda, a criptoanálise por força bruta de cartões MIFARE Classic com auxílio de GPU.

Para validar o funcionamento do sistema, habilitou-se o modo sniffer bidirecional, cujos registros confirmaram o formato dos comandos ISO 14443 e o comportamento do CRYPTO-1. A etapa final consistiu na validação via dump: após a recuperação integral das chaves, utilizou-se o comando “hf mf dump” para extrair a memória e “hf mf restore” para replicar os dados em um cartão de testes.

O clone foi autenticado com sucesso em todos os setores em um leitor real, confirmando a viabilidade da clonagem completa e da emulação de comportamento idêntico ao original.

4.2 DISCUSSÃO DOS ACHADOS

Os achados confirmam que a dependência de chaves estáticas e a falta de proteção contra repetição facilitam a interceptação de dados mesmo sem acesso ao leitor legítimo. A arquitetura de setores independentes favorece ataques progressivos, onde o comprometimento de uma única chave acelera a quebra das demais. Nesse contexto, o uso de Chinese Magic Cards potencializa a exploração prática, pois permite a variação arbitrária de UID e a gravação direta de cópias de dados, removendo restrições físicas para testes repetitivos. O risco associado a este

ecossistema vai além da clonagem: Zhou, Zhang e Yu (2019) tratam de cenários de exfiltração de dados envolvendo cartões RFID multipropósito.

Diante da obsolescência comprovada, a medida mais eficaz é a substituição imediata por tecnologias como MIFARE Plus ou DESFire EV2, eliminando a dependência do CRYPTO-1. Para sistemas impossibilitados de migração imediata, recomenda-se a rotação periódica de chaves, a remoção de credenciais padrão e a implementação de mecanismos de anti-replay e autenticação mútua reforçada nos leitores. Adicionalmente, medidas físicas como a blindagem e a redução da distância de leitura poderiam mitigar capturas oportunistas via interface aérea. Iniciativas de reforço aplicadas ao próprio MIFARE Classic, voltadas a serviços de pagamento e controle de acesso contactless, também são discutidas na literatura (ÖZDENIZCI KÖSE; ULUOZ; COSKUN, 2022).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A investigação experimental conduzida ratifica que a segurança oferecida pelos cartões MIFARE Classic é, na contemporaneidade, ilusória. A eficácia sistemática dos ataques realizados demonstra que as defesas baseadas no algoritmo CRYPTO-1 foram superadas pelo avanço do hardware acessível e de técnicas de criptoanálise pública. A capacidade de clonar integralmente um dispositivo em intervalos que variam de poucos segundos a alguns minutos expõe uma vulnerabilidade crítica em infraestruturas de larga escala que ainda dependem desse padrão. Criticamente, conclui-se que o uso continuado dessa tecnologia não representa apenas um risco técnico, mas uma fragilidade operacional que não pode ser sanada apenas com ajustes de configuração ou troca de chaves padrão.

Apesar dos resultados conclusivos, este estudo apresenta limitações que devem ser consideradas. Os experimentos foram realizados em ambiente controlado, utilizando predominantemente cartões da variante 1K e o dispositivo Proxmark3 Easy, o que pode não refletir a totalidade das variáveis encontradas em campo, como leitores com mecanismos de detecção de hardware de ataque ou variantes de cartões com proteções de software mais recentes.

Além disso, a análise concentrou-se na interface aérea e na extração de dados brutos, sem explorar a fundo a segurança das bases de dados dos sistemas de backend que processam as informações capturadas.

Para pesquisas futuras, recomenda-se a investigação de ataques contra o padrão MIFARE Plus operando em modo de compatibilidade, a fim de avaliar se a transição parcial de tecnologia oferece ganho real de segurança. Sugere-se também o estudo de métodos de detecção de cartões clonados via análise de comportamento de acesso e a exploração de vulnerabilidades em ecossistemas de emulação por dispositivos móveis (NFC). Em suma, este trabalho reforça que o encerramento do ciclo de vida da tecnologia MIFARE Classic é uma medida urgente para garantir a integridade de sistemas de identificação e pagamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, L. d. **Estudo das vulnerabilidades presentes nos cartões mifare classic**. 2024. Monografia (Graduação em Ciência da Computação) – Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2024.

CHIU, Y. H.; HONG, W. C.; CHOU, L. P.; DING, J. A practical attack on patched mifare classic. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CRYPTOLOGY AND NETWORK SECURITY, 2014. **Proceedings...** [S. l.: s. n.], 2014.

COURTOIS, N. T. The dark side of security by obscurity and cloning MiFare classic rail and building passes anywhere, anytime. **Cryptology ePrint Archive**, Paper 2009/137, 2009.

FERNÁNDEZ-CARAMÉS, T. M.; FRAGA-LAMAS, P.; SUÁREZ-ALBELA, M.; CASTEDO, L. Reverse engineering and security evaluation of commercial tags for rfid-based iot applications. **arXiv preprint**, 2024. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2401.00000. Acesso em: 19 mar. 2026.

GARCIA, F. D. et al. Dismantling mifare classic. In: EUROPEAN SYMPOSIUM ON RESEARCH IN COMPUTER SECURITY (ESORICS), 13., 2008, Málaga. **Computer Security...** Berlin: Springer, 2008. p. 197-214.

GAVONI, L. Rfid exploitation and countermeasures. **arXiv preprint**, 2021. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2101.00000. Acesso em: 19 mar. 2026.

ICEMAN, R. **Proxmark3iceman documentation**. GitHub Wiki, 2023. Disponível em: https://github.com/RfidResearchGroup/proxmark3/wiki. Acesso em: 19 mar. 2026.

MACKIEWICZ, A. **What type of rfid cards can be easily cloned by hardware available on the market?** 2020. Dissertação (Master of Science in Cyber Security) – National College of Ireland, Dublin, 2020.

MEIJER, C.; VERDULT, R. Ciphertext-only cryptanalysis on hardened mifare classic cards. In: ACM SIGSAC CONFERENCE ON COMPUTER AND COMMUNICATIONS SECURITY, 22., 2015, Denver. **Proceedings...** New York: ACM, 2015.

MUNOZ-AUSECHA, C.; RUIZ-ROSERO, J.; RAMIREZ-GONZALEZ, G. Rfid applications and security review. **Computing**, v. 103, n. 5, p. 977-1000, 2021.

NOHL, K.; EVANS, D.; STARBUG; PLÖTZ, H. Reverse-engineering a cryptographic rfid tag. In: USENIX SECURITY SYMPOSIUM, 17., 2008, San Jose, CA. **Proceedings...** San Jose, CA: USENIX Association, 2008.

ÖZDENIZCI KÖSE, B.; ULUOZ, H.; COSKUN, V. A secure design on mifare classic cards for ensuring contactless payment and control services. **Advances in Cyber-Physical Systems**, v. 7, n. 1, 2022.

PROXMARK.COM. **Proxmark 3 easy**. Website, 2016. Disponível em: http://proxmark.com. Acesso em: 5 set. 2025.

RFIDRESEARCHGROUP. **Proxmark3 – iceman (rrg) fork**. GitHub repository, 2020. Fork/branch com melhorias e builds para Proxmark3 (Iceman). Disponível em: https://github.com/RfidResearchGroup/proxmark3. Acesso em: 12 out. 2025.

TEUWEN, P. Mifare classic: Exposing the static encrypted nonce variant. **IACR Cryptology ePrint Archive**, n. 1275, 2024.

TEZCAN, Cihangir. Brute Force Cryptanalysis of MIFARE Classic Cards on GPU. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SECURITY AND CRYPTOGRAPHY, 2017, Madrid. **Proceedings...** [S. l.]: SciTePress, 2017. p. 524-528. DOI 10.5220/0006262705240528.

ZHOU, Z.; ZHANG, W.; YU, N. Data exfiltration via multipurpose rfid cards and countermeasures. **IACR Cryptology ePrint Archive**, n. 076, 2019.

POTENCIAL ESPELEOLÓGICO DO CÂNION SITUADO ENTRE GUAREÍ, BOFETE E TORRE DE PEDRA, SP
SPELEOLOGICAL POTENTIAL OF THE CANYON LOCATED BETWEEN GUAREÍ, BOFETE AND TORRE DE PEDRA, SP

Edson Sarti Wernek[1]
Marcelo dos Santos Silvério[2]

RESUMO: O estudo objetivou identificar e registrar o patrimônio espeleológico num cânion localizado entre os municípios de Guareí, Bofete e Torre de Pedra, no estado de São Paulo, contribuindo para o conhecimento científico sobre cavidades desenvolvidas em litologias siliciclásticas. A pesquisa tem caráter exploratório, descritivo e quantitativo, conduzida por prospecções nos anos de 2025 e 2026, concentradas nos paredões do cânion, por conveniência e em setores prioritários a partir da análise de mapas topográficos e hidrológicos. As cavidades identificadas foram georreferenciadas e documentadas por registros fotográficos, com mapeamento espeleológico apenas da cavidade que apresentou desenvolvimento interno superior à dimensão de sua entrada. Como resultado, foram registradas seis novas cavidades, classificadas como abrigos e tocas, todas para o município de Bofete. A ocorrência dessas feições em arenitos da Formação Pirambóia reforça o potencial espeleológico da área, especialmente considerando a relativa escassez de estudos sistemáticos sobre cavernas areníticas no Brasil. Além das cavidades, as observações de campo indicaram a presença de vegetação e fauna silvestre relativamente preservadas, associadas ao ambiente interno do cânion. Apesar das limitações enfrentadas durante as prospecções, os resultados evidenciam que a área possui potencial espeleológico inédito, destacando a necessidade de novas investigações e estratégias de gestão de áreas naturais municipais.
Palavras-chave: Biodiversidade; Geoconservação; Geomorfologia; Paisagem.

ABSTRACT: This study aimed to identify and record the speleological heritage in a canyon located between the municipalities of Guareí, Bofete, and Torre de Pedra, in the state of São Paulo, contributing to the scientific knowledge about cavities developed in siliciclastic lithologies. The research is exploratory, descriptive, and quantitative in nature, conducted through prospecting in 2025 and 2026, concentrated on the canyon walls, by convenience and in priority sectors based on the analysis of topographic and hydrological maps. The identified cavities were georeferenced and documented by photographic records, with speleological mapping only of the cavity that presented internal development greater than the dimension of its entrance. As a result, six new cavities were recorded, classified as shelters and burrows, all for the municipality of Bofete. The occurrence of these features in sandstones of the Pirambóia Formation reinforces the speleological potential of the area, especially considering the relative scarcity of systematic studies on sandstone caves in Brazil. In addition to the caves, field observations indicated the presence of relatively preserved vegetation and wildlife associated with the canyon's interior environment. Despite the limitations encountered during the surveys, the results show that the area has unprecedented speleological potential, highlighting the need for further investigations and management strategies for municipal natural areas.
Keywords: Biodiversity; Geoconservation; Geomorphology; Landscape.

Tecnologia em Gestão Ambiental - Fatec Itapetininga - E-mail: edsonsartiwernek@gmail.com [1]
Mestre em Ensino de Matemática - Fatec Itapetininga - E-mail: marcelo.silverio@fatec.sp.gov.br [2]

1 INTRODUÇÃO

Este artigo estuda a potencial presença de cavernas num cânion paulista entre as cidades de Bofete (BFT), Guareí (GRI) e Torre de Pedra (TOP). Assim, a definição de “caverna” torna-se um elemento central. No Brasil, a Resolução CONAMA de número 347 (2004) define como cavidade natural subterrânea todo espaço subterrâneo penetrável pelo ser humano, incluindo também o seu ambiente, conteúdos minerais, hídricos, comunidades bióticas e seu corpo rochoso, desde que formada por processos naturais, independentemente de suas dimensões ou tipo de rocha.

Atualmente, o Brasil destaca-se pela expressiva diversidade de cavernas registradas em diferentes contextos geológicos. De acordo com o Cadastro Nacional de Cavernas (CNC, 2026), da Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE), o país possui 9.422 cavidades cadastradas. Desse total, 1.178 são desenvolvidas em rochas siliciclásticas, como arenitos, correspondendo a 12,7% das ocorrências, sendo o terceiro lugar entre as principais litologias do país. Em comparação aos dados de Wernek, Samila e Silvério (2024), que registrava 1.120 cavernas nessa litologia, observa-se um acréscimo de 58 novas cavidades. Proporcionalmente, entretanto, quando observamos o conjunto total, houve uma redução de 0,2%, indicando que, embora o número absoluto tenha aumentado, outras litologias também ampliaram sua representatividade no CNC.

Dados mais recentes do CNC (2026) indicam que cavernas em rochas metassedimentares totalizam 16,3% dos registros nacionais (Wernek; Samila; Silvério, 2024), com acréscimo de 322 novas cavidades em relação ao levantamento anterior, consolidando essa litologia na segunda posição. Já as cavernas em rochas calcárias, por sua vez, permanecem predominantes no cenário nacional, concentrando 5.282 cadastros, com 57,1% do total.

Os padrões observados encontram respaldo em estudos como por exemplo os de Morais e Souza (2009), Spoladore (2005) e Freire et al. (2017), que apontam escassez de investigações sistemáticas em litologias siliciclásticas no Brasil. Esse cenário reforça a necessidade de ampliação das pesquisas em áreas como GRI, BFT e TOP, municípios do interior do estado de São Paulo caracterizados por formações areníticas e presença de cânions e feições erosivas associadas nos seus territórios. Nesses contextos, fatores como a reduzida dimensão das cavidades, a percepção

histórica de menor relevância espeleológica e a ausência de estímulos institucionais para o registro formal podem contribuir para a subnotificação desses ambientes (Cunha et al., 2022), indicando a existência de potencial espeleológico pouco documentado.

Assim, o objetivo deste trabalho foi identificar e registrar o patrimônio espeleológico de uma parcela do cânion presente nos municípios de GRI e BFT (Imagem 8), contribuindo para o conhecimento espeleológico regional, a preservação da área, como também a sensibilização de munícipes e comunidade acadêmica. Para isso, foram realizadas prospecções sistemáticas ao cânion, localizando cavidades naturais, fazendo os seus georreferenciamentos e mapeando-as quando necessário, como documentando principais características, além de registrá-las, no CNC, da SBE e no Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE), do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (ICMBio/Cecav).

2 METODOLOGIA

A pesquisa teve caráter quantitativo, exploratório e descritivo, focada na identificação, mapeamento e registro do patrimônio espeleológico de uma área do cânion, que, ainda que alcance o município de TOP, teve registros e prospecções referentes somente aos municípios de GRI e BFT. O estudo ocorreu nos anos de 2025 e 2026, por prospecções sistemáticas, realizadas nos paredões do cânion por conveniência e áreas prioritárias a partir de mapas topográficos e hidrológicos, por pesquisadores e auxiliares do Grupo Espeleológico dos Tecnólogos de Itapetininga (GETI) e do Grupo de Espeleologia Laje Seca (GELS). Foi utilizado GPS Portátil *Garmin eTrex*® para o georreferenciamento e o mapeamento seguiu os métodos do GELS e GETI, adiante descritos, com ao menos três participantes desempenhando funções de croquista, ponta-de-trena e instrumentista-anotador.

A espeleotopografia foi realizada em planta, com poligonal fechada e classificação Grau BCRA: 4C, com softwares PocketTopo (2014) e Therion (2025), além de bússola, trena a laser, planilhas, papel quadriculado e clinômetro, pelo Princípio da Descontinuidade e apenas em cavidades com o desenvolvimento perceptivelmente maior do que sua boca, para otimizar o tempo em campo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 REGIÃO DO ESTUDO

3.1.1. Social

O município paulista GRI, apresenta um território de 567,884 km² e população de 15.013 habitantes (hab.), conforme o Censo Demográfico de 2022. Com idade média de 35 anos, sua composição racial é predominantemente branca (9.602), seguida por 4.718 pardos, 610 pretos, 30 amarelos e 17 indígenas. Seu Produto Interno Bruto (PIB) per capita registrado em 2021 e seu Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB) referente aos anos finais do ensino fundamental da rede pública, foram de R$16.300,18 e 5,4 respectivamente. Sua formação teve início em 1827, sendo sustentada pela agricultura e pecuária.

Conforme IBGE (2025), o município também paulista BFT, apresenta área territorial de 653,541 km² e população de 10.460 hab., pelo Censo de 2022. A idade média da população é de 39 anos, compostos racialmente por 6.519 brancos, 3.346 pardos, 555 pretos, 32 amarelos e 8 indígenas. Ainda segundo o portal supracitado, o PIB per capita e IDEB referente aos anos finais do ensino fundamental da rede pública, registrados em 2021, foram de R$17.546,39 e 5,3, respectivamente. Historicamente, BFT teve início em 1840, junto à Serra de Botucatu, com economia inicial baseada na pecuária e impulsionada pelo ciclo do café. Posteriormente, a perda de fertilidade do solo provocou êxodo populacional a partir da década de 1950, restando atividades ligadas à agropecuária e à silvicultura (IBGE, 2025).

3.1.2 Geologia

Conforme o Banco de Dados e Informações Ambientais (BDIA) de Geologia (2023) área amostral do cânion selecionada para o estudo, localiza-se na Província Estrutural do Paraná, sustentada pela Formação Pirambóia, unidade basal do Grupo São Bento, com idade atribuída do Triássico Médio ao Superior. A litologia predominante desse grupo corresponde a arenitos avermelhados, constituídos por grãos muito rolados, sem cimento argiloso, conferindo elevada friabilidade, favorecendo sua fragmentação prismática, com gênese de ambientes fluviais. O registro litológico inclui, de forma subordinada, folhelhos.

O município de GRI encontra-se inserido predominantemente na Província Estrutural do Paraná, abrangendo também áreas de cobertura sedimentar cenozóica, com análise estratigráfica da região apresentando unidades sedimentares paleozóicas (formações Irati e Teresina) e mesozóicas (Grupo São Bento, pelas formações Pirambóia e Botucatu), além de coberturas quaternárias e manifestações vulcânicas associadas ao magmatismo fissural. No contexto da distribuição espacial das subprovíncias estruturais, a Bacia do Paraná ocupa 91,36% da área municipal, seguida pela Cobertura Cenozóica Indiscriminada (7,80%) e por uma pequena porção vinculada ao Grupo Serra Geral (0,73%) (BDIA, 2023).

Já BFT está inserido majoritariamente na Província Estrutural do Paraná, que ocupa cerca de 94,75% de seu território. As demais áreas correspondem à subprovíncia Serra Geral (3,04%), à Cobertura Cenozóica Indiscriminada (2,16%) e a uma fração residual da subprovíncia Bauru-Caiuá (0,05%). No Paleozóico, ocorre a Formação Teresina, pertencente ao Grupo Passa Dois; o Mesozóico é representado pelo Grupo São Bento, com a Formação Pirambóia e pela Formação Botucatu. O cretáceo Grupo Serra Geral inclui a Formação Candói como também o Grupo Bauru, representado pela Formação Marília (BDIA, 2023a).

3.1.3 Geomorfologia

Pelos dados reunidos no BDIA de Geomorfologia (2023b), em GRI, a geomorfologia caracteriza-se pela homogeneidade espacial, dominado pelo Patamar de Ponta Grossa–Itapetininga, o mesmo da área de estudo no cânion, que confere à paisagem colinas suaves, topos convexos ou tabulares e dissecação pouco profunda. As cotas altimétricas decrescem suavemente de leste para oeste, acompanhando a inclinação das camadas sedimentares da Bacia do Paraná, enquanto a rede de drenagem evidencia um controle estrutural associado ao Arco de Ponta Grossa, com aproveitamento de fraturas orientadas preferencialmente no sentido noroeste–sudeste. As coberturas superficiais são compostas por colúvios arenosos e materiais síltico-argilosos friáveis, com ocorrência recorrente de linhas de pedra, refletindo condições paleoclimáticas pretéritas. Atualmente, a dinâmica geomorfológica indica estabilidade relativa, com processos erosivos mais intensos restritos a áreas pontuais da Depressão Periférica e setores onde a textura arenosa dos solos favorece voçorocamentos.

Já BFT apresenta um quadro geomorfológico marcado pela coexistência de quatro unidades principais: o predomínio do Patamar de Ponta Grossa–Itapetininga, seguido pela Depressão Periférica do Médio Tietê, Planalto Residual de Botucatu e Planícies e Terraços Fluviais. O relevo dominante corresponde a uma superfície de baixa energia, pouco dissecada, associada ao reverso de cuesta, na qual se observa a influência estrutural do Arco de Ponta Grossa, condicionando o caimento das camadas sedimentares e o padrão da drenagem. As formações superficiais são caracterizadas principalmente por colúvios arenosos de coloração castanha, além de materiais síltico-argilosos avermelhados nos divisores de água, frequentemente sobrepostos a linhas de pedra ferruginizadas, indicativas de paleopavimentos. A dinâmica atual do modelado é predominantemente estável, com prevalência da pedogênese sobre os processos erosivos mecânicos, excetuando-se setores de maior declividade e áreas fluviais, onde ocorrem processos agradacionais holocênicos associados aos vales principais (BDIA, 2023b).

3.1.4 Vegetação

A área de estudo no cânion, de acordo com o BDIA de Vegetação (2023c), correspondente ao ponto da pesquisa, insere-se em um contexto de elevada complexidade fitogeográfica, marcado por zonas de tensão ecológica e forte pressão antrópica. Parte da área é classificada como Área Antrópica Dominante em Tensão Ecológica, caracterizada historicamente como um contato do tipo ecótono e encrave entre Savana e Floresta Estacional. Nesse setor, a cobertura primária do solo é constituída predominantemente por pastagens, indicando a conversão da vegetação de transição em áreas destinadas à pecuária. Associam-se a esse uso o florestamento e reflorestamento com eucaliptos, bem como a presença de vegetação secundária sem palmeiras, o que sugere processos de regeneração natural em áreas anteriormente perturbadas.

Outro setor do cânion corresponde originalmente a uma Região Fitoecológica de Savana, atualmente também classificada como Área Antrópica Dominante. Nessa porção, o florestamento e reflorestamento com eucaliptos constituem a cobertura primária, seguidos por áreas com plantios de *Pinus sp.* como cobertura secundária. Destaca-se, contudo, a presença de Savana Gramíneo-Lenhosa associada à floresta-de-galeria como cobertura terciária, elemento de elevada relevância ecológica,

especialmente em ambientes de cânion. As florestas-de-galeria desempenham papel fundamental na proteção dos cursos d'água, manutenção da biodiversidade e conectividade ecológica, configurando-se como remanescentes estratégicos em uma paisagem amplamente dominada por usos antrópicos (BDIA, 2023c), podendo aí ser observadas inclusive as palmeiras.

A cobertura vegetal e o uso do solo em GRI caracterizam-se pela predominância de atividades antrópicas, evidenciando a conversão da vegetação original. Áreas de pastagens, ocupam 70,50% do território municipal, seguida do florestamento e reflorestamento (27,75%) principalmente da silvicultura, agricultura (1,31%), influência urbana (0,33%) e corpos d'água continentais (0,11%). A vegetação nativa remanescente é representada pela Savana Arborizada, que corresponde a apenas 0,01% da cobertura, demonstrando a quase completa supressão dessa fisionomia vegetal no município. Em fitogeografia, os registros do Projeto RADAM-BR, referentes ao ponto de controle SF22ZD/RB/15, classificam a vegetação original num contato entre Savana e Floresta Estacional, em encrave, sendo uma zona de transição ecológica num domínio distinto. Os dados reforçam o entendimento da paisagem atual, dominada por usos antrópicos, com remanescentes naturais fragmentados e pouco representativos (BDIA, 2023c).

Em BFT, a configuração da cobertura vegetal revela uma paisagem também fortemente antropizada, onde houve a substituição significativa da vegetação original. Pastagens ocupam 64,28% da área municipal, seguida de florestamento e reflorestamento (33,43%), vegetação secundária (1,79%) e a Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (0,50%). Fitogeograficamente, os levantamentos do Projeto RADAM-BR indicam que o município de BFT originalmente apresentava formações de Floresta Estacional Semidecidual e Savana (BDIA, 2023c).

3.2 LITOLOGIA SILICICLÁSTICA

3.2.1 Cavernas de Arenito

Cavernas de litologia arenítica, ainda que subestimadas pela maior parte da comunidade científica, podem apresentar grande potencial, como aponta Pinheiro, Maurity e Pereira (2015), que versam sobre o patrimônio espeleológico no Pará. A presença de cavidades naturais relevantes está associada a fatores hidrológicos,

geomorfológicos e condições litológicas, com formações localizadas principalmente nos fronts das cuestas.

Entretanto, é necessário destacar as lacunas científicas relacionadas a esse tipo de litologia. Um exemplo disso é o estudo de Cerqueira, Silva e Ferreira (2019), que evidenciou a escassez significativa de pesquisas sobre biologia subterrânea em litologias areníticas nos Simpósios Brasileiros de Biologia Subterrânea, enquanto os estudos em litologias carbonáticas representavam quase metade dos trabalhos apresentados. Os trabalhos de Rubens Hardt, como por exemplo Hardt et al. (2009), exemplificam em suas afirmações o que chama carste em arenito, trazendo exemplos relevantes e promotores de reflexões sobre o que se entende por carste na Chapada dos Guimarães, no Mato Grosso, e Serra de Itaqueri, em São Paulo.

Ainda que com dados subestimados, Hardt e Pinto (2009), apresentam cavidades nos arenitos da formação Botucatu e Pirambóia com registros desde o fim do século XIX. Outro exemplo de relevância, é a descoberta de arte rupestre em cavernas areníticas no Pará, por Travassos, Rodrigues e Motta (2013). Os registros estão em zonas afóticas e sugerem o uso de iluminação artificial, possivelmente o fogo, para sua produção. Essa evidência reforça a importância de investigações mais detalhadas sobre o papel dessas cavidades na ocupação humana pré-histórica e na interação entre sociedades antigas e ambientes subterrâneos.

Observações relevantes incluem também estruturas geomorfológicas de espeleotemas em arenito, que possuem particularidades ainda pouco estudadas. Exemplos estão nas grutas Inocente e Albino, em Tamarana, Paraná, descritas por Spoladore e Vargas (2014). Outro aspecto relevante é a biologia subterrânea em cavidades areníticas, como com a descoberta de grilos *Endecous sp.* em cavidades no Rio Grande do Sul, evidenciando a relação entre composição faunística, preservação do entorno e impactos ambientais. A escassez de registros pode estar diretamente relacionada à falta de pesquisas específicas na área, necessitando de estudos voltados para a biologia subterrânea em formações areníticas.

3.2.2 Patrimônio Espeleológico Regional

Trazendo dados mais próximos à localidade de estudo, entre os trabalhos mais recentes sobre cavidades na região, destaca-se o estudo descritivo de Wernek, Samila e Silvério (2024) sobre a Caverna de Guareí (SP-922), localizada em GRI,

bairro Sobar, próxima do cânion. A pesquisa revelou diversidade de espécies com potencial para investigações acadêmicas mais aprofundadas, ampliando o conhecimento sobre a fauna subterrânea associada. Além disso, foram identificadas ornamentações espeleológicas em arenito com características particulares, reforçando a necessidade de estudos mais detalhados sobre essas formações.

Pesquisas sobre quirópteros também mencionam cavidades naturais no município de BFT. Autores como Rocha (2005) descreveram a cavidade Morro do Serro como abrigo para espécies de morcegos, destacando a presença de *Desmodus rotundus* e *Carollia perspicillata*. Esses registros reforçam a importância das cavernas da região para a conservação da fauna e o entendimento das interações ecológicas envolvendo quirópteros e seus habitats.

Além disso, em um contexto histórico, destaca-se a importância do Abrigo Sarandi e seu respectivo sítio arqueológico, localizado nas proximidades do cânion e da Caverna de Guareí. Até a publicação de Amaral, Cisneiros e Araújo (2022), esse era o único abrigo com registros rupestres que havia sido estudado e escavado de forma intensiva por arqueólogos profissionais dentro do estado de São Paulo. Esse fato ressalta a relevância da área para pesquisas arqueológicas e a necessidade de novas investigações sobre o patrimônio cultural associado às cavernas da região.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao todo, durante as expedições de 2025 a 2026, foram percorridos cerca de 4,10 km das encostas do cânion, com seis novas cavidades naturais subterrâneas registradas, podendo ser observados na Imagem 8, todas situadas no território do município de BFT. As feições identificadas foram classificadas em quatro abrigos e duas tocas, sendo todos posteriormente documentados por registros fotográficos e georreferenciados. As cavidades foram cadastradas neste período e estão sendo validadas no CNC (SBE), e no CANIE (ICMBio/Cecav).

Além das cavidades, o ambiente do cânion demonstrou indícios relevantes de integridade ecológica. Durante as atividades de campo foram observados remanescentes de vegetação arbórea com dossel relativamente bem estruturado, incluindo a presença de grandes palmeiras-juçara (*Euterpe edulis*), espécie associada a ambientes florestais mais conservados. Nos vestígios de fauna silvestre, incluíram pegadas mamíferos de pequeno a médio porte, répteis e a presença de diversas aves.

Esses registros indicam que, apesar das pressões antrópicas existentes na paisagem regional, o interior do cânion, com suas florestas-de-galeria, ainda funciona como importante refúgio ecológico.

A Toca do Cheiro (TDC), observada na Imagem 1, encontrada no dia 27/05/2023, foi registrada durante uma expedição preliminar para avaliar a viabilidade da pesquisa para os anos de 2025 e 2026. Foi a única cavidade que apresentou desenvolvimento interno suficiente para justificar o mapeamento espeleológico, além de zona afótica, o que dificulta a sua descrição apenas por fotografias.

Sua exploração representou um desafio significativo devido à reduzida dimensão da abertura de entrada, que exigiu acesso cuidadoso pela equipe de campo. Após a transposição da boca da cavidade, foi possível realizar o levantamento topográfico interno e elaboração do mapa espeleológico correspondente e o levantamento de dados, disponível pela Imagens 2, onde também podem ser observados os registros fotográficos em campo.

Figura 1 – Exploração e mapeamento da TDC

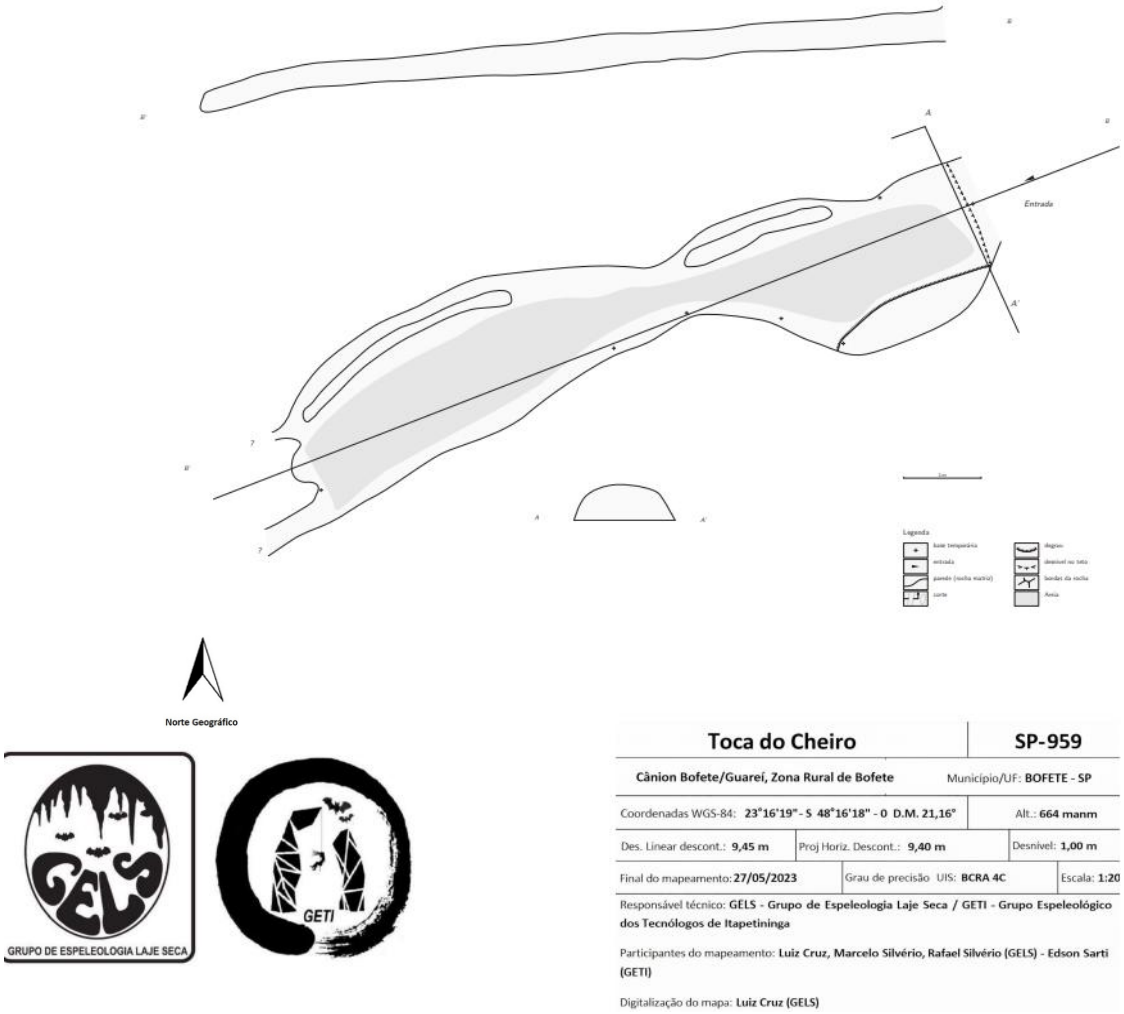


Fonte: Rafael Silvério, GELS (2023).

A TDC possui morfologia simples, com conduto principal pouco ramificado. Durante a exploração foram observados aracnídeos no interior da cavidade, sugerindo a associação de organismos troglófilos. A entrada da cavidade apresentava odor de urina, representando possível presença anterior de animal silvestre. A característica motivou a denominação da cavidade, sendo observado ainda, sinais potenciais de

instabilidade estrutural, possivelmente associados à reduzida cobertura vegetal no entorno imediato da entrada. A ausência de vegetação pode favorecer processos erosivos superficiais e desagregação da rocha matriz, aumentando a probabilidade de desmoronamentos ao longo do tempo.

Figura 2 – Mapa da TDC

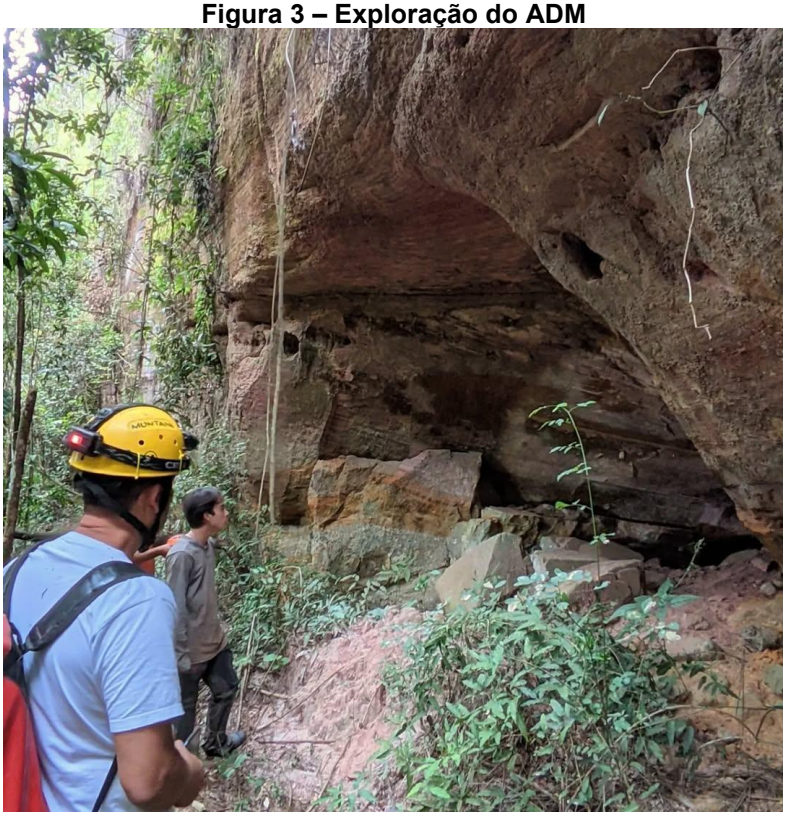


Fonte: Luiz Cruz, GELS/GETI (2023).

O Abrigo do Mel (ADM) foi identificado na mesma atividade de prospecção da descoberta da TDC. A cavidade localiza-se nas coordenadas 23°16'18,5"S e 48°16'19,7"O, numa altitude aproximada de 670 metros. Durante a aproximação da equipe foi identificado um grande enxame de abelhas exóticas com ferrão acima da abertura da cavidade, impedindo uma exploração mais detalhada do local. O abrigo apresenta entrada em forma de abóbada, com aproximadamente 5 metros de altura e desenvolvimento linear estimado em 3 metros, podendo ser observado na Imagem 3. No interior foram observados blocos rochosos abatidos, indicando possíveis

processos de colapso parcial da cavidade. Comparativamente à TDC, o ADM apresenta maior cobertura vegetal em seu entorno imediato, podendo contribuir para maior estabilidade geomorfológica do paredão onde se encontra.

Figura 3 – Exploração do ADM



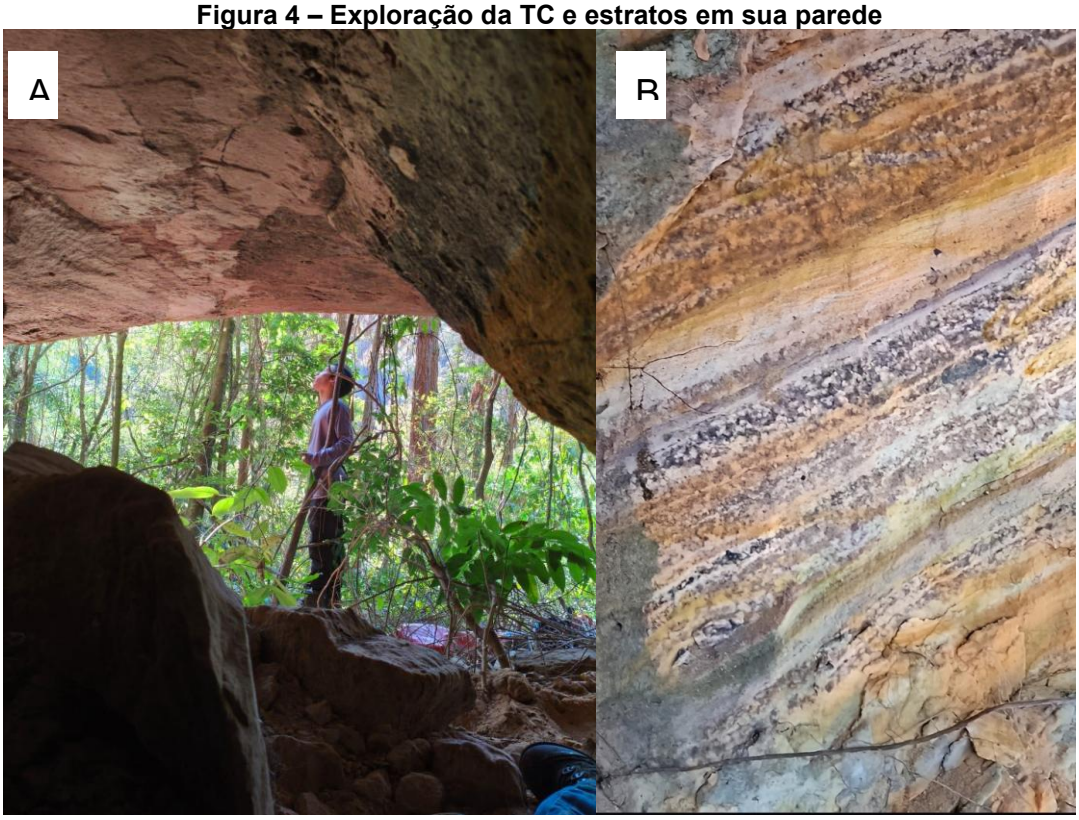
Fonte: Rafael Silvério, GELS (2023).

A Toca Coloridinha (TC), encontrada em 17/08/2025, recebeu essa denominação devido à presença de tonalidades variadas observadas nas paredes internas da cavidade, aparentemente associadas à estratificação do arenito e à ação de diferentes processos de intemperismo superficial. A cavidade localiza-se nas coordenadas 23°16'20,0"S e 48°16'19,0"W, a uma altitude aproximada de 668 metros, apresentando desenvolvimento linear estimado em cerca de 4 metros e pode ser vista na Imagem 4.

Diferentemente da TDC, a cavidade não apresenta zona afótica, possuindo abertura mais ampla no plano horizontal, característica que motivou a não realização de mapeamento espeleológico detalhado pela clara descrição fotográfica de seu interior. Durante a exploração foram observados fragmentos de insetos e dispersos no interior do abrigo, o que sugere possível utilização do espaço subterrâneo por organismos predadores insetívoros, que podem utilizar esses ambientes como locais

de abrigo ou alimentação. Esse tipo de interação ecológica é relativamente comum em pequenas cavidades e abrigos sob rocha, que funcionam como microhabitats protegidos para diferentes grupos faunísticos.

Figura 4 – Exploração da TC e estratos em sua parede



Fonte: Luiz Cruz e Camilly Portela, GELS (2025).

O Abrigo do Chamado (AC), Imagem 5, foi identificado no dia 30/08/2025, localizado nas coordenadas 23°16'56,0"S e 48°16'33,0"O, a uma altitude aproximada de 715 metros, o abrigo apresenta desenvolvimento linear estimado em cerca de 3 metros. Sua morfologia caracteriza-se por uma abertura ampla e espaço interno relativamente raso, típico de abrigos formados por processos de recuo erosivo do paredão rochoso.

Observa-se ainda a presença de um pequeno conduto lateral, com aproximadamente 2 metros de desenvolvimento, que se comunica com o sistema principal pela boca do abrigo. Além de sua relevância espeleológica, apresenta expressiva beleza cênica, destacando-se principalmente pela conformação da face do paredão acima da cavidade, onde a interação entre as formas rochosas, a vegetação circundante e a posição topográfica no interior do cânion contribui para a valorização paisagística do local.

Figura 5 – Exploração do conduto lateral e vista do AC



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

O Abrigo do Putz (AP), Imagem 6, encontrado em 25/10/2025, está localizado nas coordenadas 23°15'51,80"S e 48°15'51,26"O, a uma altitude aproximada de 647 metros, com desenvolvimento linear estimado em cerca de 2 metros. No interior da cavidade, foram observados fragmentos de insetos e exoesqueletos dispersos, o que pode indicar a utilização do abrigo como micro-habitat por invertebrados e fauna silvestre, reforçando a relevância não apenas espeleológica, mas também ecológica.

Figura 6 – Exploração do AP e fragmentos de invertebrados.



Fonte: Luiz Crus, GELS (2025).

O Abrigo Manchado (AM) foi registrado no dia 21/03/2026, durante o último dia de atividades de campo. Na ocasião, intensas chuvas haviam elevado o nível de um banhado existente no interior do cânion, obrigando a equipe a realizar um desvio de trajeto que resultou na identificação dessa cavidade.

O abrigo encontra-se localizado em paredão oposto ao setor inicialmente planejado para prospecção, nas coordenadas 23°16'28.59"S 48°15'51.81"O, mas foi devidamente registrado devido à sua relevância, podendo ser observado na Imagem 7, estando a uma altitude estimada em 720 metros, 7 metros de desenvolvimento e cerca de 8 metros de abertura da boca. Durante a observação do interior da cavidade foi identificada a presença de uma pequena colônia de morcegos-vampiros da espécie *D. rotundus*, que utilizam do espaço subterrâneo como abrigo, que também apresentou a presença de manchas de guano, erosões aparentes nas paredes com trechos sobressalentes pela maior resistência, indicando talvez a presença de traços ferríferos, como apontado pelas características geomorfológicas, e raízes penetrantes.

Figura 7 – Exploração do AM



Fonte: Camilly Portela, GELS (2026).

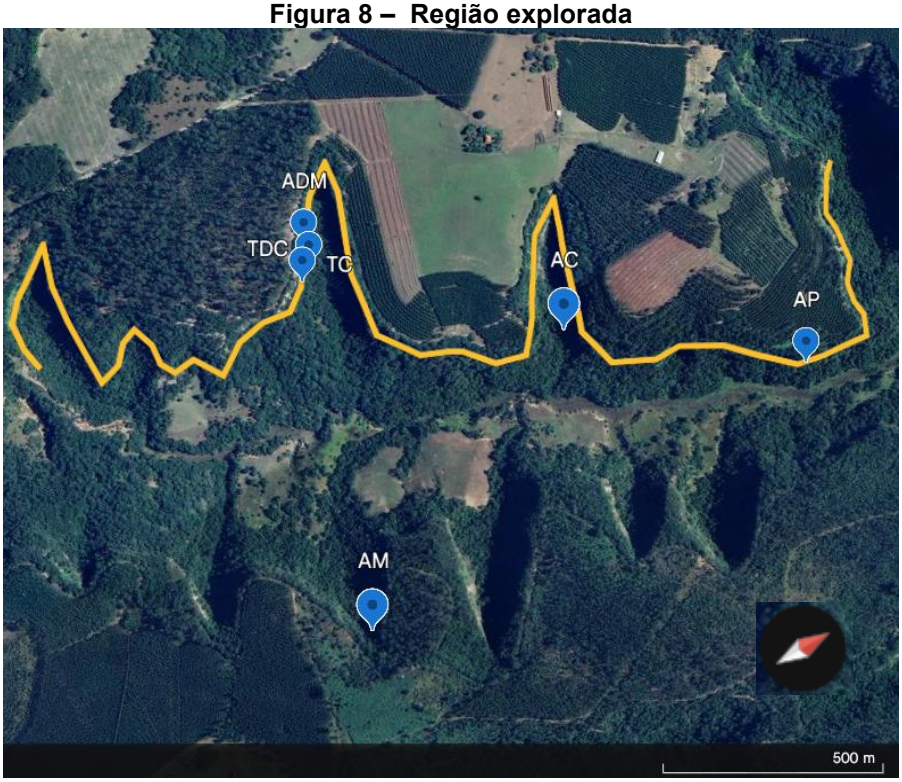
Diversos fatores limitaram a amplitude das prospecções realizadas no cânion, incluindo o tempo disponível para as expedições, a grande extensão da área, a presença de vegetação densa e as dificuldades de acesso aos paredões rochosos. Além disso, foram registrados riscos associados à presença de animais em estado selvagem, incluindo abelhas exóticas invasoras com ferrão e a possível presença de javalis ou pecarídeos, cujos rastros e vocalizações foram observados em diferentes pontos do interior do cânion, sendo a fauna presente no espaço um possível futuro objeto de estudo para se entender as dinâmicas ecológicas regionais.

Essas condições restringiram a exploração de setores potencialmente promissores para a identificação de novas cavidades, indicando que o número de feições espeleológicas existentes na área deve ser significativamente maior do que o registrado neste estudo. Apesar dessas limitações, os resultados obtidos evidenciam que o cânion apresenta potencial espeleológico relevante, associado não apenas à presença de cavidades naturais, mas também à existência de habitats favoráveis à fauna e flora locais.

Entretanto, observou-se que a área encontra-se sujeita a diferentes pressões antrópicas em seu entorno imediato e no interior do cânion. Durante as atividades de campo foram identificadas áreas de silvicultura com extensos plantios de *Pinus sp.* e *Eucalyptus sp.*, inclusive pelo topo do cânion em sua face mais explorada. Também foram observadas atividades de pecuária em áreas internas do vale e a proximidade de uma operação de extração mineral. Essas atividades podem representar riscos à integridade ambiental do cânion, uma vez que alterações na cobertura vegetal e no uso do solo podem intensificar processos erosivos, afetar a estabilidade das encostas e comprometer os habitats associados às cavidades naturais registradas.

A vegetação presente no interior do cânion, especialmente as de seus meandros, constituem elemento de grande relevância para a conservação das cavidades. O dossel arbóreo relativamente bem desenvolvido junto das palmeiras-juçara, sugerem a existência de remanescentes florestais capazes de manter condições microclimáticas favoráveis e reduzir a intensidade dos processos erosivos superficiais. Nesse contexto, a conservação do cânion e de seu patrimônio espeleológico depende da adoção de estratégias de gestão territorial que considerem a importância ambiental da área. A cooperação entre os municípios de GRI, BFT e TOP, pode representar um passo importante para o desenvolvimento de políticas integradas de proteção e manejo desse sistema natural.

Figura 8 – Região explorada



Fonte: Elaborado pelos autores, Google Earth (2026).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os registros obtidos neste estudo indicam que o cânion investigado apresenta potencial espeleológico ainda pouco documentado, evidenciado pela identificação de cavidades naturais durante as prospecções realizadas sob limitações de acesso, tempo e segurança. Esses resultados sugerem que a área pode ter mais cavidades ainda não registradas, reforçando a necessidade de novas expedições e levantamentos mais detalhados.

Além da relevância espeleológica, as observações de campo indicam que o ambiente do cânion reúne atributos ecológicos e paisagísticos significativos, evidenciados pela presença de vegetação estruturada, fauna silvestre e condições geomorfológicas que favorecem a conservação de habitats naturais. Tais características apontam para a importância do local não apenas como objeto de estudo espeleológico, mas também como área de interesse para pesquisas multidisciplinares. Nesse contexto, destaca-se a necessidade de futuras investigações conduzidas por equipes ampliadas e interdisciplinares, capazes de integrar abordagens da espeleologia, ecologia, botânica, zoologia e geomorfologia, de modo a compreender de forma mais abrangente a dinâmica ambiental do cânion.

Considerando ainda as pressões antrópicas observadas no entorno da área, torna-se relevante discutir estratégias de planejamento territorial e conservação que envolvam cooperação intermunicipal. Nesse sentido, o reconhecimento do potencial científico, ambiental e paisagístico do cânion pode contribuir para a formulação de políticas públicas voltadas à conservação, bem como para o desenvolvimento de iniciativas sustentáveis, como o turismo de natureza e o geoturismo. Assim, o presente estudo representa um passo inicial no reconhecimento do patrimônio natural da região, indicando caminhos para pesquisas futuras e para a construção de estratégias integradas de valorização e proteção desse ambiente.

AGRADECIMENTOS

Expressamos profundo agradecimento a Luiz Cruz, cuja participação em todas as expedições, transporte e equipamentos, como na elaboração do mapa espeleotopográfico que foi fundamental para o desenvolvimento e realização do trabalho. Agradecemos também a Maria Yasmin, Rafael Silvério, Marcos Silvério, Camilly Portela e Matheus Lima, que participaram das atividades de prospecção, colaborando com os dados apresentados. Estende-se o reconhecimento à Prefeitura de GRI, pela escuta do projeto e portas abertas ao diálogo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, M. P. V.; CISNEIROS, D.; ARAUJO, A. G. M. Registros rupestres na região central do estado de São Paulo: o Abrigo do Alvo, Analândia, São Paulo, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi: Ciências Humanas**, Belém, v. 17, n. 2, p. 1-14, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bgoeldi/a/sMVxQbSQgCtxRGPNz4mSgKC/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 ago. 2025.

BANCO DE DADOS E INFORMAÇÕES AMBIENTAIS. Consulta: Geologia. In: IBGE. **BDIA WEB**: 2023. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/geologia>. Acesso em: 19 mar. 2026.

BANCO DE DADOS E INFORMAÇÕES AMBIENTAIS. Consulta: Geomorfologia. In: IBGE. **BDIA WEB**: 2023. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/geomorfologia>. Acesso em: 19 mar. 2026.

BANCO DE DADOS E INFORMAÇÕES AMBIENTAIS. Consulta: Vegetação. In: IBGE. **BDIA WEB**: 2023. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/vegetacao>. Acesso em: 19 mar. 2026.

CERQUEIRA, R. F. V.; SILVA, M. S.; FERREIRA, R. L. Simpósio Brasileiro de Biologia Subterrânea (SBBS): avanços nos estudos da biodiversidade nacional (2015-2017). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 35., 2019, Bonito. **Anais eletrônicos**... Bonito: SBE, 2019. p. 642-648. Disponível em: <https://www.cavernas.org.br/wp-content/uploads/2021/07/35cbe_642-648.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2025.

CNC. Estatísticas: Ranking por Litologia. In: CADASTRO NACIONAL DE CAVERNAS. **Base de Dados**: 2025. Disponivel em: <https://sbecnc.org.br/Stats.aspx>. Acesso em: 12 ago. 2025.

CONAMA. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 347, de 10 de setembro de 2004. Dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 13 de set. 2004. Seção 1, p. 54-55.

CUNHA, I. M.; RIFFEL, S. H.; FIGOLS, A. P.; HARDT, R.; GOMIG, E. G.; MEDEIROS, T. P.. Cadastro de cavernas em arenito e dificuldades conceituais: Uma abordagem teórica e uma proposta de resolução arbitrária em um contexto regional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 36., 2022, Brasília. **Anais eletrônicos**... Brasília: SBE, 2022. p. 244-252. Disponível em: <https://www.cavernas.org.br/wp-content/uploads/2021/02/36cbe_244-252.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2025.

FREIRE, L. M.; LIMA, J. S.; VERÍSSIMO, C. U. V.; SILVA, E. V. Estudo geomorfológico em cavernas de arenito da Amazônia paraense. **Revista de Geografia (Recife),** Recife, v. 35, n. 4, p. 14-31, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/64853>. Acesso em: 31 jan. 2024.

GOOGLE EARTH PRO Project for Microsoft Windows 6.2.9200.0, version 7.3.6.9750. [S.l.]: Google LLC, 2024.

HARDT, R.; PINTO, S. A. F; Carste Em Litologias Não Carbonáticas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S.l.], v. 10, n. 2, p. 99-105, 2009. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/134/128>. Acesso em: 12 ago. 2025.

HARDT, R.; RODET, J.; PINTO, S. A. F; WILLEMS, L. Exemplos brasileiros de carste em arenito: Chapada dos Guimarães (MT) e Serra de Itaqueri (SP). **Espeleo-Tema**, Campinas, v. 20, n. 1/2, p. 7-23, 2009. Disponível em: <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/96742/1/HardtR_etAl-2009-Espeleo-tema-Vol20p7-23.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades: Panorama. In: IBGE. **Portal Cidades**: 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/guarei/panorama>. Acesso em: 2 fev. 2024.

MORAIS, F.; SOUZA, L. B. Cavernas em arenito na porção Setentrional da Serra do Lajeado, Estado do Tocantis, Brasil. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 1-13, 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/500/50016937001.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2024.

PINHEIRO, R. V. L.; MAURITY, C. W.; PEREIRA, E. Cavernas em arenito da província espeleológica Altamira-Itaituba: dados espeleogenéticos com base no exemplo da Gruta das Mãos (PA), Amazônia, Brasil. **Espeleo-Tema**, Campinas, v. 26, n. 1, p. 5-18, 2015. Disponível em: <https://www.cavernas.org.br/wp-content/uploads/2021/02/Espeleo-Tema_v26_n1_005-018.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2025.

POCKETTOPO Project for Windows Mobile v5.0, version 1.372. [S.l.]: PocketTopo, 2014.

ROCHA, F. A. **Abrigos Diurnos, Agrupamentos e Lesões Corporais no Morcego Hematófago Desmodus rotundus (Chiroptera, Phyllostomidae) do Estado de São Paulo**. 2005. 82 f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária e Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu, 2005. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/d95ccf57-465d-4340-ad80-ef37387c8118/content>. Acesso em: 12 ago. 2025.

SPOLADORE, A. Novas cavernas em arenito no estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 28., 2005, Campinas. **Anais eletrônicos**... Campinas: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2005. p. 125-135. Disponível em: <https://www.cavernas.org.br/?sbe_media_protector=/wp-content/uploads/2021/07/28cbe_125-135.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2024.

SPOLADORE, A.; VARGAS, K. B. Caracterização espeleológica do conjunto de grutas de arenito Albino e Inocente – Tamarana – PR. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 10, n. 6, p. 81-87, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1463/1347>. Acesso em: 7 fev. 2024.

THERION Project for Windows 6, version 6.3.4. [S.l.]: MUDRÁK, S.; BUDAJ, M., 2025.

TRAVASSOS, L. E. P.; RODRIGUES, B. D.; MOTTA, A. R. S. Caverna das Mãos, Rurópolis, Pará: importante exemplo brasileiro de arte rupestre em zona afótica. **RA'E GA,** Curitiba, v. 28, [S.l.], p. 226-241, 2013. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/32308/20526>. Acesso em: 12 ago. 2025.

WERNEK, E. S.; SAMILA, J. A.; SILVERIO, M. S. Estudo Espeleológico da Primeira Caverna Registrada em Guareí, SP. **Revista Perspectiva**, Itapetininga, v. 13, n. 25, p. 1-20, 2024. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/381918427_ESTUDO_ESPELEOLOGICO_DA_PRIMEIRA_CAVERNA_REGISTRADA_EM_GUAREI_SAO_PAULO>. Acesso em: 19 mar. 2026.

AUMENTO DA COMPETITIVIDADE NO COMÉRCIO EXTERIOR: ESTRATÉGIAS CHAVE PARA EFICIÊNCIA LOGÍSTICA. ESTUDO DE CASO: EADI AURORA
INCREASE COMPETITIVENESS IN FOREIGN TRADE: KEY STRATEGIES FOR LOGISTICS EFFICIENCY. CASE STUDY: EADI AURORA

Isabele Cristine Padilha da Veiga[1]
Lauren Emanuele dos Anjos Braga[2]
Otavio Henrique Rossi Pinto Fernandes[3]

RESUMO: O presente estudo aborda a otimização da armazenagem em portos secos no Brasil, destacando sua relevância para a melhoria da eficiência logística no contexto do comércio exterior. A pesquisa identificou que a implementação de sistemas de gestão de armazém (WMS), a automação de processos e o monitoramento ambiental são medidas essenciais para mitigar problemas como congestionamentos, atrasos na movimentação de cargas e altos custos operacionais. O objetivo central foi investigar soluções que aumentem a capacidade de armazenamento e a produtividade, melhorando o fluxo logístico. A metodologia utilizada envolveu um estudo de caso aplicado na Estação Aduaneira de Interior EADI Aurora em Sorocaba SP. Os resultados confirmaram que a integração tecnológica e o treinamento de equipes são fundamentais para alcançar eficácia operacional e competitividade. Apesar disso, o estudo apontou como limitação seu escopo restrito a uma única instalação, sugerindo a necessidade de pesquisas futuras que abranjam mais portos secos e considerem variáveis adicionais, como impactos ambientais e econômicos. Conclui-se que a modernização da infraestrutura e a adoção de práticas sustentáveis são fundamentais para a melhoria contínua da gestão de armazenagem nos portos secos brasileiros, contribuindo para um comércio exterior mais eficiente e competitivo.
Palavras-chave: Automação; Otimização Alfandegaria; Portos Secos.

ABSTRACT: The present study addresses the optimization of storage in dry ports in Brazil, emphasizing its importance for improving logistics efficiency in foreign trade. The research identified that implementing warehouse management systems (WMS), process automation, and environmental monitoring are essential measures to mitigate issues such as congestion, cargo movement delays, and high operational costs. The main objective was to investigate solutions to increase storage capacity and productivity, enhancing the logistics flow. The methodology included exploratory bibliographic review and qualitative research at EADI Aurora, incorporating interviews and questionnaires. The results confirmed that technological integration and team training are crucial for operational efficiency and competitiveness. However, the study's limitation was its focus on a single facility, indicating the need for future research encompassing more dry ports and additional variables, such as environmental and economic impacts. It concludes that infrastructure modernization and sustainable practices are key for continuous improvement in storage management at Brazilian dry ports, contributing to more efficient and competitive foreign trade.
Keywords: Automation; Customs Optimization; Dry Ports.

Tecnólogo da Fatec Sorocaba – E-mail: isabele.veiga@fatec.sp.gov.br[1]
Tecnólogo da Fatec Sorocaba – E-mail: lauren.braga@fatec.sp.gov.br[2]
Professor Mestre da Fatec Itapetininga – E-mail: otavio.fernandes@cps.sp.gov.br[3]

1 INTRODUÇÃO

A logística assumiu um papel estratégico na competitividade no cenário global. Diante da crescente interconexão entre as economias, a eficiência logística tornou-se crucial para o sucesso das empresas e o desenvolvimento econômico dos países. Nesse contexto, a otimização da armazenagem em portos secos é uma necessidade premente, pois esses centros desempenham um papel fundamental na cadeia de suprimentos, facilitando o fluxo de cargas entre diferentes modais de transporte e entre nações.

Com foco no porto seco EADI Aurora, localizado em Sorocaba-SP, este estudo não se propõe a analisar todos os portos secos, mas concentra-se nas especificidades e desafios desse porto em particular.

De acordo com Barros (2022), apesar de sua importância estratégica, os portos secos enfrentam desafios que impactam negativamente sua eficiência operacional. Entre esses desafios, destacam-se a gestão inadequada da armazenagem, resultando em problemas como congestionamentos, atrasos na movimentação de cargas e custos elevados de operação.

Diante desse cenário, é essencial investigar a fundo as causas desses problemas e identificar estratégias eficazes para melhorar a eficiência logística especificamente no porto seco EADI Aurora.

Assim, a problemática deste estudo pode ser resumida na seguinte questão: Como a otimização da armazenagem na EADI Aurora pode melhorar a eficiência logística em relação ao comércio exterior, superando desafios operacionais como congestionamentos, atrasos na movimentação de cargas e custos elevados?

Essa problemática evidencia a necessidade de investigar soluções que promovam a modernização e a eficiência operacional na EADI Aurora. Partindo da hipótese de que a implementação de sistemas tecnológicos, como sistemas de gestão de armazém (WMS), automação de processos e monitoramento ambiental, aliada à reconfiguração do *layout*, ao treinamento contínuo das equipes e à adoção de práticas sustentáveis, pode melhorar significativamente a capacidade de armazenamento, reduzir custos e aumentar a competitividade no comércio exterior.

Esse estudo se justifica pela necessidade de superar desafios operacionais que impactam negativamente a eficiência desse porto, promovendo, assim, um fluxo mais fluido e econômico de mercadorias no comércio exterior.

Assim, o objetivo deste trabalho é explorar abordagens e técnicas que contribuam para a otimização da armazenagem na EADI Aurora, aprimorando a eficiência logística no contexto do comércio exterior.

2 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo de caso foi estruturada para explorar a otimização da armazenagem no contexto específico da EADI Aurora, com base em um embasamento teórico consolidado. O estudo de caso, conforme definido por Yin (2015), é uma pesquisa empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto real, sem manipulação de comportamentos. Essa abordagem é apropriada para entender as práticas e desafios da gestão de armazenagem em um porto seco, como observado na EADI Aurora. O objetivo principal foi identificar estratégias e soluções que aprimorem a eficiência operacional e a competitividade no comércio exterior brasileiro.

A pesquisa teve um caráter exploratório, com uma revisão bibliográfica detalhada de fontes secundárias, incluindo artigos acadêmicos, estudos de caso e documentos técnicos na área de logística. A revisão bibliográfica é fundamental para a construção da base teórica da pesquisa e para a compreensão das contribuições já existentes sobre o tema (Almeida; Oliveira, 2020).

A partir dessa fundamentação teórica, foi conduzida uma pesquisa qualitativa, que envolveu entrevista com questões estruturadas por meio da aplicação de um questionário *online* via *Google Forms* à EADI Aurora, com o intuito de capturar as percepções internas sobre os desafios e soluções para a otimização da armazenagem.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Queiroz e Zorzo (2019), é importante destacar que a otimização da armazenagem nos portos secos não apenas beneficia as empresas e os operadores logísticos, mas tem impactos significativos na economia como um todo. Uma gestão eficiente desses espaços pode gerar ganhos em termos de redução de custos, aumento da produtividade e melhor aproveitamento dos recursos disponíveis, contribuindo para o fortalecimento da competitividade dos países no mercado

internacional. Assim, ao explorar estratégias para aprimorar a eficiência logística nos portos secos, é possível promover um ambiente mais favorável ao comércio exterior e ao crescimento econômico sustentável.

Diante desse cenário, esta pesquisa visa explorar tanto os desafios enfrentados na armazenagem nos portos secos quanto as estratégias e técnicas disponíveis para otimizar esses espaços. Ao compreender as raízes dos problemas e as melhores práticas disponíveis, estar-se-á preparado para discutir o impacto econômico e social da otimização da armazenagem nos portos secos, bem como para antecipar as tendências futuras e os desafios emergentes nesse campo. Assim, este estudo servirá como base para a análise detalhada fornecendo um contexto abrangente para a discussão sobre a gestão eficiente da armazenagem nos portos secos.

A relevância do tema também se destaca quando se analisa a interligação entre portos secos e a infraestrutura logística nacional. Esses centros de armazenagem e distribuição servem como pontos de apoio críticos para o transporte multimodal, facilitando a movimentação de cargas entre modais como o rodoviário, ferroviário e aquaviário. Estudos recentes apontam que a integração eficiente entre esses modais pode reduzir significativamente os custos operacionais e o tempo de entrega, fatores essenciais para a competitividade do setor logístico (Braga; Cruz; Ziviani, 2011). Portanto, entender como aprimorar a gestão de armazenagem nesses portos implica em contribuir para um sistema logístico mais robusto e eficiente.

Além disso, os portos secos desempenham um papel fundamental no descongestionamento dos portos, evitando sobrecargas e promovendo uma distribuição mais equilibrada das cargas e com isso permitir que os portos marítimos operem com maior agilidade, reduzindo filas e tempos de espera, o que se traduz em um menor custo logístico e maior competitividade para as exportações e importações. O impacto positivo dessa eficiência reflete-se na capacidade das empresas em cumprir prazos e atender às demandas de clientes internacionais, posicionando melhor o país no cenário do comércio global.

Outrossim, a modernização dos portos secos, por meio da adoção de tecnologias como sistemas de gestão de armazém (WMS) e automação de processos, surge como uma necessidade imperativa para enfrentar os desafios atuais. A automação auxilia na redução de erros operacionais e na otimização do uso do espaço físico, aumentando a capacidade de armazenagem e garantindo um melhor controle de inventário. Como salientado por Salgado (2023), essas tecnologias podem

transformar as operações logísticas, promovendo uma maior integração entre os diferentes setores de uma empresa e otimizando a cadeia de suprimentos de ponta a ponta.

É também relevante destacar que a eficácia da armazenagem nos portos secos não depende apenas da tecnologia, mas da qualificação das equipes envolvidas. O treinamento e o desenvolvimento de competências em gestão logística, uso de sistemas automatizados e boas práticas de manuseio de cargas são fundamentais para que as soluções tecnológicas sejam plenamente aproveitadas. Estudos mostram que o investimento em capacitação pode aumentar a eficiência operacional em até 30%, reduzindo desperdícios e melhorando a produtividade (Christopher, 2022).

Por fim, considerar os impactos ambientais também se torna essencial ao se discutir a otimização da armazenagem nos portos secos. A incorporação de práticas sustentáveis, como o uso de energia renovável e sistemas de monitoramento ambiental, contribuem para uma operação mais ecoeficiente. Isso não só melhora a imagem das empresas perante o mercado, mas alinha as atividades às exigências regulatórias e às expectativas de responsabilidade socioambiental. Em resumo, a convergência de tecnologias modernas, boas práticas de gestão e preocupação ambiental configura um modelo de eficiência que deve ser buscado por todos os operadores de portos secos.

3.1 COMÉRCIO EXTERIOR

O comércio exterior é fundamental na economia global, desempenhando um papel crucial no desenvolvimento econômico e na integração de mercados. A sua evolução ao longo do tempo reflete as mudanças nas políticas econômicas dos países, e as transformações nas dinâmicas de mercado e nas tecnologias de comunicação e transporte. O comércio internacional, que envolve a troca de bens e serviços entre nações, é influenciado por uma série de fatores, incluindo políticas governamentais, acordos comerciais, infraestrutura logística e tendências de consumo. A globalização, por sua vez, tem intensificado essas interações, criando um ambiente onde as economias estão cada vez mais interligadas e dependentes umas das outras (Dias, 2021).

Estudos indicam que a infraestrutura logística é um determinante significativo do desempenho no comércio exterior. A pesquisa de Barrantes-Olarte (2023), destaca

uma correlação positiva entre a qualidade da infraestrutura e o comércio internacional, sugerindo que investimentos em logística podem facilitar as transações comerciais e melhorar a competitividade de um país no mercado global. Além disso, a análise de Montalvo (2024) explora as complexas dinâmicas do comércio exterior, enfatizando que a eficiência logística é um dos principais desafios enfrentados pelas nações em desenvolvimento que buscam expandir suas exportações. A infraestrutura inadequada pode limitar o acesso a mercados internacionais, afetando negativamente as exportações e, consequentemente, o crescimento econômico.

A digitalização e o comércio eletrônico também têm transformado o comércio exterior, criando novas oportunidades e desafios. Baidal, Flores e Barrera (2022), discutem como as novas tecnologias têm modificado as operações comerciais, permitindo que empresas de diferentes tamanhos acessem mercados internacionais de maneira mais eficiente. O comércio eletrônico não apenas facilita a venda de produtos, mas altera as dinâmicas de competição, exigindo que as empresas se adaptem rapidamente às mudanças nas preferências dos consumidores e nas condições de mercado (Guerrero-Yanes, 2024)

A pesquisa de Guerrero-Yanes (2024) sobre o *e-commerce* em Cúcuta, Colômbia, exemplifica como a digitalização pode impactar tanto o comércio nacional quanto o exterior, destacando a importância de estratégias digitais para a competitividade.

Além disso, a análise dos padrões de comércio exterior revela que as economias emergentes, como as do Brasil e da América Latina, enfrentam desafios únicos em sua integração ao comércio global.

Mesquita, Merlo e Gramaud (2021), fornecem um panorama do comércio exterior brasileiro, destacando a evolução das relações comerciais e a necessidade de diversificação das exportações. A reprimarização da pauta exportadora, onde as economias dependem fortemente de produtos primários, é uma preocupação crescente, pois limita o potencial de crescimento sustentável e a resiliência econômica, ou seja, a diversificação das exportações e a adição de valor aos produtos são estratégias essenciais para melhorar a competitividade no comércio internacional.

Segundo Braga, Cruz e Ziviani (2011) na exportação, o modal mais utilizado é o marítimo. Contudo, para o deslocamento da carga da origem até o porto, de acordo com informações da Lei Nº9.611 (Brasil, 1998), é adotado o transporte multimodal, envolvendo a utilização de mais de um meio de transporte da origem ao destino,

rodoviário e em algumas situações o ferroviário. Essa mesma abordagem é observada no transporte aéreo, em que muitas vezes a carga de fato parte do país pelos aeroportos de Guarulhos ou Viracopos, necessitando, para alcançar esses locais, do transporte rodoviário.

3.2 A IMPORTÂNCIA DA LOGÍSTICA NO CONTEXTO DO COMÉRCIO EXTERIOR

De acordo com Ludovico (2017), a logística desempenha um papel crucial no comércio exterior, sendo essencial para a eficiência e competitividade das operações comerciais globais. Em particular, os portos secos emergem como centros estratégicos de convergência para o transporte de cargas, conectando diferentes modais de transporte e facilitando o fluxo eficiente entre regiões e países. Sua localização estratégica e infraestrutura adequada permitem a consolidação, desconsolidação e armazenagem temporária de cargas, agilizando os processos logísticos e minimizando os custos operacionais.

Ludovico (2017) ainda afirma que podem servir como *hubs* logísticos, e desempenhar um papel fundamental no comércio internacional, facilitando a movimentação eficiente de cargas entre os diferentes modais de transporte. Sua presença estratégica próximas a grandes centros urbanos permite a integração eficaz das cadeias de suprimentos, reduzindo os tempos de trânsito e aumentando a velocidade de entrega das cargas aos destinos. Isso não só impulsiona a economia local, mas também fortalece a posição competitiva das empresas no mercado global.

3.3 ZONA PRIMÁRIA E ZONA SECUNDÁRIA

Toda a carga importada nacionalizada tanto no transporte aéreo quanto no marítimo, o armazenamento em portos alfandegados representa uma parte significativa dos custos de importação.

Segundo Passos (2020), são consideradas zonas primárias os pontos de entrada internacional de bens e pessoas no país, constituída pelos portos, aeroportos e pontos de fronteira alfandegados, em áreas terrestres ou aquáticas, contínua ou descontínua, área terrestre ocupada pelos aeroportos alfandegados, e áreas adjacentes aos pontos de fronteira alfandegados. Importante enfatizar que nem todos

os portos, aeroportos ou fronteiras fazem parte da zona primária, apenas os que forem alfandegados.

Para Passos (2020) a zona secundária aduaneira fica localizada em todo o restante do território brasileiro. Áreas terrestres, águas territoriais e o correspondente espaço aéreo, onde geralmente poder]ao ser instalados as EADIS, denominada Estação Aduaneira de Interior ou Porto Seco, que segundo Silva (2014, *apud* Passos, 2020), é um terminal de uso público localizado em zona secundária, com a finalidade de prestação de serviços na movimentação e armazenagem de cargas sob controle aduaneiro.

Os Portos Secos ou Estação Aduaneira do Interior (EADI) representam uma peça fundamental na logística no comércio exterior, desempenhando um papel essencial na facilitação do fluxo contínuo de cargas entre países e continentes. Sua eficiente operação e capacidade de integração entre diferentes modais de transporte são fundamentais para garantir a competitividade das empresas no cenário internacional e para promover o crescimento econômico sustentável em nível global.

3.4 OS DESAFIOS ENCONTRADOS NA ARMAZENAGEM NOS PORTOS SECOS

Segundo Ludovico (2017), os desafios específicos encontrados na armazenagem nos portos secos abrangem diferentes questões, desde a gestão inadequada do espaço e congestionamentos até a falta de integração eficiente entre os diferentes modais de transporte. A escassez de infraestrutura adequada e a falta de modernas tecnologias também são fatores que contribuem para reduzir a eficiência operacional.

Diante desses desafios, diversas estratégias e técnicas estão disponíveis para otimizar a armazenagem nos portos secos. Isso inclui a implementação de sistemas de gestão de estoque mais avançados, o uso de tecnologias de automação e digitalização, a melhoria da infraestrutura incluindo a adoção de práticas sustentáveis para reduzir o impacto ambiental. Ao abordar essas questões de forma abrangente, é possível melhorar significativamente a eficiência logística e a competitividade dos portos secos no comércio internacional.

3.5 ESTRATÉGIAS E TÉCNICAS DISPONÍVEIS PARA OTMIZAR ESPAÇOS

Diversas estratégias e técnicas podem ser empregadas para otimizar a armazenagem nos portos secos, contribuindo para uma gestão mais eficiente e uma maior fluidez no fluxo de cargas. Uma abordagem fundamental é a implementação de sofisticados sistemas de gestão de estoques, que permitem um controle preciso do inventário e uma alocação mais eficiente dos recursos disponíveis. Por exemplo, a utilização de *softwares* de gestão de armazém (WMS) pode automatizar processos como recebimento, estocagem e expedição, reduzindo erros e aumentando a produtividade (Salgado, 2023).

Segundo Salgado (2023), a adoção de tecnologias de automação, como sistemas de transporte automatizados e a robótica, podem agilizar as operações de movimentação e armazenagem de cargas nos portos secos. Por exemplo, esteiras automatizadas e empilhadeiras guiadas por laser pode aumentar significativamente a eficiência na movimentação de cargas, reduzindo tempos de espera e minimizando o risco de danos às cargas. Essas tecnologias também possibilitam uma utilização mais eficiente do espaço disponível, maximizando a capacidade de armazenamento dos portos secos.

Além disso, investimentos em infraestrutura são essenciais para otimizar a armazenagem nos portos secos. Através da expansão e modernização das instalações existentes, a construção de novos armazéns e a melhoria das vias de acesso e transporte no interior dos terminais. A construção de novos pátios de estacionamento para caminhões e a ampliação das áreas de carga e descarga a fim de reduzir congestionamentos e melhorar a eficiência operacional. Ao combinar essas estratégias e técnicas, os portos secos podem aumentar sua capacidade de armazenamento, reduzir custos operacionais e promover um fluxo mais fluido de cargas no comércio exterior.

3.6 O IMPACTO ECONÔMICO E AMBIENTAL DA ARMAZENAGEM NOS PORTOS SECOS

A otimização da armazenagem nos portos secos pode ter um impacto significativo tanto econômico quanto ambiental. Christopher (2022) afirma que economicamente, uma maior eficiência na gestão desses espaços pode resultar em redução de custos operacionais para as empresas envolvidas na cadeia de suprimentos, desde fabricantes até distribuidores e varejistas. Proporcionando preços

mais competitivos para os consumidores finais, estimulando o consumo e impulsionando o crescimento econômico. Além disso, a melhoria na eficiência logística dos portos secos pode atrair investimentos estrangeiros e fortalecer a posição competitiva do país no mercado global, gerando empregos e aumentando a renda da população.

Segundo Christopher (2022) a otimização da armazenagem nos portos secos pode resultar em uma série de benefícios, como a redução do tempo de espera para a liberação de cargas, o que melhora a qualidade de vida dos trabalhadores e a eficiência das operações comerciais. Uma gestão mais eficiente dos portos secos pode reduzir os impactos ambientais negativos associados às operações logísticas, como congestionamentos de tráfego e consequente poluição atmosférica. Isso contribui para um meio ambiente mais saudável e sustentável para as comunidades locais e para a sociedade em geral. Em suma, a otimização da armazenagem nos portos secos não apenas impulsiona o crescimento econômico, mas promove o bem-estar social e ambiental.

3.7 TENDÊNCIAS FUTURAS E OS DESAFIOS EMERGENTES

Para o futuro, diversas tendências e desafios emergentes se destacam no campo da otimização da armazenagem nos portos secos. De acordo com Salgado (2023), uma tendência importante é a crescente digitalização e automação dos processos logísticos, impulsionada pelo avanço tecnológico. Espera-se que mais portos secos adotem soluções de *Internet* das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA) e análise de *Big Data* para otimizar a gestão de estoque, monitorar o fluxo de cargas em tempo real e prever demandas futuras. No entanto, a implementação dessas tecnologias também envolve desafios, pela necessidade de significativos investimentos em infraestrutura e a garantia da segurança cibernética dos sistemas.

Vale salientar que, a sustentabilidade é uma preocupação crescente para os portos secos, impulsionada por regulamentações ambientais cada vez mais rígidas e pela crescente conscientização sobre os impactos ambientais das operações logísticas. Espera-se que os portos secos busquem cada vez mais soluções ecoeficientes, como a utilização de energias renováveis, a redução do desperdício de recursos e a implementação de práticas de logística reversa (Christopher, 2022). No entanto, alcançar esses objetivos sustentáveis pode enfrentar desafios, como o

equilíbrio entre custo e benefício e a necessidade de cooperação entre diferentes partes interessadas.

Outro desafio emergente é a necessidade de adaptar os portos secos às mudanças no panorama global, como o aumento do comércio eletrônico e a diversificação das cadeias de suprimentos. Isso pode exigir a reconfiguração das instalações existentes, o desenvolvimento de novos serviços logísticos e a melhoria da conectividade entre os portos secos e os centros de produção e consumo. Em suma, as tendências futuras e os desafios emergentes no campo da otimização da armazenagem nos portos secos exigirão uma abordagem proativa e colaborativa para garantir a eficiência e sustentabilidade das operações logísticas no futuro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da pesquisa qualitativa obtidos por meio do questionário via *Google forms* aplicado à funcionária Viviane Barboza, especialista em gestão da qualidade, revelaram dados importantes sobre os desafios e soluções na prática da armazenagem na EADI Aurora. Quando questionada sobre os principais desafios enfrentados, Viviane destacou a necessidade de uma melhor gestão do espaço em áreas alfandegadas e a importância da sincronização entre armazém e transporte, a fim de evitar atrasos e impactar negativamente a eficiência logística.

Referente à utilização da tecnologia para melhorar as práticas de armazenagem, Viviane apontou que o uso de sistemas de gestão de armazém (WMS) e a automação de processos são cruciais para aumentar a precisão e a produtividade. Ela mencionou que a implementação bem-sucedida de monitoramento de temperatura em câmaras frias foi uma medida eficaz para garantir o controle de produtos farmacêuticos e evitar perdas.

Sobre as medidas essenciais para otimizar a gestão do espaço, a colaboradora da EADI Aurora, mencionou exemplos práticos como a reconfiguração do *layout* para maximizar o uso do espaço vertical, a classificação de produtos por meio da análise da curva ABC e a prática de *cross-docking* para reduzir o tempo de armazenagem. Essas ações, segundo a funcionária, resultaram em melhorias notáveis na eficiência do fluxo logístico.

Quando perguntada sobre a comunicação entre as equipes envolvidas na logística, a entrevistada destacou a relevância do uso de plataformas colaborativas

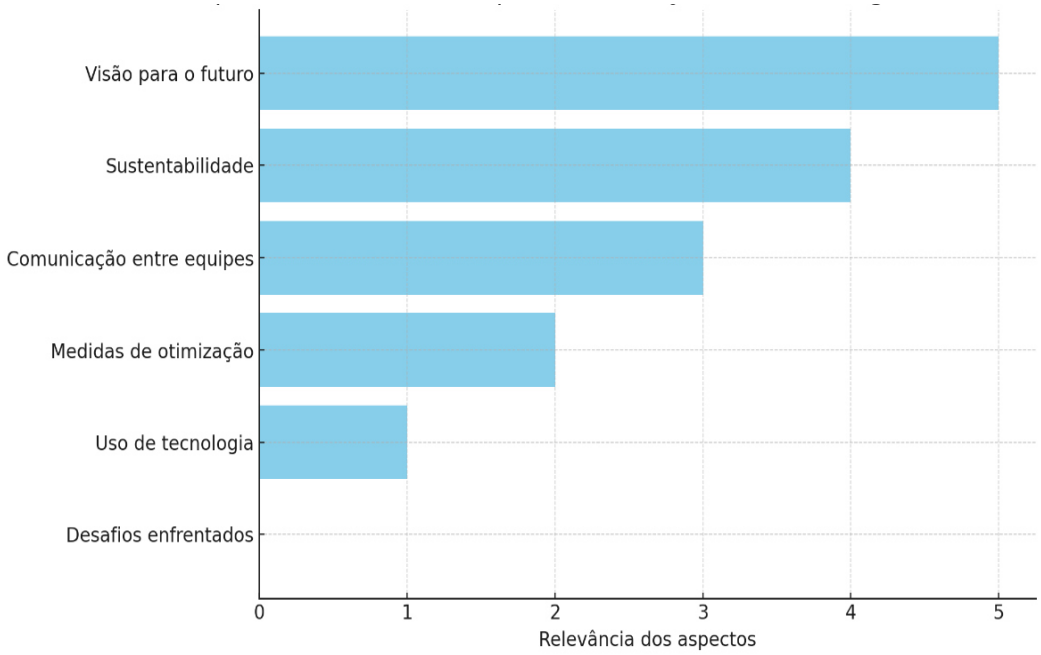
para troca de informações em tempo real e reuniões periódicas para alinhar as prioridades. Ela reforçou que a documentação acessível e a integração de sistemas são medidas que aprimoram a eficiência na gestão de armazenagem.

Em relação à sustentabilidade, a colaboradora informou que a EADI Aurora busca adotar práticas Ecoeficientes, como a redução do desperdício de recursos e a incorporação de tecnologias para um monitoramento ambiental mais preciso. Essas iniciativas são vistas como fundamentais para aliar eficiência operacional à responsabilidade ambiental.

Quando questionada sobre o futuro da armazenagem, ela destacou a necessidade de inovações tecnológicas adicionais e o fortalecimento da capacitação contínua da equipe para acompanhar as mudanças e garantir que as soluções sejam plenamente aproveitadas.

Esses resultados indicam que a EADI Aurora está no caminho certo ao incorporar tecnologias e boas práticas para otimizar a armazenagem, mas ainda enfrenta desafios em termos de integração completa e comunicação eficaz. De forma geral, as respostas de Viviane Barboza sugerem que a continuidade na adoção de inovações e a aposta em treinamentos são essenciais para avançar na eficiência operacional e sustentabilidade das operações logísticas.

Gráfico 1 - Relevância para a otimização da armazenagem na Aurora EADI

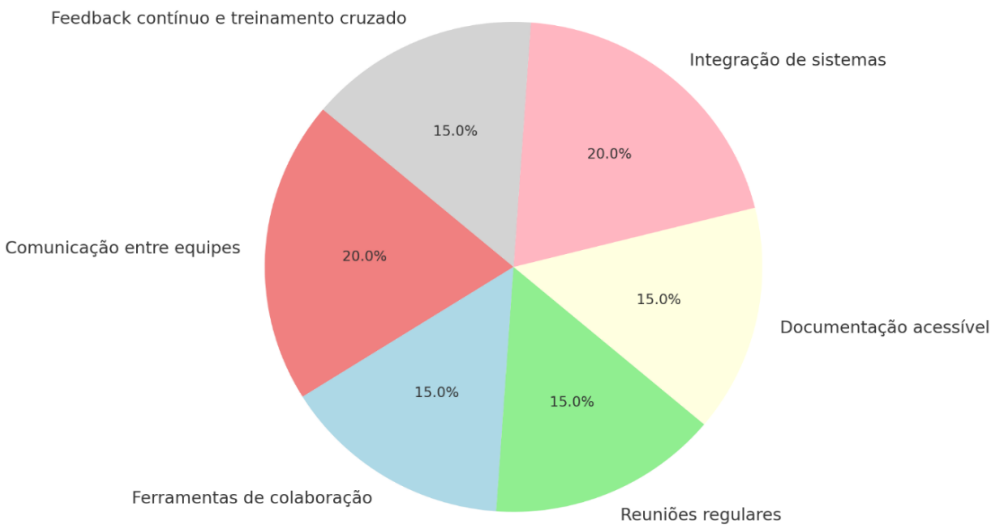


Fonte: Elaboração própria (2025).

O gráfico 1 trata de um comparativo que destaca os principais aspectos avaliados com base nas respostas fornecidas por Viviane Barboza, funcionária da EADI Aurora, sobre a otimização da armazenagem. Cada barra representa um elemento-chave identificado na pesquisa, como desafios enfrentados, uso de tecnologia, medidas de otimização, comunicação entre equipes, práticas de sustentabilidade e a visão para o futuro da logística. Esses pontos ilustram as prioridades e áreas de maior impacto nas operações de armazenagem e na eficiência logística da empresa. A visualização permite uma compreensão clara de como cada aspecto contribui para a melhoria do processo e evidencia os fatores mais influentes na prática.

O gráfico ainda ressalta a importância de tecnologias como o WMS e a automação, que foram destacados como fundamentais para aumentar a precisão e a produtividade. Além disso, práticas como a otimização de *layout* e o uso de *cross-docking* mostraram-se cruciais para a melhor gestão do espaço de armazenagem. A comunicação eficaz entre as equipes, por meio de plataformas colaborativas e reuniões periódicas, também foi apontada como essencial para manter a eficiência e a coordenação. Essas iniciativas, somadas ao foco em práticas sustentáveis e à adoção contínua de inovações tecnológicas, traçam um caminho promissor para o futuro das operações logísticas na EADI Aurora.

Gráfico 2 - Fatores que afetam a eficiência logística no comércio exterior

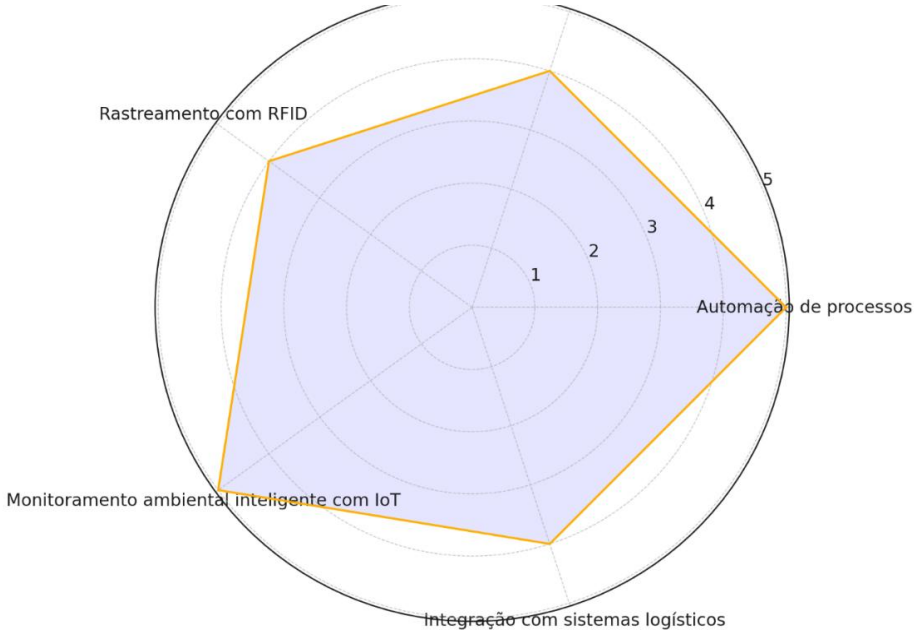


Fonte: Elaboração própria (2025).

O Gráfico 2 destaca os fatores que afetam a eficiência logística no comércio exterior, ilustrando a contribuição de diferentes elementos na otimização da armazenagem e na coordenação geral das operações. A comunicação entre equipes e a integração de sistemas se sobressaem como os aspectos de maior impacto, com 20% cada, refletindo a importância de uma troca de informações eficaz e da conectividade entre plataformas para manter um fluxo logístico ágil e preciso. Ferramentas de colaboração, reuniões regulares e documentação acessível também desempenham papéis significativos, representando de 15% a 20% do impacto na eficiência, o que evidencia a relevância de práticas de alinhamento e suporte contínuo na gestão.

Além disso, a análise do gráfico revela que o *feedback* contínuo e o treinamento cruzado contribuem de maneira importante para a eficiência, somando 15%. Isso indica que a capacitação das equipes para compreender múltiplos processos e fornecer retornos constantes ajuda a melhorar a resposta aos desafios operacionais. Assim, a combinação desses fatores mostra que a eficiência logística no comércio exterior depende não apenas da tecnologia e da infraestrutura, mas também de uma cultura colaborativa e de práticas que fomentam a coesão e a proatividade entre os envolvidos na cadeia de suprimentos.

Gráfico 3 - Nível de implementação de tecnologias bem-sucedidas



Fonte: Elaboração própria (2025).

O Gráfico 3 apresenta a implementação de tecnologias bem-sucedidas na EADI Aurora, destacando o papel crucial dessas inovações na otimização das operações de armazenagem. As tecnologias de maior destaque incluem a automação de processos e o monitoramento ambiental inteligente com *IoT*, que receberam as pontuações mais altas em sucesso, evidenciando sua eficácia na melhoria da precisão e na redução de erros operacionais. O uso de sistemas de gestão de armazém (WMS) e a integração com sistemas logísticos também foram bem avaliados, comprovando sua importância para o controle de inventário e a coordenação entre diferentes setores da operação logística.

Esses resultados demonstram que a adoção de tecnologias avançadas contribui significativamente para a eficiência das operações e a competitividade no setor de comércio exterior. A presença de tecnologias como rastreamento com *RFID* (Identificação por Rádio Frequência) mostra um compromisso com práticas modernas de gestão e controle, favorecendo a transparência e a segurança no fluxo de cargas. Assim, a implementação dessas soluções tecnológicas é fundamental para enfrentar desafios como congestionamentos e custos operacionais elevados, assegurando um ambiente de armazenagem mais eficiente e ágil.

Os resultados obtidos e as análises dos gráficos apresentados consolidam a importância da adoção de tecnologias modernas, práticas de gestão eficientes e uma comunicação eficaz para otimizar a armazenagem nos portos secos. A pesquisa confirma que a utilização de sistemas como *WMS*, automação de processos e o monitoramento ambiental são estratégias fundamentais para aprimorar a precisão e a produtividade. Além disso, os gráficos reforçam que práticas como a reconfiguração de *layout* e a implementação de técnicas como o *cross-docking* contribuem de forma expressiva para um melhor aproveitamento do espaço e redução de tempos de espera.

A discussão evidencia que, embora a EADI Aurora esteja em uma condição avançada em suas práticas de gestão, desafios como a integração total entre sistemas e a comunicação contínua entre equipes ainda precisam de atenção. As práticas sustentáveis e o treinamento das equipes também surgem como pontos críticos para o sucesso a longo prazo. Dessa forma, as estratégias delineadas e os *insights* obtidos a partir das respostas da pesquisa fornecem um caminho claro para que a empresa continue evoluindo e se destacando no cenário logístico, promovendo não apenas

eficiência, mas também um impacto positivo no comércio exterior e na sustentabilidade das operações.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo sobre a otimização da armazenagem em portos secos no Brasil, com foco no porto seco EADI Aurora, ressaltou a importância de estratégias eficientes para aprimorar a logística no comércio exterior. A análise mostrou que a adoção de sistemas de gestão de armazém (*WMS*), automação de processos e monitoramento ambiental são essenciais para lidar com os desafios operacionais da instalação, como congestionamentos e altos custos. No entanto, a EADI Aurora ainda enfrenta dificuldades, como a falta de investimentos em infraestrutura tecnológica, a necessidade de treinamentos contínuos e as limitações regulatórias que afetam sua flexibilidade operacional.

Apesar dos avanços, esses obstáculos dificultam o aproveitamento total do potencial logístico da empresa, que precisa equilibrar custos e a busca por maior eficiência. O estudo alcançou seus objetivos, evidenciando que a integração tecnológica e o treinamento contínuo das equipes são cruciais para melhorar a capacidade de armazenamento, reduzir tempos de espera e minimizar erros, o que fortalece a competitividade tanto da EADI Aurora quanto de outras empresas brasileiras no mercado internacional.

A limitação do estudo, ao abordar apenas uma instalação, restringe a generalização dos resultados. Recomenda-se, portanto, a realização de estudos mais amplos, que incluam diferentes portos secos e considerem variáveis como o impacto econômico e social de práticas sustentáveis. A modernização dos processos de armazenagem, com foco em práticas ecoeficientes, é fundamental para garantir operações logísticas ágeis e competitivas

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Jocely Santos Caldas; OLIVEIRA, Sarah Silva. Planejamento estratégico em empresas de pequeno porte: estudo de caso. **Revista Gestão & Sustentabilidade**, 2020. Disponível em: https://periodicos.uffs.edu.br/index.php/RGES/article/view/9780. Acesso em: 08 mai. 2026.

BRAGA, Flávia Chinelato; CRUZ, Diogo Batista de Freitas; ZIVIANI Fabrício. MADE IN BRAZIL: O impacto da infraestrutura da logística brasileira nas operações de comércio exterior. **Revista Administração em Diálogo**. 2011,13(3). Disponível em: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=534654447004. Acessado em: 04 abr. 2024

BARROS, Samarane Fonseca de Souza. Portos secos e a rede logística brasileira: mediações teóricas sob a perspectiva dos processos escalares. **Terra Livre,** *[S. l.]*, v. 1, n. 56, p. 56–85, 2022. Disponível em: https://publicacoes.agb.org.br/terralivre/article/view/2083/1792. Acesso em: 10 mai. 2026.

BARRANTES-OLARTE, F. Propuesta de mejora en la infraestructura logística del puesto de control fronterizo aduanero de Iñapari-Madre de Dios y sus efectos en el comercio exterior 2013-2017. **Revista Amazónica de Ciencias Económicas**, v. 2, n. 2, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.51252/race.v2i2.622>. Acesso em: 08 nov. 2024.

BAIDAL, N.; FLORES, O.; BARRERA, L**. El comercio exterior y la nueva tendencia do comércio eletrônico internacional.** Alfapublicaciones, v. 4, n. 1.1, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.33262/ap.v4i1.1.175>. Acesso em: 08 nov. 2024.

BRASIL. Lei nº 9.611, de 19 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre o Transporte Multimodal de Cargas e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [1998]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9611.htm. Acesso em: 6 mai. 2026.

CHRISTOPHER, Martin. Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos. 5. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2022.

DIAS, Reinaldo. Comércio Exterior e Logística Internacional. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

GUERRERO-YANES, Y. El e-commerce en el comercio nacional y exterior en la ciudad de Cúcuta -Colombia. **Reflexiones Contables (Cúcuta)**, v. 8, n. 1, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.22463/26655543.4795>. Acesso em: 08 nov. 2024.

LUDOVICO, Nelson. **Logística Internacional**. 2.ed. São Paulo: Saraiva, 2017.

MESQUITA, R.; MERLO, E.; GREMAUD, A. Panorama do comércio exterior brasileiro: evolução dos principais parceiros e produtos (1997-2020). **Cadernos Prolam/USP**, v. 20, n. 39, p. 414-440, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.1676-6288.prolam.2021.178485>. Acesso em: 08 nov. 2024.

MONTALVO, H. Explorando a dinâmica do comércio exterior: perspectivas, desafios e oportunidades. **Revista de Investigación Académica Sin Frontera, División de Ciencias Económicas y Sociales**, n. 41, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.46589/riasf.vi41.622>. Acesso em: 08 nov. 2024.

PASSOS, Greici Fernanda da Silva. **DESEMBARAÇO DE CARGA CONSOLIDADA AÉREA EM ZONA PRIMÁRIA DE PEÇAS PARA EQUIPAMENTOS DE PAPEL E CELULOSE.** 2020 Disponível em: https://lalt.fecfau.unicamp.br/wp-content/uploads/2020/07/tcc-247.pdf. Acesso em: 18 mai. 2024.

QUEIROZ, Eliane Aparecida; ZORZO, Adalberto. **PORTO SECO**: Exportação Brasileira. 2019. Disponível em: https://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/4278/1/20192SQUEIROZElianaAparecida_OD0822.pdf. Acesso em: 10 mai. 2026.

SALGADO, Tarcísio Tito. **LOGÍSTICA:** práticas, técnicas e processos de melhorias. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2023.

YIN, R. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto alegre: Bookman, 2015.

APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO RESPONDIDO PELA COLABORADORA DA EADI AURORA.

1. Que desafios específicos você tem enfrentado no processo de armazenagem que impactam a logística no comércio exterior?
2. Como você acredita que a tecnologia pode ser utilizada para melhorar as práticas de armazenagem na Aurora EADI? Você já observou alguma implementação que tenha sido bem-sucedida?
3. Quais medidas você considera essenciais para otimizar a gestão do espaço de armazenagem? Você pode compartilhar exemplos práticos?
4. Como a comunicação entre as diferentes equipes envolvidas na logística pode ser aprimorada para facilitar a eficiência na armazenagem?
5. Na sua opinião, quais são os principais fatores que afetam a eficiência logística no comércio exterior? Como esses fatores se relacionam com a armazenagem?
6. Que tipo de treinamento ou capacitação você considera necessário para a equipe que lida com a armazenagem? Como isso pode impactar a eficiência?
7. Quais são os principais desafios que você enfrenta no dia a dia relacionado à armazenagem? Como esses desafios afetam a eficiência logística?
8. Como você avalia a utilização das tecnologias atuais na armazenagem? Existem ferramentas ou soluções que você acredita que poderiam ser implementadas para otimizar esse processo?
9. Como você vê a relação entre a armazenagem e a sustentabilidade nas operações logísticas da Aurora EADI? Que práticas sustentáveis poderiam ser adotadas?
10. Como você imagina o futuro da armazenagem na Aurora EADI? Quais inovações ou mudanças você gostaria de ver implementadas?

ENTRE A TECNOLOGIA E O CUIDADO: ANÁLISE COMPARATIVA ESTRUTURADA DE CHATBOTS NA SAÚDE DIGITAL
BETWEEN TECHNOLOGY AND CARE: STRUCTURED COMPARATIVE ANALYSIS OF CHATBOTS IN DIGITAL HEALTH

Andressa Barbosa Carvalho Araújo[1]
Matheus Bilitardo Abib[2]
Luciano Gonçalves de Carvalho[3]

RESUMO: O presente artigo analisa comparativamente as seguintes plataformas de *chatbots* aplicadas à saúde digital: Ada Health, Molly (Sensely) e Symptomate. Utilizando uma abordagem exploratória, bibliográfica e com elementos quantitativos e qualitativos, o estudo avalia aspectos técnicos, clínicos e de experiência do usuário por meio de critérios como precisão diagnóstica, conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD), satisfação dos usuários, acessibilidade técnica e compreensão de linguagem natural. Os resultados indicam que a Ada Health se destaca pela robustez científica e aceitação do público, a Molly pela abordagem humanizada com avatar interativo voltado ao monitoramento de doenças crônicas, e o Symptomate pela simplicidade e eficiência na triagem inicial de sintomas. A análise revela que, embora os *chatbots* ampliem o acesso e otimizem o atendimento em saúde, ainda enfrentam desafios relacionados à privacidade, personalização e usabilidade. Conclui-se que essas ferramentas possuem grande potencial para complementar o cuidado médico, desde que sua implementação observe aspectos éticos, técnicos e regulatórios.
Palavras-chave: *Chatbot*; Inteligência Artificial; Internet; LGPD; Saúde.

ABSTRACT: This article presents a comparative analysis of three chatbot platforms used in digital healthcare: Ada Health, Molly (Sensely), and Symptomate. Using a mixed-methods approach combining qualitative, quantitative, exploratory, and bibliographic elements, the study evaluates technical, clinical, and user experience aspects based on criteria such as diagnostic accuracy, compliance with Brazil's General Data Protection Law (LGPD), user satisfaction, technical accessibility, and natural language understanding. The results indicate that Ada Health stands out for its scientific robustness and user acceptance, Molly (Sensely) for its humanized approach through an interactive avatar focused on chronic disease monitoring, and Symptomate for its simplicity and efficiency in initial symptom triage. The analysis reveals that although chatbots enhance access to care and streamline healthcare services, they still face challenges related to privacy, personalization, and usability. The study concludes that these tools hold great potential to complement medical care, provided their implementation addresses ethical, technical, and regulatory aspects.
Keywords: Artificial Intelligence; Chatbot; Health; internet; LGPD.

Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas – Faculdade de Tecnologia de Mogi das Cruzes – Fatec Mogi das Cruzes – E-mail: andressabarbosaraujo09@gmail.com[1]
Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas – Faculdade de Tecnologia de Mogi das Cruzes – Fatec Mogi das Cruzes – E-mail: Matheus.abib@fatec.sp.gov.br[2]
Docente do curso de Análise e Desenvolvimento da Faculdade de Tecnologia de Mogi das Cruzes – Fatec Mogi das Cruzes - E-mail: luciano.carvalho@fatec.sp.gov.br [3]

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Cardoso (2024), a evolução tecnológica tem impulsionado inovações em diversas áreas, e a saúde tem sido uma das mais beneficiadas por essas transformações. A incorporação de novas tecnologias tem proporcionado avanços significativos na eficiência do atendimento médico e na experiência dos pacientes. Ferramentas como inteligência artificial, realidade aumentada e automação têm desempenhado um papel crucial nesse processo, melhorando a qualidade do atendimento, a precisão dos diagnósticos e a agilidade nos tratamentos.

Os *chatbots*, que são programas de inteligência artificial capazes de interagir com usuários por meio de mensagens automatizadas, surgem como uma solução inovadora para fornecer suporte contínuo e personalizado aos pacientes. Oferecendo respostas rápidas e eficazes sobre sintomas, medicamentos e tratamentos, esses sistemas revolucionam a prestação de serviços de saúde. Eles contribuem para a redução de custos operacionais, otimizam o uso dos recursos humanos e permitem que os profissionais de saúde se concentrem em casos mais complexos, demonstrando o potencial das tecnologias emergentes na transformação da saúde.

Esses sistemas já estão transformando o atendimento médico ao oferecer suporte acessível, automatizado e contínuo aos pacientes, essas soluções permitem desde a triagem automatizada até o suporte a diagnósticos e procedimentos médicos, contribuindo para maior eficiência e segurança no atendimento como afirmado por Laurentys (2025). A interação em tempo real proporcionada por eles é especialmente valiosa em contextos em que a rapidez no atendimento é crucial.

Apesar dos avanços proporcionados pelos *chatbots,* a implementação deles enfrenta desafios significativos. A segurança dos dados pessoais é uma preocupação central, já que sistemas baseados em inteligência artificial podem aumentar a exposição a riscos de segurança e privacidade, como destaca Topol (2019). Além disso, embora os *chatbots* forneçam respostas rápidas, podem apresentar dificuldades na interpretação de sintomas complexos, além de limitações na precisão diagnóstica e na comunicação com os usuários. Ademais, fatores como a falta de empatia e a desconfiança de pacientes e profissionais de saúde representam barreiras para a adoção dessas tecnologias (FAN et al., 2021; LARANJO et al., 2018).

Este artigo visa comparar *chatbots* Ada Health, Molly e Symptomate, que, embora compartilhem semelhanças, apresentam características únicas em suas abordagens. A escolha das plataformas analisadas baseou-se em critérios objetivos, como: presença em estudos científicos e validações clínicas publicadas em artigos, disponibilidade de documentação técnica detalhada em sites oficiais das plataformas e acessibilidade das plataformas para realização de testes. Esses critérios foram adotados com o objetivo de garantir a relevância, comparabilidade e viabilidade da análise proposta. Ao analisar suas operações no atendimento médico, busca-se entender como essas tecnologias estão transformando a prestação de serviços de saúde, tornando-os mais eficientes, acessíveis e centrados no paciente.

2 METODOLOGIA

A pesquisa desse artigo adota uma abordagem mista (qualitativa e quantitativa), exploratória e bibliográfica, com ênfase no levantamento, análise e comparação de três assistentes virtuais utilizados na saúde: Molly (Sensely), Symptomate e Ada Health.

Para isso, foram consultadas fontes primárias e secundárias, como plataformas especializadas em divulgação científica, como PubMed, ScienceDirect e BMJ Open, além de fontes jornalísticas, como Forbes, MedCity News e Medicina S/A. As informações extraídas abrangem aspectos, como seus mecanismos de funcionamento, eficácia clínica, estudos comparativos, e avaliações sobre a acessibilidade dos sistemas.

Os critérios para analisar os diferentes aspectos de atuação das plataformas citadas anteriormente no contexto da saúde digital foram:

- Precisão e Efetividade Clínica: a análise será fundamentada em estudos científicos disponíveis em bases como PubMed e Google Scholar, que trazem validações clínicas, comparações diagnósticas e eficácia em triagem médica;
- Segurança e Privacidade: para avaliar a conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD), será utilizada a ferramenta de auditoria digital *Webbkoll*, que verifica práticas de coleta de dados, ausência de política de privacidade visível e envio de informações a terceiros;
- Satisfação do Usuário: a percepção dos usuários será investigada por meio da análise das avaliações públicas nas lojas de aplicativos (App Store ou Google Play),

considerando notas atribuídas, comentários frequentes e número de downloads, a fim de identificar padrões de aceitação e críticas recorrentes;

- Acessibilidade: será avaliada através das ferramentas Google Lighthouse que dá um panorama quantitativo e técnico da acessibilidade que afetam diretamente a navegação de pessoas com deficiência;
- **Compreensão de Linguagem Natural:** foram realizados testes empíricos com os assistentes virtuais, aplicando a técnica do “Golden Set”, que consiste na criação de um conjunto padronizado de perguntas para todos os chatbots.

O conjunto foi composto por 20 perguntas distribuídas entre quatro categorias: erros ortográficos, uso de gírias, perguntas ambíguas e reformulações de uma mesma intenção clínica. Todos os chatbots foram submetidos às mesmas entradas, permitindo comparação direta de desempenho.

A análise foi realizada a partir de critérios de interpretação semântica, coerência das respostas e identificação da intenção do usuário. Os resultados foram categorizados em níveis de desempenho (alto, médio e baixo), permitindo uma análise comparativa dos sistemas com base em evidências empíricas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Este referencial teórico está estruturado de forma a apresentar, inicialmente, os conceitos fundamentais relacionados aos *chatbots* na área da saúde, abordados na seção 3.1. Em seguida, são analisadas plataformas específicas utilizadas no contexto da saúde digital, sendo elas: Sensely, na seção 3.2; Symptomate, na seção 3.3; e Ada Health, na seção 3.4, permitindo uma compreensão progressiva desde os conceitos gerais até a aplicação prática dessas ferramentas.

3.1 CHATBOTS

Os ‘*bots’*, ou robôs de software, são sistemas automatizados desenvolvidos para executar tarefas de forma autônoma. Um dos tipos mais conhecidos são os *chatbots*, projetados para interagir com os usuários por meio da linguagem natural, seja por texto ou voz. Segundo Mauldin (1994), os primeiros bots foram criados para simular conversas humanas em interfaces simples, mas, com a evolução da inteligência artificial e do processamento de linguagem natural, tornaram-se ferramentas sofisticadas e realistas.

Na área da saúde, os *chatbots* têm ganhado destaque como soluções tecnológicas capazes de otimizar processos, ampliar o acesso à informação e oferecer atendimento contínuo. Essas ferramentas desempenham o papel de assistentes virtuais, ajudando a preencher a lacuna de comunicação entre pacientes e profissionais da saúde. Um estudo publicado pela Inbenta (2022) destaca que, com a tecnologia de inteligência artificial, os *chatbots* são capazes de responder com maior rapidez e eficiência por meio de interfaces conversacionais e, em alguns casos, de forma mais eficaz do que um assistente humano. Assim, quando bem implementados, os *chatbots* podem reduzir o tempo de espera, melhorar a eficiência do atendimento e aumentar a satisfação dos usuários.

Plataformas de inteligência artificial como Ada Health, Molly (Sensely) e Symptomate têm sido adotadas por instituições hospitalares para atender grandes volumes de usuários com segurança e agilidade, demonstrando a escalabilidade e a confiabilidade desses sistemas quando integrados a bases de dados médicas estruturadas. Embora apresentem abordagens distintas, essas plataformas compartilham funções essenciais, como a triagem de sintomas por meio de perguntas estruturadas, semelhante ao processo médico, o agendamento de consultas, o monitoramento remoto, a orientação em cuidados de saúde e a geração de diagnósticos preliminares.

Apesar dos avanços apresentados pelos *chatbots* na área da saúde, a literatura científica aponta limites importantes quanto à sua aplicação na prática clínica. Segundo Babushkina e Votsis (2022), a tomada de decisão diagnóstica mediada por inteligência artificial exige supervisão humana constante, especialmente devido às limitações relacionadas à interpretação contextual e aos riscos de erros algorítmicos.

Nesse sentido, Topol (2019) argumenta que a inteligência artificial possui grande potencial para apoiar decisões médicas, principalmente na análise de grandes volumes de dados, porém não deve ser vista como substituta do profissional de saúde, mas sim como uma ferramenta complementar. Essa perspectiva reforça a necessidade de integração entre tecnologia e expertise humana, garantindo maior segurança e precisão no atendimento.

Além das limitações técnicas, destacam-se também implicações éticas e sociais relacionadas ao uso de *chatbots* na saúde. A coleta e o processamento de dados sensíveis levantam preocupações quanto à privacidade, transparência e responsabilidade no uso dessas informações, especialmente em contextos regulados

por legislações de proteção de dados. Conforme apontado por Alowais et al. (2023), o uso de inteligência artificial na prática clínica exige não apenas validação técnica, mas também governança adequada e diretrizes éticas claras.

Do ponto de vista bioético, Elias et al. (2023) destacam que a expansão da inteligência artificial na saúde também amplia discussões relacionadas à autonomia do paciente, segurança das informações e responsabilização em casos de falhas diagnósticas. Além disso, estudos recentes apontam que *chatbots* aplicados à saúde mental podem gerar riscos relacionados à confiabilidade das respostas e à ausência de responsabilização humana direta (Silveira; Paravidini, 2024).

Dessa forma, embora os *chatbots* representem uma inovação relevante no campo da saúde digital, sua adoção deve ser acompanhada de análises críticas quanto à sua confiabilidade, limitações e impactos sociais, evitando uma visão exclusivamente otimista e garantindo que seu uso ocorra de maneira responsável e segura.

3.2 SENSELY

A plataforma Sensely possui uma enfermeira virtual chamada Molly desenvolvida em 2013 para reduzir a sobrecarga no sistema de saúde, que combina inteligência artificial e um avatar interativo e visa oferecer um atendimento mais humanizado, especialmente em sistemas com grande demanda. A maior motivação para a criação dessa ferramenta foi melhorar a experiência do paciente com uma abordagem personalizada e ágil. A Molly coleta informações por meio de texto, voz, imagens e vídeos, analisando sintomas e histórico médico, e então orientando os próximos passos. Ela colabora com instituições como o Serviço Nacional de Saúde do Reino Unido e a Mayo Clinic, uma organização da área de pesquisas médico-hospitalares que visa expandir os recursos da assistente virtual fornecendo orientações de saúde aos usuários, conforme informações disponibilizadas pela plataforma SENSELY (2025).

3.3 SYMPTOMATE

Fundado em 2012 pela empresa polonesa Infermedica, o *chatbot* Symptomate utiliza aprendizado de máquina e algoritmos baseados em redes neurais para avaliar sintomas relatados pelos usuários por meio de uma entrevista digital, identificando

possíveis causas e oferecendo orientações sobre tratamentos ou a necessidade de cuidados médicos. Esse *chatbot* é utilizado por diversas organizações, como seguradoras e hospitais, para aprimorar a triagem médica inicial e auxiliar pacientes na decisão sobre procurar atendimento imediato INFERMEDICA (2025). Um exemplo é a *eVisit*, plataforma de cuidados virtuais que integrou a API do Symptomate ao seu sistema, permitindo a triagem automática de sintomas antes das consultas.

3.4 ADA HEALTH

Já o Ada Health, criado em 2011 por Claire Novorol, Daniel Nathrath e Martin Hirsch, integra suas tecnologias a iniciativas de autocuidado e educação em saúde. A ideia surgiu a partir de dificuldades de diagnóstico enfrentadas por um familiar de um dos fundadores, o que levou à criação de uma plataforma para o público em geral. O Ada Health, reconhecido pela precisão no diagnóstico, já firmou parcerias com hospitais como o Jefferson Health, nos Estados Unidos e colabora com empresas farmacêuticas como Bayer e Pfizer, segundo o *site* oficial da Ada Health (2025). Por exemplo, a parceria com a Bayer permite que usuários acessem a plataforma da Ada através dos sites de produtos como aspirina e Aleve. A plataforma é baseada em redes neurais e aprendizado de máquina, e foi treinada com mais de 50 milhões de interações reais.

Em síntese, os *chatbots* representam uma inovação promissora para o setor da saúde, proporcionando maior acesso, agilidade e eficiência no atendimento aos usuários. Entretanto, para que essas ferramentas atinjam seu potencial máximo, é fundamental garantir a qualidade das bases de dados utilizadas, a validação clínica dos sistemas e a proteção da privacidade dos pacientes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A validação clínica das plataformas Ada Health, Molly (Sensely) e Symptomate evidencia abordagens distintas em termos de rigor científico e aplicação prática, refletindo seus focos e objetivos no setor da saúde. Como detalhado no Quadro 1, essas plataformas têm bases de treinamento variadas e níveis diferentes de evidência científica, o que impacta diretamente sua precisão diagnóstica e efetividade clínica.

Quadro 1 – Precisão e Efetividade Clínica das ferramentas Ada, Molly e Symptomate (Via artigos publicados)

Plataforma	**Coleta de Dados Pessoais**	**Compartilhamento com Terceiros**	**Política e Consentimento**	**Inconformidades Identificadas**	***Cookies***
Ada Health	Nome, idade, sintomas, localização.	Sim (Google Analytics, Meta Pixel)	Política técnica e pouco acessível.	Rastreia dados antes do consentimento.	2 de terceiros, sem bloqueio inicial.
Molly (Sensely)	Dados clínicos, voz, imagem.	Sim (AWS, Twilio, Analytics)	Limitada e só em inglês.	Coleta sensível sem aviso explícito.	4 ativos antes do consentimento
Symptomate	Sintomas, idade, sexo.	Google (Limitado).	Política clara, em português.	Estrutura simples sem chamadas a terceiros na homepage	Uso de cookies, bloqueados até interação (8 no total)

Fonte: Autores (*2025*).

A Ada Health destaca-se por sua robustez científica, com estudos revisados por pares publicados em periódicos como BMJ Open e Nature Digital Medicine. Em estudo comparativo sobre aplicativos de avaliação de sintomas, a plataforma apresentou aproximadamente 71% de acerto ao incluir o diagnóstico correto entre suas três principais sugestões, demonstrando desempenho próximo ao de médicos clínicos gerais em determinados contextos (GILBERT et al., 2020). Em contraste, a Molly, desenvolvida pela Sensely, concentra-se no monitoramento remoto de pacientes crônicos, utilizando protocolos validados pelo Serviço Nacional de Saúde do Reino Unido (NHS). Estudos na área de telemedicina apontam elevada efetividade desse tipo de solução na gestão de doenças crônicas, como insuficiência cardíaca,

evidenciando sua relevância prática no cuidado contínuo aos pacientes (TELEMEDICINE AND E-HEALTH, 2020).

Já o Symptomate, voltado para triagens de doenças específicas como as tropicais, apresenta eficácia clínica notável, com precisão diagnóstica similar à médica em casos como faringite e infecções urinárias (BENIS, 2022), ressaltando sua utilidade em contextos endêmicos e emergenciais. Esses resultados indicam diferentes nichos de atuação e níveis de maturidade clínica, destacando a importância de análises específicas para cada contexto de uso.

A segurança e a privacidade dos dados são aspectos cruciais para plataformas de saúde digital, especialmente diante das exigências da Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD). A proteção adequada dessas informações é fundamental para garantir a confiança dos usuários e prevenir possíveis danos decorrentes do uso inadequado de dados sensíveis. Conforme demonstrado no Quadro 2, as plataformas analisadas apresentam abordagens distintas em relação à coleta de dados pessoais, como informações clínicas, registros de voz e até imagens, além de variações significativas no compartilhamento com terceiros e na transparência das políticas.

Quadro 2 – Segurança e Privacidade (LGPD - via Webbkoll)

Plataforma	Base de Treinamento	Estudos Científicos	Exemplo de Efetividade Clínica
Ada Health	+50 milhões de interações médicas reais.	70% de acerto entre os 3 principais diagnósticos e desempenho semelhante a clínicos gerais.	Ajudou a identificar apendicite e acelerar triagens em programas corporativos.
Molly (Sensely)	Protocolos clínicos + IA com feedback contínuo.	85% de efetividade em insuficiência cardíaca.	Reduziu hospitalizações em pacientes crônicos com monitoramento remoto.

Symptomate	Guidelines e dados clínicos simulados.	Precisão em casos simples como faringite e ITU.	Ajudou a identificar dengue e doenças infecciosas em regiões tropicais.

Fonte: Autores (*2025*).

Enquanto a Ada Health e a Molly (Sensely) utilizam ferramentas de rastreamento antes da obtenção do consentimento, o Symptomate se destaca por uma estrutura mais simplificada e alinhada aos princípios da LGPD. A análise comparativa realizada evidencia essas diferenças, particularmente no que diz respeito à clareza das políticas, à conformidade legal e à presença de vulnerabilidades potencialmente críticas.

Já o Symptomate adota medidas como o bloqueio inicial de cookies e um escopo limitado de compartilhamento com terceiros (apenas Google básico), as outras plataformas demonstram inconformidades com a LGPD, como:

- Molly (Sensely): Coleta de dados sensíveis (voz e imagem) sem aviso explícito e uso de quatro cookies ativos antes do consentimento, expondo os usuários a potenciais violações.
- Ada Health: Rastreamento prévio de dados (via Google Analytics e Meta Pixel) e políticas de privacidade complexas, dificultando a compreensão do usuário sobre como suas informações são tratadas.

Essas diferenças não apenas refletem níveis distintos de conformidade com a LGPD, mas também impactam diretamente a confiança do usuário – fator essencial em plataformas de saúde digital, onde a sensibilidade dos dados exige máxima transparência e controle a insuficiência cardíaca (Telemedicine and e-Health, 2020), evidenciando relevância prática em cuidados contínuos.

A satisfação dos usuários é um importante meio para avaliar a eficácia e a adoção de plataformas digitais de saúde. As avaliações nas lojas de aplicativos (App Store e Google Play) de Ada Health, Molly (Sensely) e Symptomate revelam não apenas a percepção geral de cada uma, mas também padrões recorrentes que moldam a experiência prática de interfaces intuitivas a falhas operacionais. O Quadro 3 sintetiza esses dados, cruzando métricas como nota média, volume de avaliações e estimativa de downloads. Para a análise qualitativa dos feedbacks, foram coletados e

categorizados os 50 comentários mais recentes de cada plataforma nas lojas App Store e Google Play, sendo agrupados em duas categorias principais: elogios recorrentes e críticas recorrentes, com base em repetição temática e frequência de menções.

Quadro 3 – Satisfação do Usuário via App Store e Google Play

Plataforma	Nota Média	Nº de Avaliações	Downloads Estimados	Elogios Frequentes	Críticas Frequentes
Ada Health	4.9 ★ (iOS) 4.7 ★ (Android)	+5 mil	+2 milhões	Interface intuitiva, diagnósticos rápidos, sensação de apoio profissional	Perguntas repetitivas, falta de integração com médicos locais
Molly (Sensely)	4.6 ★ (iOS) 4.3 ★ (Android)	219avaliações	+10 mil	Avatar humanizado, sensação de conversa real, útil para doenças crônicas	Respostas lentas, bugs, indisponibili-dade regional
Symptomate	4.7 ★ (iOS) 4.3 ★ (Android)	+10 mil	+500 mil	Simples, rápido, orientações claras, app leve	Pouca personaliza -ção, sem histórico de sintomas

Fonte: Autores (*2025*).

A performance técnica das plataformas digitais de saúde desempenha papel essencial na garantia da usabilidade, segurança e qualidade da experiência do usuário. No contexto dos *chatbots* analisados, a avaliação de aspectos como acessibilidade, velocidade de carregamento, estabilidade visual e conformidade com boas práticas *web* permite identificar limitações técnicas que podem impactar negativamente sua adoção e eficácia.

O Quadro 4 apresenta uma análise comparativa desses elementos, baseada em testes realizados em dispositivos computador e celular, segundo os critérios da ferramenta Google Lighthouse e os Core Web Vitals, um conjunto de indicadores definidos pelo Google para mensurar a experiência do usuário em páginas da web.

Os resultados do Google Lighthouse são apresentados em uma escala de 0 a 100, na qual valores mais próximos de 100 indicam melhor desempenho da plataforma, enquanto valores mais baixos representam menor conformidade com boas práticas de desenvolvimento e maior presença de problemas técnicos. Dessa forma, quanto maior a pontuação, melhor o desempenho da plataforma em cada métrica avaliada.

São avaliados indicadores como acessibilidade, desempenho, conformidade com práticas recomendadas, ranqueamento nos resultados de busca (SEO – Search Engine Optimization) e métricas de experiência real de uso (Core Web Vitals, incluindo LCP – Largest Contentful Paint, INP – Interaction to Next Paint e CLS – Cumulative Layout Shift). O Quadro inclui, ainda, uma justificativa interpretativa para cada resultado, indicando se a plataforma atende aos parâmetros mínimos considerados adequados. Para aprovação nos indicadores Core Web Vitals, é necessário que as plataformas satisfaçam, em pelo menos 75% das visitas reais, os seguintes parâmetros:

- LCP (Largest Contentful Paint): mede o tempo necessário para carregar e exibir o maior elemento visível da página. Para uma boa experiência do usuário, esse tempo deve ser de até 2,5 segundos,
- INP (Interaction to Next Paint): mede o intervalo entre a interação do usuário (como clique ou toque) e a atualização visual subsequente. Um valor de até 200 milissegundos indica que a interface responde de forma ágil, evitando atrasos perceptíveis que possam prejudicar a usabilidade.
- CLS (Cumulative Layout Shift): quantifica a estabilidade visual da página durante o carregamento. Valores até 0,1 são considerados aceitáveis, garantindo que o layout permaneça estável enquanto o conteúdo é carregado.

Quadro 4 – Acessibilidade segundo o Google Lighthouse.

Plataforma	Dispositivo	Acessi-bilidade	Desempenho	Práticas Recomendadas	SEO	Core Web Vitals

Ada Health	Computador	96	98	93	100	LCP: 1.6s INP: 51ms CLS: 0.11
	Celular	96	79	100	100	LCP: 2.2s INP:130m CLS: 0.09/
Molly (Sensely)	Computador	76	75	100	77	LCP: 3.2s INP: 79ms CLS: 0.01
	Celular	79	71	100	77	LCP: 3.2s INP:271m CLS: 0.08/
Symptomate	Computador	65	90	100	92	LPC:3.4s INP:76ms CLS:0.05
	Celular	60	90	100	92	LCP: 4s INP:195m CLS: 0.32

Fonte: Autores, (2025).

A partir dos dados apresentados na Quadro 4, observam-se contrastes significativos entre as plataformas no que diz respeito à performance técnica e à experiência do usuário. Ada Health se destaca com métricas altamente positivas em computadores e celulares, apresentando indicadores dentro dos limites recomendados e boa usabilidade geral. Apesar de um leve CLS elevado no desktop, que indica certa instabilidade no layout, os tempos de carregamento e responsividade permanecem satisfatórios, reforçando a maturidade técnica da plataforma. Molly (Sensely), por outro lado, embora mantenha boa pontuação em acessibilidade e práticas recomendadas, sofre com LCP elevado tanto em desktop quanto em mobile, o que representa demora no carregamento do conteúdo principal. Essa lentidão, somada ao atraso perceptível nas interações em dispositivos móveis, compromete a fluidez da navegação. Por fim, o Symptomate apresenta o pior desempenho geral: além de LCP acima do ideal, prejudicando a experiência do usuário, o CLS no celular é consideravelmente alto, o que indica instabilidade visual significativa

Já a análise da capacidade de compreensão da linguagem natural pelas plataformas, conforme detalhado no Quadro 5, revela nuances importantes sobre a qualidade da interação entre usuário e *chatbot*. A capacidade de compreender a linguagem natural dos usuários é um dos principais desafios para plataformas digitais de saúde, especialmente em contextos quando do uso de linguagem informal ou com perguntas ambíguas a interpretação. Usabilidade, flexibilidade conversacional e precisão na interpretação das intenções são fatores essenciais para uma experiência eficaz e segura. Nesse sentido, o Quadro 5 analisa o desempenho linguístico dos *chatbots* Ada Health, Molly (Sensely) e Symptomate com base em cinco critérios fundamentais, avaliados qualitativamente como baixa, média ou alta performance: tolerância a gírias e erros, interpretação de perguntas ambíguas, reformulação de diálogo e identificação correta da intenção da mensagem do usuário.

Quadro 5. Compreensão de Linguagem Natural (Método Golden Set).

Plataforma	Tolerância a Gírias e Erros	Interpretação de Perguntas Ambíguas	Capacidade de Reformulação de Diálogo	Identificação Correta da Intenção
Ada Health	Alta	Regular	Alta	Alta
Molly (Sensely)	Média	Baixa	Média	Média
Symptomate	Alta	Alta	Alta	Alta

Fonte: Autores, (2025).

A análise do Quadro 5 mostra que o Symptomate se destaca na compreensão de linguagem natural, demonstrando alta tolerância a gírias, erros ortográficos e perguntas ambíguas. Expressões informais como “tô ruim” ou frases vagas como “acho que tô com dengue ou virose” são bem interpretadas, garantindo continuidade no atendimento. O Ada Health apresenta desempenho regular em ambiguidade, mas reconhece variações como “dor de barriga” e corrige erros como “cabesa” para “cabeça”, mantendo boa fluidez. Já o Molly (Sensely) tem dificuldades nesse aspecto, exigindo frases mais diretas; expressões genéricas resultam em respostas vagas e pouco úteis.

Em termos de reformulação do diálogo, Ada Health e Symptomate se mostram mais adaptáveis às interações do usuário, enquanto Molly enfrenta limitações que afetam a naturalidade da conversa. Na identificação de intenções, todas têm desempenho funcional, mas Ada Health e Symptomate demonstram maior precisão, inclusive com linguagem informal.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise comparativa dos *chatbots* Ada Health, Molly (Sensely) e Symptomate demonstrou que essas ferramentas têm grande potencial para contribuir com o atendimento na saúde, oferecendo triagens ágeis, suporte clínico inicial e acessibilidade aos usuários. Entre as soluções analiadas, o Ada Health apresentou desempenho consistente em múltiplos critérios adotados nesta pesquisa, combinando alta precisão diagnóstica, validação científica robusta, ótima experiência de uso e ampla aceitação do público. Entretanto, os resultados obtidos estão diretamente condicionados aos critérios de avaliação e aos métodos utilizados neste estudo, de caráter exploratório e comparativo, não sendo possível generalizar os resultados para todos os contextos clínicos e tecnológicos. Além disso, observou-se que cada plataforma se destaca em dimensões específicas, como desempenho técnico, precisão clínica e conformidade com a LGPD; A plataforma Molly oferece um diferencial humanizado por meio de avatar interativo e a Symptomate apresente forte desempenho em linguagem natural e conformidade com a LGPD. Apesar disso, ambos ainda enfrentam limitações em desempenho técnico, privacidade ou abrangência funcional em determinados critérios analisados. Nesse contexto, os

resultados indicam que o Ada Health apresentou maior equilíbrio entre os aspectos avaliados nesta pesquisa, podendo servir como referência para futuras aplicações de inteligência artificial na saúde digital. Recomenda-se que novas implementações priorizem a segurança dos dados, validação clínica contínua e foco na experiência do paciente para garantir impacto positivo e ético no setor, promovendo também maior acessibilidade e personalização do atendimento digital.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADA HEALTH. **How Ada works.** 2025. Disponível em: https://ada.com/pt/. Acesso em: 12 mar. 2025.

ALOWAIS, S. A.; SHUROUG, S. **Revolucionando a saúde: o papel da inteligência artificial na prática clínica.** BMC Medical Education, 2023. Disponível em: https://bmcmededuc.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12909-02304698-z#citeas. Acesso em: 25 mar. 2025.

ARMITAGE, H. **Physician decision chatbot.** Stanford Medicine, 2025. Disponível em: https://med.stanford.edu/news/all-news/2025/02/physiciandecision-chatbot.html. Acesso em: 13 abr. 2025.

BABUSHKINA, D.; VOTSIS, A. **Epistemo-ethical constraints on AI-human decision making for diagnostic purposes.** Ethics and Information Technology, v. 24, n. 22, 2022. Disponível em: Springer Nature. Acesso em: 05 maio 2026.

BENIS, A. I. **The use of chatbots in health care: a review of literature.** JMIR Medical Informatics, v. 8, n. 4, 2020.

BMJ OPEN. **Comparison of symptom checkers triage performance in primary care.** BMJ Open, v. 10, n. 4, 2020. Disponível em: https://bmjopen.bmj.com/. Acesso em: 18 mar. 2025.

CARDOSO, Ericson. I**mportância da tecnologia na saúde: inovações e benefícios, 2024.** Disponível em: https://blog.ux4you.com.br/2024/06/24/importancia-da-tecnologia-na-saude-inovacoes-e-beneficios/. Acesso em: 13 abr. 2025.

ELIAS, M. A. et al. **Inteligência artificial em saúde e implicações bioéticas: uma revisão sistemática.** Revista Bioética, 2023. Disponível em: Revista Bioética. Acesso em: 05 maio 2026.

FAN, H. et al. **Utilization of self-diagnosis health chatbots in real-world settings: case study.** Journal of Medical Internet Research, v. 23, n. 1, 2021.

GILBERT, S. et al. **How accurate are digital symptom assessment apps for suggesting conditions and urgency advice? A clinical vignettes comparison to**

general practitioners. BMJ Open, v. 10, n. 12, 2020. Disponível em: https://bmjopen.bmj.com/content/10/12/e040269. Acesso em: 14 maio 2025.

INBENTA. **Benefícios dos chatbots na área de saúde: 9 casos de uso.** Inbenta, 2022. Disponível em: https://www.inbenta.com/pt-br/articles/benefits-ofchatbots-in-healthcare-9-use-cases-of-healthcare-chatbots/. Acesso em: 10 abr. 2025.

INFERMEDICA. **Symptomate.** Disponível em: https://symptomate.com/pt-br/about. Acesso em: 06 mar. 2025.

LARANJO, L. et al. **Conversational agents in healthcare: a systematic review.** Journal of the American Medical Informatics Association, v. 25, n. 9, p. 1248–1258, 2018.

LAURENTYS, Paulo. **Hospitais inteligentes: quais os avanços da IA no sistema de saúde brasileiro.** Saúde Digital News, 2025. Disponível em: https://medicinasa.com.br/hospitais-inteligentes-ia/. Acesso em: 10 abr. 2025.

MAULDIN, M. **ChatterBots, TinyMUDs, and the Turing Test: entering the Loebner Prize competition.** In: Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence. 1994. p. 16–21.

SENSELY. **Sensely.** [s.d.]. Disponível em: https://sensely.com/.Acesso em: 14 mar. 2025.

SILVEIRA, P. V. R.; PARAVIDINI, J. L. L. **Ética da aplicação de inteligências artificiais e chatbots na saúde mental: uma perspectiva psicanalítica.** Revista Pesquisa Qualitativa, v. 12, n. 30, 2024. Disponível em: Revista Pesquisa Qualitativa. Acesso em: 05 maio 2026.

TELEMEDICINE AND E-HEALTH. **Remote patient monitoring for chronic disease management: outcomes and effectiveness in heart failure care.** Telemedicine and e-Health, v. 26, n. 5, 2020.

TOPOL, Eric. **Deep medicine: how artificial intelligence can make healthcare human again**. ACM Digital Library, 2019.

COMPETÊNCIAS TÉCNICAS E COMPORTAMENTAIS NA LIDERANÇA CONTEMPORÂNEA: UMA ANÁLISE COMPARATIVA SOB A PERSPECTIVA DOS LIDERADOS

HARD SKILLS AND SOFT SKILLS IN CONTEMPORARY LEADERSHIP: A COMPARATIVE ANALYSIS FROM THE PERSPECTIVE OF SUBORDINATES

Fernanda Tavares Bolaños[1]
Dr. Renato Marcio dos Santos[2]

RESUMO: Este artigo analisa a atuação da liderança contemporânea, com foco na possível predominância de competências técnicas (*hard skills*) em comparação às competências comportamentais (*soft skills*), discutindo os impactos desse eventual desequilíbrio na dinâmica das equipes e nos resultados organizacionais. Parte-se do pressuposto de que o ambiente corporativo atual, marcado por mudanças constantes, além da competitividade, exige dos líderes não apenas domínio técnico para condução de processos e tomada de decisões, mas também habilidades interpessoais capazes de promover engajamento, motivação, comunicação eficaz e resolução adequada de conflitos. O objetivo do estudo foi identificar se existe equilíbrio entre competências técnicas e comportamentais no exercício da liderança, sob a percepção dos liderados. Para alcançar esse propósito, adotou-se uma pesquisa descritiva, de abordagem quantitativa, realizada por meio da aplicação junto aos colaboradores de diferentes organizações e cargos de atuação, de um questionário estruturado composto por doze questões objetivas, relacionadas ao conhecimento técnico dos líderes e habilidades comportamentais ligadas à gestão de pessoas. Os resultados indicaram percepção positiva quanto às competências técnicas dos líderes, ao mesmo tempo em que as competências comportamentais apresentaram avaliações mais heterogêneas entre os respondentes. A partir deste estudo, pode-se compreender que, embora as *hard skills* sejam majoritariamente reconhecidas pelos liderados, ainda existem lacunas no desenvolvimento das *soft skills*, revelando um desequilíbrio parcial entre essas competências e reforçando a necessidade de investimentos organizacionais em programas estruturados de desenvolvimento de lideranças, capazes de integrar, de forma equilibrada, habilidades técnicas e comportamentais.
Palavras-chave: Competências comportamentais; Competências técnicas; Gestão de pessoas; Liderança.

ABSTRACT: This article analyzes the performance of contemporary leadership, focusing on the possible predominance of hard skills compared to soft skills, discussing the impacts of this eventual imbalance on team dynamics and organizational results. It is assumed that the current corporate environment, marked by constant changes, in addition to competitiveness, requires from leaders not only technical mastery to conduct processes and make decisions, but also interpersonal skills capable of promoting engagement, motivation, effective communication and adequate conflict resolution. The objective of the study was to identify whether there is a balance between hard and soft skills in the exercise of leadership, under the perception of the subordinates. To achieve this purpose, descriptive research was adopted, with a quantitative approach, carried out through the application of a structured questionnaire composed of twelve objective questions to employees from different organizations and positions, related to the technical knowledge of leaders and behavioral skills related to people management. The results indicated a positive perception of the leaders' hard skills, while the soft skills presented more heterogeneous evaluations among the

Discente em Gestão de Recursos Humanos na Fatec Rubens Lara – Baixada Santista - E-mail: fernanda.bolanos@aluno.cps.sp.gov.br [1]
Doutor e Docente da Fatec Rubens Lara – Baixada Santista - E-mail: renato.santos01@cps.sp.gov.br [2]

respondents. From this study, it can be understood that, although hard skills are mostly recognized by subordinates, there are still gaps in the development of soft skills, revealing a partial imbalance between these competencies and reinforcing the need for organizational investments in structured leadership development programs, capable of integrating, in a balanced way, hard and soft skills.
Keywords: Hard Skills; Leadership; People management; Soft Skills.

1 INTRODUÇÃO

O ambiente organizacional atual é caracterizado por transformações frequentes, que ocorrem principalmente por conta da evolução tecnológica, mudanças sociais e das novas demandas impostas pelo mercado. Esse contexto tem aumentado as exigências sobre a forma como as empresas são gerenciadas, fazendo com que a liderança passe a ter um papel fundamental dentro das corporações, uma vez que o líder é responsável por direcionar as equipes, alinhar metas e contribuir para a construção de um ambiente de trabalho saudável que favoreça o desempenho, a cooperação e a inovação.

Entretanto, observa-se que, historicamente, muitos profissionais chegaram a cargos de liderança em razão de seu bom desempenho e domínio técnico da área em que atuam. Entretanto, conforme apontam Veltrone, Santos e Oliveira (2025), competências técnicas e comportamentais são complementares, bem como necessárias para uma atuação eficaz na gestão. Assim, pode-se compreender que a gestão de equipes exige, além do conhecimento técnico, habilidades relacionadas ao comportamento, como comunicação eficaz e bom relacionamento interpessoal.

Este tema tem sua relevância no fato de haver diversos líderes no mercado de trabalho que são, muitas vezes, promovidos apenas por suas competências técnicas (*hard skills).* De acordo com Charan, Drotter e Noel (2018, p. 35-37), essa estratégia pode resultar em lacunas na gestão de pessoas, já que competências técnicas não atendem totalmente às demandas interpessoais do ambiente de trabalho. Conforme reforçam Morais e Sousa (2025), o domínio apenas das *hard skills* podem comprometer o engajamento e desempenho das equipes.

Diante desse cenário, o problema que orienta este estudo está centralizado na seguinte questão: Há predominância da presença de competências técnicas na atuação dos líderes contemporâneos em comparação às competências comportamentais?

Assim, o objetivo deste artigo é verificar se há equilíbrio entre competências técnicas e comportamentais na atuação dos líderes atuais, por meio da visão dos liderados. Torna-se relevante discutir esse tema, já que muitas organizações enfrentam situações semelhantes, nas quais a valorização excessiva do desempenho técnico na promoção de líderes pode gerar impactos no ambiente de trabalho, bem como nos resultados organizacionais.

2 METODOLOGIA

A presente pesquisa pode ser classificada como descritiva (PRODANOV; FREITAS, 2013, p. 52). Quanto à abordagem metodológica, optou-se pela abordagem quantitativa, considerando que os dados coletados foram analisados por meio de estatística descritiva, com cálculo de frequências e percentuais (PRODANOV; FREITAS, 2013, p. 70). Em relação aos procedimentos técnicos, o estudo caracteriza-se como pesquisa bibliográfica associada ao método de levantamento (survey) (PRODANOV; FREITAS, 2013, p. 52-53; 57-58). A pesquisa bibliográfica foi desenvolvida com base em livros e artigos científicos, enquanto o levantamento de dados foi direcionado a profissionais de diferentes áreas de atuação e cargos, compondo o perfil sociográfico dos respondentes.

A coleta de dados foi realizada por meio de um questionário estruturado, aplicado de forma online, contendo doze questões objetivas. O questionário ficou disponível para resposta durante o período de 09 a 28 de fevereiro de 2026. O instrumento foi elaborado na plataforma Google Forms e divulgado em redes sociais, como WhatsApp, Facebook, Instagram e LinkedIn, alcançando uma amostra não probabilística por conveniência composta por 69 participantes.

Dos 69 respondentes, 65 responderam todo o questionário, enquanto 4 não foram direcionados para responder o questionário, pois informaram que não estavam empregados e não respondiam a um líder. Destes 65 respondentes, 70,8% são do gênero feminino e 29,2% do gênero masculino. Com relação à faixa etária, 9,2% está na faixa de até 19 anos, 64,6% na faixa de 20 a 29 anos, 12,3% na faixa de 30 a 39 anos, 3,1% na faixa de 40 a 49 anos e 50 a 59 anos, bem como 7,7% acima de 60 anos. Por fim, com relação ao cargo de atuação, 6,2% informaram que atuam como jovem aprendiz, 13,8% como estagiário, 10,8% como auxiliar, 32,3% como assistente,

26,2% como analista, 6,2% como coordenador, 1,5% como subgerente, além de 3,1% como diretor.

A participação dos respondentes ocorreu de maneira voluntária e anônima, garantindo o sigilo das informações e respeitando os princípios éticos que orientam a pesquisa científica. Por fim, a análise e discussão dos resultados serão conduzidas por meio da comparação entre os dados obtidos no questionário e os referenciais teóricos do estudo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 LIDERANÇA NAS ORGANIZAÇÕES CONTEMPORÂNEAS

Northouse (2013, p.5) define a liderança como um processo por meio do qual uma pessoa influencia um grupo para a realização um objetivo comum. Tal definição evidencia que a liderança eficaz exige dos gestores a capacidade de lidar com ambientes instáveis e equipes cada vez mais diversas. Nessa mesma perspectiva, Yukl (2013, p. 148) afirma que líderes precisam ter competências técnicas, interpessoais e cognitivas para responder às demandas organizacionais atuais, demonstrando que a gestão de tarefas é insuficiente para garantir resultados consistentes.

Desse modo, Morais e Sousa (2025) destacam que a forma como a liderança é exercida impacta a motivação, o engajamento e o desempenho das equipes, podendo aumentar o alcance dos objetivos organizacionais quando conduzida de maneira eficaz. Por outro lado, conforme as autoras, práticas de liderança inadequadas tendem a gerar desmotivação, conflitos e queda na produtividade, comprometendo o clima organizacional e a eficiência dos processos de trabalho. Esse cenário reforça a necessidade de uma liderança que vá além do domínio técnico, incluindo também habilidades comportamentais no exercício da gestão.

No que se refere ao desenvolvimento das equipes, Formigari et al. (2025) afirmam que o feedback construtivo é uma importante ferramenta que deve ser usada pela liderança e definem o feedback como a apresentação de informações ao colaborador sobre seu desempenho, conduta e/ou resultados. Também é destacado pelos autores que, quando bem estruturado, o feedback contribui para o crescimento profissional dos colaboradores, fortalece as relações interpessoais e favorece um

ambiente organizacional mais produtivo. Assim, o direcionamento de feedbacks construtivos regulares aos liderados é importante para realinhar estratégias, identificar pontos de melhoria e valorizar o desempenho da equipe.

3.2 COMPETÊNCIAS TÉCNICAS (*HARD SKILLS*) NA FORMAÇÃO DE LÍDERES

Segundo Pontes (2024), as competências técnicas, também chamadas de *hard skills*, são habilidades técnicas, como domínio de conhecimentos específicos, métodos, ferramentas e processos necessários para executar tarefas dentro de uma função profissional. Para Veltrone, Santos e Oliveira (2025), apesar dessas habilidades serem importantes para um bom desempenho técnico, elas não são suficientes para garantir uma liderança eficaz, pois nas organizações contemporâneas, estas competências precisam ser combinadas com outras competências.

Nesse sentido, Charan, Drotter e Noel (2018, p. 35-37) citam que, apesar de muitos profissionais que possuem forte domínio técnico serem promovidos e contratados para cargos de liderança, essa estratégia pode resultar em lacunas quando se trata da gestão de pessoas, já que competências técnicas não integram totalmente as demandas interpessoais do ambiente de trabalho.

Como consequência desse desequilíbrio, Grenda (2025) argumenta que líderes promovidos exclusivamente por suas competências técnicas podem apresentar dificuldades na condução de equipes, especialmente no que diz respeito à comunicação, ao desenvolvimento de pessoas e à gestão de conflitos, aspectos relacionados às competências comportamentais (*soft skills*). Essa constatação evidencia que apenas a valorização das *hard skills* nos processos de promoção de líderes pode comprometer a qualidade da liderança exercida.

3.3 COMPETÊNCIAS COMPORTAMENTAIS (*SOFT SKILLS*) NA ATUAÇÃO DA LIDERANÇA

De acordo com Moraes (2024), as competências comportamentais, também denominadas *soft skills*, são habilidades comportamentais que influenciam a forma como os indivíduos interagem entre si. Entre essas competências, destacam-se comunicação eficaz, empatia, inteligência emocional, cooperação, capacidade de

influência e gestão de relações interpessoais no ambiente de trabalho. A autora também destaca que as habilidades comportamentais possuem um papel essencial na liderança, já que possibilitam ao líder estabelecer relações de confiança, interações mais colaborativas e produtivas, bem como compreender as necessidades dos colaboradores. Nesse sentido, o desenvolvimento das *soft skills* não representa um diferencial, mas uma necessidade para o exercício eficaz da liderança.

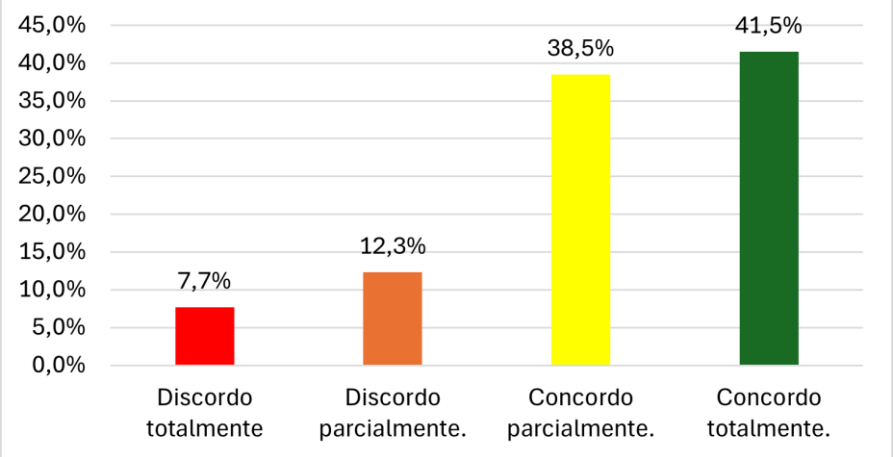
Eva, Afroze e Sarker (2024) argumentam que práticas de liderança baseadas em comunicação clara, ética, solidariedade e trabalho em equipe contribuem para o fortalecimento da confiança, refletindo positivamente no desempenho da equipe e no clima de trabalho. Esse entendimento reforça que as *soft skills* influenciam diretamente os resultados organizacionais, conectando o comportamento do líder à produtividade dos liderados.

Por outro lado, Oliveira et al. (2025) evidencia que as atitudes da liderança podem gerar efeitos negativos, como estresse, insegurança, desmotivação e elevação da rotatividade de colaboradores. Para os autores, líderes que não desenvolvem habilidades comportamentais podem limitar o potencial de suas equipes, o que reforça a necessidade de uma liderança equilibrada, que tenha desenvolvido competências técnicas e comportamentais para atender às demandas organizacionais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Gráfico 1 aponta a opinião dos respondentes sobre o domínio técnico dos seus líderes.

Gráfico 1 - Meu líder demonstra domínio técnico suficiente para orientar a equipe na execução das atividades diárias



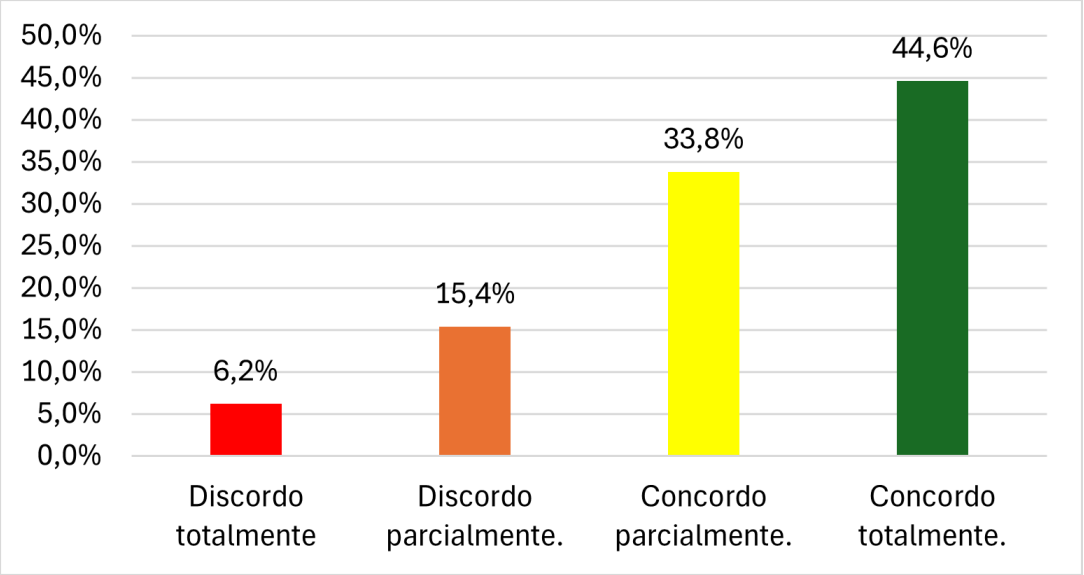
Fonte: elaborado pelo autor (n=65)

O Gráfico 1 ilustra que 7,7% dos respondentes discordam totalmente a respeito do apontamento de que seus líderes demonstram domínio técnico suficiente para orientar a equipe na execução das atividades diárias. Além disso, 12,3% discordam parcialmente, 38,5% concordam parcialmente e 41,5% concordam totalmente.

Observa-se que 80% dos respondentes percebem domínio técnico suficiente por parte do líder na condução das atividades diárias, o que está ligado ao entendimento de que competências técnicas são importantes para orientar atividades. Esse resultado é coerente com o que aponta Pontes (2024), para quem as competências técnicas envolvem o domínio de conhecimentos específicos, metodologias e ferramentas essenciais para direcionar a realização de atividades no contexto de uma função profissional. Porém, a existência de 20% de discordância indica que nem todos os líderes conseguem dar suporte efetivo à equipe, mostrando que o domínio técnico precisa ser desenvolvido.

O Gráfico 2 mostra a visão dos respondentes a respeito do conhecimento técnico observado por meio das decisões tomadas pelos líderes.

Gráfico 2 - As decisões tomadas pelo meu líder refletem conhecimento técnico consistente sobre os processos e rotinas da área



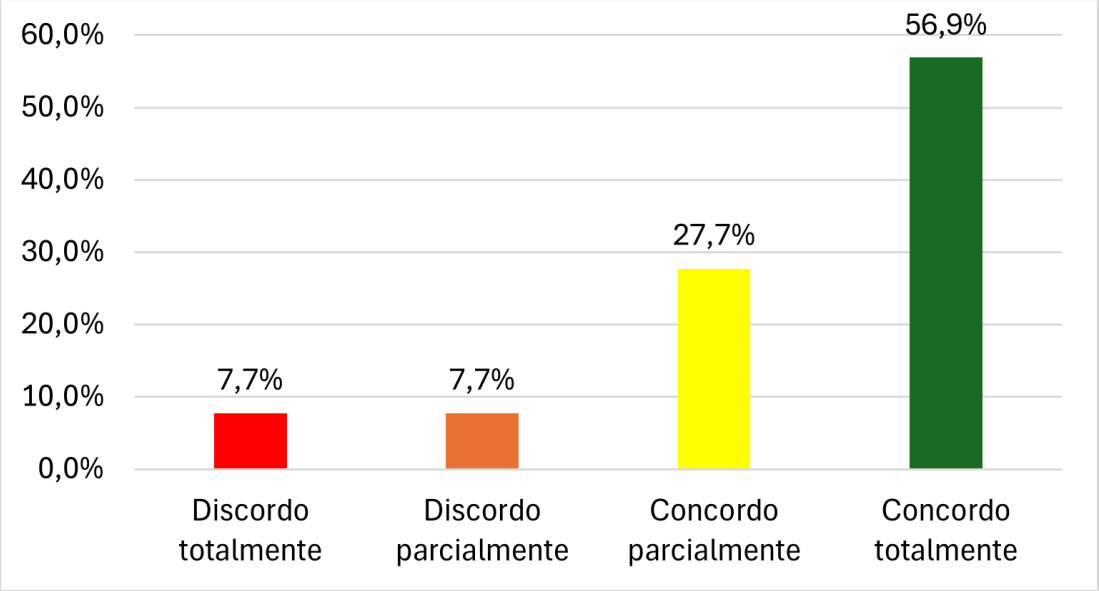
Fonte: elaborado pelo autor (n=65)

O Gráfico 2 mostra que 6,2% dos respondentes discordam totalmente que as decisões tomadas pelos seus líderes refletem conhecimento técnico consistente sobre os processos e rotinas da área, enquanto 15,4% discordam parcialmente, 33,8% concordam parcialmente e 44,6% concordam totalmente.

No Gráfico 2, 78,4% dos respondentes concordam que as decisões do líder refletem conhecimento técnico consistente sobre os processos e rotinas da área, o que demonstra uma boa fundamentação técnica por parte do líder. Os dados reforçam a perspectiva de Pontes (2024), que destaca que o domínio técnico é importante para a execução adequada das atividades profissionais e para a tomada de decisões dentro das organizações. Ainda assim, 21,6% dos respondentes discordam, evidenciando que parte dos liderados não reconhece que o seu líder está aplicando de fato conhecimento técnico nas suas decisões, o que pode comprometer a credibilidade da liderança.

O Gráfico 3 ilustra o ponto de vista dos respondentes sobre o conhecimento técnico observado por meio das metas e diretrizes estabelecidas pelos líderes.

Gráfico 3 - As metas e diretrizes definidas pelo meu líder demonstram conhecimento técnico sobre o funcionamento da área



Fonte: elaborado pelo autor (n=65)

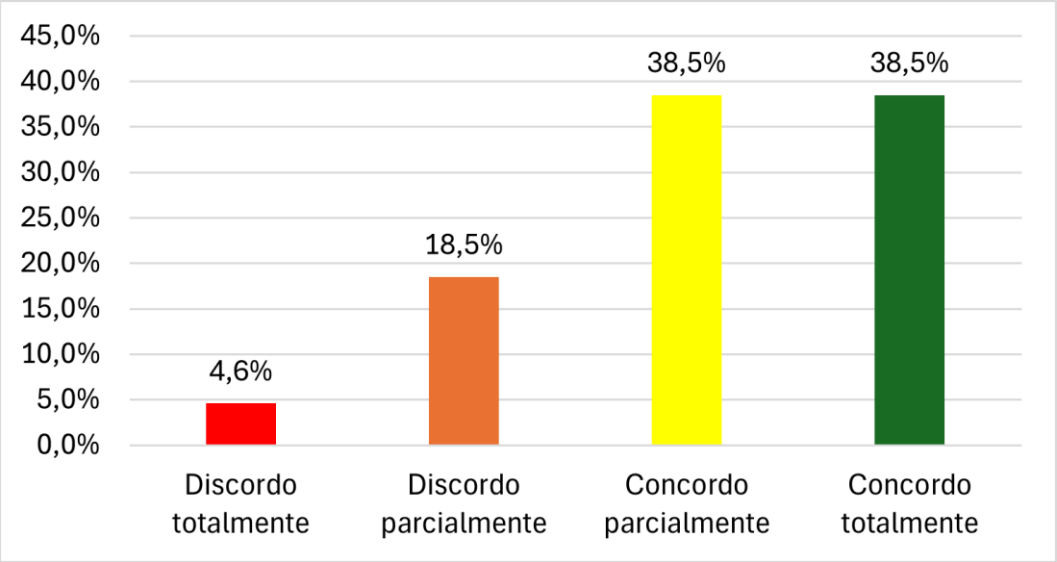
O Gráfico 3 evidencia que 7,7% dos respondentes discordam totalmente, 7,7% discordam parcialmente, 27,7% concordam parcialmente e 56,9% concordam totalmente quanto ao apontamento de que as metas e diretrizes definidas pelos seus líderes demonstram conhecimento técnico sobre o funcionamento da área.

Os dados revelam que maior parte dos respondentes (84,6%) concordam que as metas e diretrizes estabelecidas pelo líder demonstram conhecimento técnico referente ao conhecimento da área. Esse resultado reforça o que Pontes (2024) aponta sobre as competências técnicas estarem relacionadas ao domínio de

conhecimentos e processos necessários para orientar atividades e conduzir práticas organizacionais. Dessa forma, percebe-se que os liderados reconhecem nos líderes a capacidade técnica para definir estratégias. Entretanto, os índices de discordância demonstram que ainda existem lideranças que não conseguem definir metas e diretrizes baseadas no funcionamento da área em que atuam.

O Gráfico 4 apresenta a concepção dos respondentes a respeito da capacidade de seus líderes em identificar falhas técnicas nos processos e propor soluções adequadas.

Gráfico 4 - Meu líder consegue identificar falhas técnicas nos processos e propor soluções adequadas



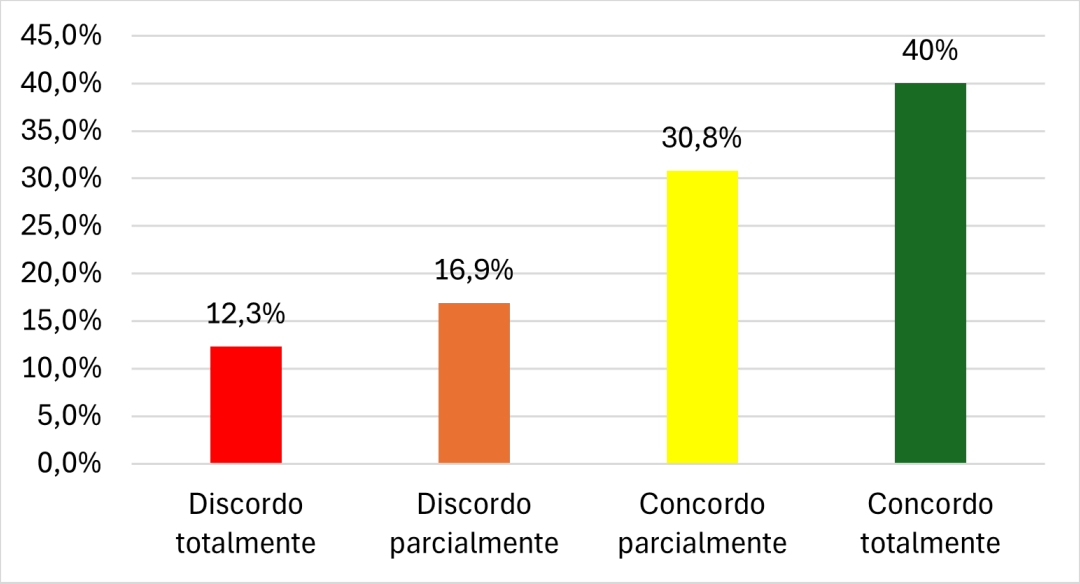
Fonte: elaborado pelo autor (n=65)

O Gráfico 4 demonstra que 4,6% dos respondentes discordam totalmente quanto à capacidade dos seus líderes de identificar falhas técnicas nos processos e propor soluções adequadas, já 18,5% discordam parcialmente, 38,5% concordam parcialmente e 38,5% concordam totalmente.

77% dos respondentes reconhecem a capacidade do líder em identificar falhas técnicas e propor soluções adequadas. Esse dado reforça o que Pontes (2024) destaca sobre as *hard skills* estarem relacionadas ao domínio de conhecimentos, métodos e ferramentas necessários para a resolução de problemas e melhoria de processos organizacionais. Porém, observa-se que 23,1% dos respondentes discordam da afirmação, indicando dificuldade por parte de alguns líderes para aplicação prática do conhecimento técnico em resolução de problemas.

O Gráfico 5 evidencia a opinião dos respondentes sobre a comunicação dos seus líderes.

Gráfico 5 - Meu líder se comunica de forma clara e eficaz com a equipe



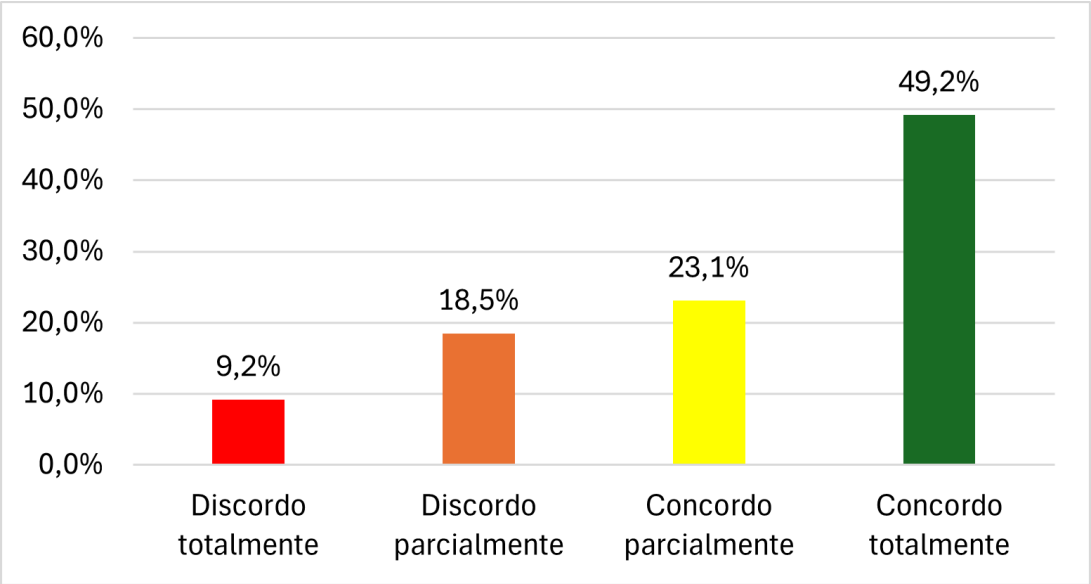
Fonte: elaborado pelo autor (n=65)

O Gráfico 5 mostra que 12,3% dos respondentes discordam totalmente, 16,9% discordam parcialmente, 30,8% concordam parcialmente e 40% concordam totalmente em relação à afirmação de que os seus líderes se comunicam de forma clara e eficaz com a equipe.

A comunicação é uma das principais competências comportamentais da liderança. Considerando este ponto, os dados indicam que, apesar de haver, em grande maioria (70,8%), concordância quanto à comunicação clara e eficaz, ainda existe necessidade de aprimoramento dessa habilidade. Esse dado confirma o que Moraes (2024) aponta sobre a importância das competências comportamentais para o desenvolvimento de relações mais colaborativas e produtivas no ambiente organizacional. Além disso, Eva, Afroze e Sarker (2024) destacam que práticas de liderança baseadas em comunicação clara contribuem para o fortalecimento da confiança e para melhores resultados das equipes. Já os índices de discordância demonstram que falhas na comunicação ainda estão presentes em algumas lideranças, podendo impactar negativamente o clima organizacional e o engajamento dos colaboradores.

O Gráfico 6 evidencia a visão dos respondentes a respeito da empatia e consideração demonstrada pelos seus líderes.

Gráfico 6 - Meu líder demonstra empatia e consideração pelas necessidades e dificuldades dos colaboradores



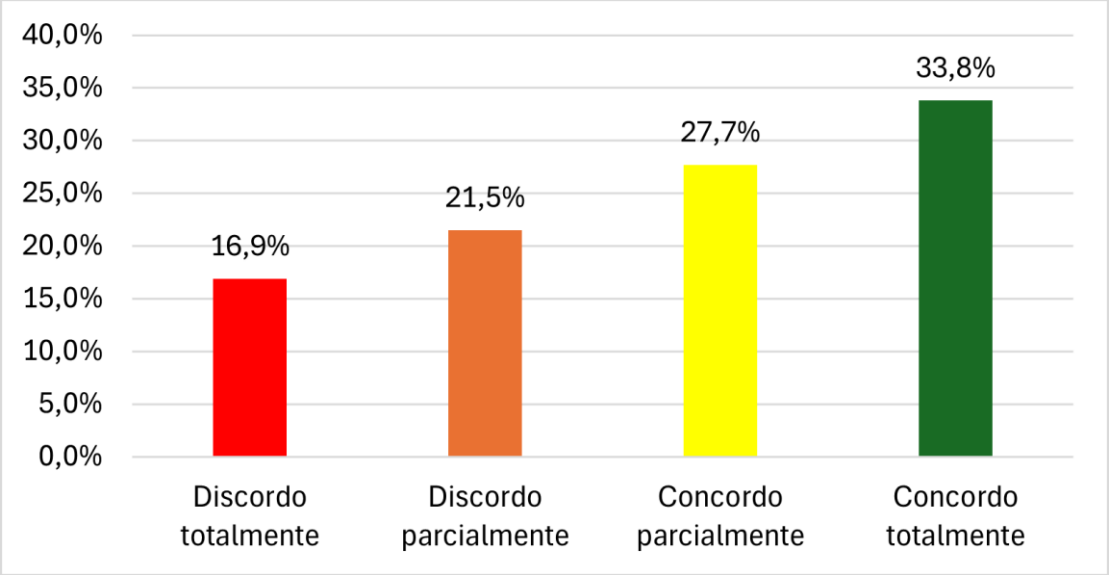
Fonte: elaborado pelo autor (n=65)

O Gráfico 6 apresenta que 9,2% dos respondentes discordam totalmente de que seus líderes demonstram empatia e consideração pelas necessidades e dificuldades dos colaboradores, 18,5% discordam parcialmente, 23,1% concordam parcialmente e 49,2% concordam totalmente.

A partir desses dados, verifica-se que 72,3% dos respondentes concordam que seus líderes demonstram empatia, bem como consideração pelas necessidades e dificuldades dos colaboradores. Esse resultado reforça o que Moraes (2024) destaca sobre a importância das competências comportamentais para o estabelecimento de relações de confiança e interações mais colaborativas no ambiente organizacional. Ademais, Eva, Afroze e Sarker (2024) apontam que práticas de liderança pautadas em relações interpessoais positivas favorecem o desempenho da equipe e a construção de um ambiente de trabalho mais saudável. Já os 27,7% de discordância mostram que parte dos liderados não percebe empatia, além de consideração pelas suas necessidades, o que pode comprometer o vínculo com seu líder e a motivação no trabalho.

O Gráfico 7 apresenta o ponto de vista dos respondentes sobre a maneira na qual os seus líderes lidam com conflitos entre membros da equipe.

Gráfico 7 - Minha líder lida de maneira adequada com conflitos entre os membros da equipe



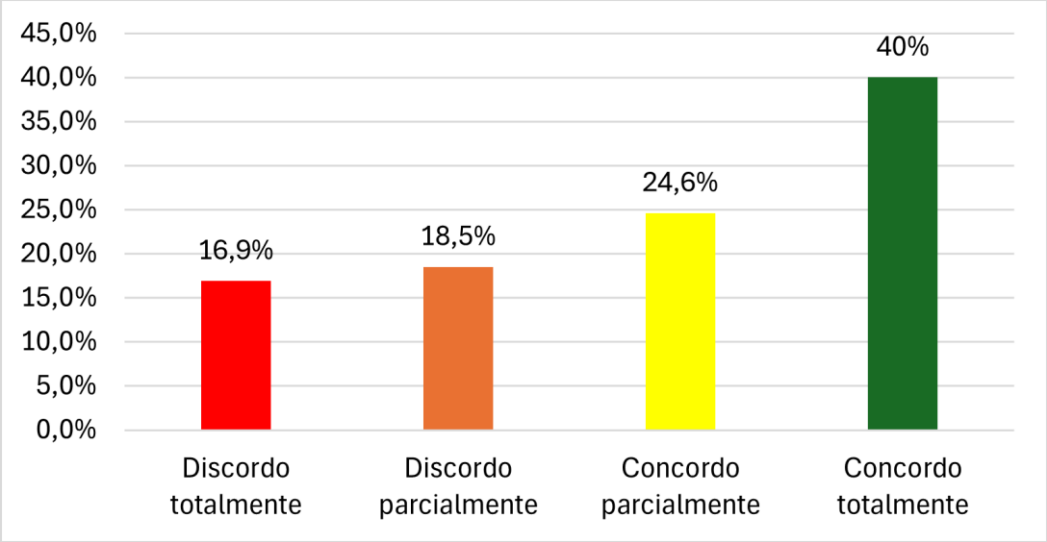
Fonte: elaborado pelo autor (n=65)

O Gráfico 7 ilustra que 16,9% dos respondentes discordam totalmente, 21,5% discordam parcialmente, 27,7% concordam parcialmente e 33,8% concordam totalmente em relação à afirmação de que os seus líderes lidam de maneira adequada com conflitos entre os membros da equipe.

Apesar de 61,5% dos respondentes concordarem que o líder lida adequadamente com conflitos, 38,4% discordam, indicando que a gestão de conflitos ainda representa uma dificuldade para parte das lideranças. Esse resultado reforça o que Oliveira et al. (2025) apontam sobre os impactos negativos que a ausência de habilidades comportamentais pode gerar no ambiente organizacional, como desmotivação, insegurança e dificuldades nas relações interpessoais. Dessa forma, os resultados demonstram que a habilidade de mediação de conflitos ainda necessita de maior desenvolvimento em algumas lideranças, visando a manutenção de um ambiente organizacional mais saudável e produtivo.

O Gráfico 8 apresenta o ponto de vista dos respondentes a respeito dos feedbacks construtivos feitos pelos seus líderes.

Gráfico 8 - Recebo feedbacks construtivos do meu líder que contribuem para meu desenvolvimento profissional



Fonte: elaborado pelo autor (n=65)

O Gráfico 8 mostra que 16,9% dos respondentes discordam totalmente com o apontamento de que recebem feedbacks construtivos, que contribuem para o desenvolvimento profissional, dos seus líderes. Já 18,5% discordam parcialmente, 24,6% concordam parcialmente e 40% concordam totalmente.

Os dados evidenciam que 64,6% dos respondentes concordam que recebem feedbacks que contribuem para seu desenvolvimento, enquanto 35,4% discordam. Esse dado confirma o que Formigari et al. (2025) defendem sobre o feedback construtivo ser uma ferramenta importante para o crescimento profissional dos colaboradores, fortalecimento das relações interpessoais e melhoria do ambiente organizacional. Entretanto, os índices de discordância demonstram que essa prática ainda não ocorre de maneira consistente em todas as lideranças, demonstrando que há necessidade de aprimoramento das competências comportamentais relacionadas à gestão de pessoas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como problema central investigar se há predominância da presença de competências técnicas (*hard skills*) na atuação dos líderes contemporâneos em comparação às competências comportamentais (*soft skills*), sob a visão dos liderados. A partir da análise dos dados coletados, foi possível compreender que, embora as competências técnicas sejam amplamente

reconhecidas pelos respondentes, as competências comportamentais apresentam níveis mais baixos de percepção, indicando que ainda existe desequilíbrio entre essas duas habilidades na prática da liderança.

No que se refere ao objetivo da pesquisa, este consistiu em verificar se há equilíbrio entre competências técnicas e comportamentais na atuação dos líderes atuais, por meio da percepção dos liderados. O objetivo foi alcançado, uma vez que os resultados permitiram identificar que os líderes, em grande parte, demonstram competências técnicas satisfatórias na condução de atividades, definição de metas e tomada de decisões. Já no que se refere às competências comportamentais, os dados evidenciaram que estas não estão totalmente desenvolvidas, revelando um desequilíbrio parcial entre *hard skills* e *soft skills*.

Ademais, os resultados encontrados podem revelar algumas informações sobre as empresas dos respondentes. Do ponto de vista da cultura organizacional, os dados indicam que ambientes que valorizam e reconhecem exclusivamente o desempenho técnico em seus processos de promoção tendem a reproduzir um modelo de liderança desequilibrado. Isso pode impactar não apenas o clima interno, mas também a capacidade das empresas de reter talentos. Do ponto de vista do recrutamento e seleção, os resultados indicam que os critérios de seleção para cargos de liderança também precisam ser revistos, acrescentando testes psicológicos e não apenas provas técnicas, para proporcionar contratação de líderes que tenham as competências técnicas e comportamentais necessárias.

Para que haja maior equilíbrio entre competências técnicas e comportamentais, é necessário que as organizações invistam em programas estruturados de desenvolvimento de lideranças, sejam estes ofertados pelas próprias empresas ou por instituições de ensino, para que possam aprimorar as competências comportamentais dos líderes e proporcionar um equilíbrio entre *soft skills* e *hard skills*. Como uma das formas de medir os resultados dos programas na prática, façam pesquisas de clima organizacional, verificando como está a percepção dos liderados perante seus líderes. Além disso, é importante que as empresas revisem seus critérios de promoção, considerando não apenas o desempenho técnico, mas também a capacidade de gestão de pessoas.

No que se refere às limitações do presente estudo, destaca-se a ausência de recorte por setor de atuação dos respondentes. A não consideração dessa variável limita a capacidade de análise dos resultados e aponta para a necessidade de estudos

futuros com amostras mais categorizadas. Por fim, como sugestão para pesquisas futuras, recomenda-se a realização de estudos qualitativos, com a realização de entrevistas junto à líderes e liderados, verificando também os setores em que atuam para compreender de maneira mais detalhada como essas competências se manifestam na prática nas empresas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHARAN, Ram; DROTTER, Stephen; NOEL, James. *Pipeline de liderança: o desenvolvimento de líderes como diferencial competitivo*. Rio de Janeiro: Sextante, 2018.

EVA, Tamanna Parvin; AFROZE, Rumana; SARKER, Md Atiqur Rahman. The impact of leadership, communication, and teamwork practices on employee trust in the workplace. *Management dynamics in the knowledge economy*, v. 12, n. 3, p. 241-261, 2024. Disponível em: https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=1267438. Acesso em: 04 fev. 2026.

FORMIGARI, Viviane et al. Prática de liderança e feedback construtivo. *Revista Cadernos Zygmunt Bauman*, v. 15, n. 39, p. 119-142, 2025. Disponível em: https://seer.ufrgs.br/bauman/article/view/151869. Acesso em: 04 fev. 2026.

GRENDA, Dennis. Technological knowledge, soft skills and management & leadership skills: three pillars for the digitally competent manager. *Journal of Business Economics*, p. 1-24, 2026. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s11573-025-01250-x. Acesso em: 04 fev. 2026.

MORAES, Erika Dayane Silva de. *Soft skills: a importância das habilidades comportamentais e socioemocionais para liderança nas organizações*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração) – Faculdade de Engenharia, Letras e Ciências Sociais do Seridó, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Currais Novos, 2024. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/items/d3198be8-9fad-4bad-b51a-fb4ff2c547d2. Acesso em: 04 fev. 2026.

MORAIS, Kathleen Michelle Ribeiro de; SOUSA, Quemili de Cássia Dias de. O impacto da liderança no desempenho da equipe: uma análise no contexto organizacional. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação – REASE*, v. 11, n. 11, p. 8100–8105, 2025. Disponível em: https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/21521. Acesso em: 03 fev. 2026.

NORTHOUSE, Peter G. *Leadership: Theory and Practice*. 6. ed. Thousand Oaks: Sage, 2013.

OLIVEIRA, Ana Beatriz Isiso de et al. *O impacto da liderança no clima organizacional*. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Recursos

Humanos) – Escola Técnica Dr. Luiz César Couto, Quatá, 2025. Disponível em: https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/40282. Acesso em: 09 mai. 2026.

PONTES, Maxela Martins. *As principais hard skills de um desenvolvedor para web atual: um estudo empírico*. 2024. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Computação) – Campus de Sobral, Universidade Federal do Ceará, Sobral, 2024. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/78454. Acesso em: 04 fev. 2026.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. *Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico*. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

VELTRONE, Milene Alves de Oliveira; SANTOS, Sandyslaiza dos; OLIVEIRA, Mara Janaina Gomes de. HARD SKILL E SOFT SKILLS: uma análise sobre competências e habilidades de gestores de projetos. *Revista Interface Tecnológica*, Taquaritinga, SP, v. 21, n. 2, p. 450–461, 2025. DOI: https://doi.org/10.31510/infa.v21i2.2086. Disponível em: https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/2086. Acesso em: 04 fev. 2026.

YUKL, Gary. *Leadership in Organizations*. 8. ed. Boston: Pearson, 2013.

REGENERAÇÃO TERMOQUÍMICA DA PASTA DE CIMENTO HIDRATADA: MONITORAMENTO IN SITU SOB RADIAÇÃO SÍNCROTRON
THERMOCHEMICAL REGENERATION OF HYDRATED CEMENT PASTES: IN SITU MONITORING UNDER SYNCHROTRON RADIATION

Cleusa Maria Rossetto[1]
Geraldo de Lima Carezzato[2]
Thiago Fernando dos Santos[3]
Luis Gallego Martinez[4]
Xabier Turrillas[5]

RESUMO: A reciclagem de resíduos finos de cimento hidratado representa uma alternativa promissora para reduzir o impacto ambiental da produção de cimento Portland e ampliar estratégias de economia circular na construção civil. O objetivo deste estudo foi investigar as transformações mineralógicas e termodinâmicas da pasta de cimento hidratada quando submetida a tratamentos térmicos, utilizando difração de raios X síncrotron em condições estáticas (ex situ, ESRF) e dinâmicas (in situ, SIRIUS). As amostras foram analisadas por refinamento multifásico de Rietveld, associado a rotinas computacionais de pré-processamento desenvolvidas em Python para tratamento de ruídos experimentais. A resolução instrumental da linha Paineira (SIRIUS) foi previamente calibrada pelo modelo pseudo-Voigt TCHZ. Os resultados mostraram que o monitoramento in situ permitiu identificar com precisão a sequência de transformações térmicas da pasta cimentícia. Observou-se o colapso inicial da etringita em baixas temperaturas, seguido por uma etapa simultânea de desidroxilação da portlandita e carbonatação transitória entre 420 °C e 560 °C. Acima de 650 °C, ocorreu intensa decomposição da calcita e formação de cal livre, favorecendo a recombinação com sílica amorfa e a regeneração de belita (C2S). As análises ex situ apresentaram diferenças significativas devido a reações retrógradas de reidratação e recarbonatação durante o resfriamento. Conclui-se que a difração síncrotron *in situ* é indispensável para a determinação precisa dos limites cinéticos das transformações térmicas, além de fornecer um referencial cristalográfico para a otimização de protocolos industriais de aquecimento, demonstrando a viabilidade termoquímica do reaproveitamento de pastas de cimento hidratadas na produção de fases cimentícias sustentáveis e reativas.
Palavras-chave: Belita; Difração de raios X; Calcinação; Economia circular; Reciclagem de resíduos; Refinamento de Rietveld.

ABSTRACT: The recycling of fine hydrated cement waste represents a promising alternative for reducing the environmental impact of Portland cement production and expanding circular economy strategies in the construction sector. This study aimed to investigate the mineralogical and thermodynamic transformations of hydrated cement

Professora Mestre e Arquiteta da Coordenadoria de Edifícios - Fatec São Paulo - E-mail: cleusa.rossetto@cps.sp.gov.br 1
Doutorando pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CristalMat - E-mail: gecarezzato@gmail.com 2
Doutorando pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CristalMat - E-mail: thiagofsantos@usp.br 3
Professor Doutor - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CristalMat - E-mail: lgallego@ipen.br 4
Professor Doutor - Institut de Ciència de Materials de Barcelona - ICMAB/ CSIC - E-mail: turrillas@gmail.com 5

paste subjected to thermal treatment using synchrotron X-ray diffraction under static (ex situ, ESRF) and dynamic (in situ, SIRIUS) conditions. The samples were analyzed by multiphase Rietveld refinement associated with Python-based preprocessing routines developed for experimental noise treatment. The instrumental resolution of the Paineira beamline (SIRIUS) was previously calibrated using the TCHZ pseudo-Voigt model. The results demonstrated that in situ monitoring enabled the precise identification of the thermal transformation sequence of the cementitious paste. An initial collapse of ettringite was observed at low temperatures, followed by a simultaneous stage of portlandite dehydroxylation and transient carbonation between 420 °C and 560 °C. Above 650 °C, intense calcite decomposition and free lime formation promoted recombination with amorphous silica and the regeneration of belite (C2S). Ex situ analyses showed significant differences due to retrograde rehydration and recarbonation reactions during cooling. It is concluded that in situ synchrotron diffraction is indispensable for the accurate determination of the kinetic limits of thermal transformations, while also providing a crystallographic framework for optimizing industrial heating protocols and demonstrating the thermochemical feasibility of reusing hydrated cement pastes in the production of sustainable and reactive cementitious phases.
Keywords: Belite; Calcination; X-ray diffraction; Circular economy; Rietveld refinement; Waste recycling.

1 INTRODUÇÃO

A produção global de cimento Portland é um processo de alta demanda energética, responsável por uma fração significativa das emissões antropogênicas mundiais de dióxido de carbono e pelo esgotamento contínuo de recursos naturais. Para mitigar esses impactos ambientais e promover a transição do setor da construção civil para uma economia circular, a reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) emergiu como um imperativo crítico. Embora os agregados reciclados graúdos sejam comumente reaproveitados, as frações mais finas – constituídas principalmente pela pasta de cimento hidratada e endurecida – são difíceis de revalorizar e frequentemente destinadas a aterros sanitários.

Para efetivamente reaproveitar esses resíduos finos, transformando-os em materiais cimentícios suplementares viáveis, o material deve ser submetido a um tratamento térmico direcionado. O aquecimento induz a desidratação e a desidroxilação progressivas dos principais produtos de hidratação, como o silicato de cálcio hidratado (C-S-H) e a portlandita, reativando as propriedades aglomerantes latentes do material. No entanto, o estudo das transformações físico-químicas em resíduos reais é dificultado pela extrema heterogeneidade e contaminação por agregados inertes. Assim, a utilização de um modelo sintético de pasta pura é

essencial para isolar as transições estruturais inerentes exclusivamente à matriz cimentícia.

Caracterizar essa evolução multifásica sob altas temperaturas exige técnicas analíticas com excepcional intensidade e resolução, frequentemente além das capacidades da difração de raios X (DRX) laboratorial padrão.

Neste contexto, o presente artigo estabelece objetivos múltiplos e sequenciais. O primeiro objetivo consiste em determinar a resolução instrumental da recém-inaugurada estação Paineira da Fonte de Luz Síncrotron Brasileira (SIRIUS). O segundo objetivo é demonstrar a complementaridade entre os métodos de difração de raios X síncrotron estática (*ex situ*) e dinâmica (*in situ*), utilizando-os para compreender os complexos mecanismos físico-químicos e cinéticos envolvidos no tratamento térmico da pasta de cimento. Por fim, o estudo visa avaliar rigorosamente a composição cristalográfica do material após o resfriamento e a subsequente exposição à atmosfera aberta, elucidando as reações de carbonatação e reidratação que impactam diretamente a sua reatividade para futuras aplicações de reciclagem.

2 METODOLOGIA

2.1 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA E TRATAMENTO TÉRMICO

2.1.1 Preparação do material particulado de reciclagem

Uma pasta de cimento CPV-ARI (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial), a/c = 0,5 (água/cimento), foi homogeneizada em um misturador de argamassa e moldados corpos de prova cilíndricos (37,5 mm de diâmetro 75 mm de altura), levemente compactados por vibração manual para garantir a compactação ideal e a liberação do ar aprisionado. Os corpos de prova foram cobertos por placa de vidro na parte superior, e mantidos em repouso por 48 horas antes da desmoldagem. Para assegurar a hidratação completa, os cilindros foram subsequentemente submetidos à cura submersa em água saturada com cal durante três meses, à temperatura ambiente. Após o período de cura os corpos de prova foram secos ao ar por 24 horas e fragmentados mecanicamente.

Para as avaliações estruturais estáticas (*ex situ*) as amostras fragmentadas foram submetidas à calcinação controlada em um forno mufla. O protocolo de

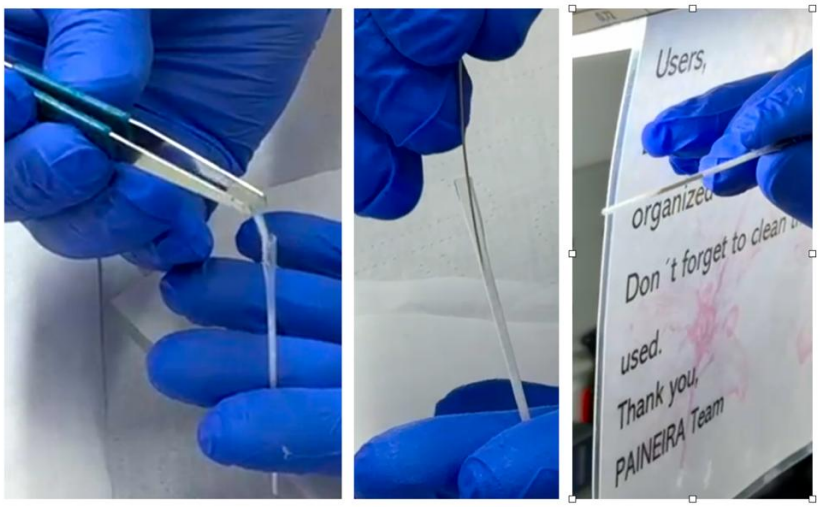
aquecimento aplicou uma taxa de 10 °C/min até isotermas alvo de 300, 400, 500, 700, 800, 900 e 1200 °C, mantidas por um período de 4 horas para cada temperatura. Para evitar alterações estruturais ou microfissuração induzida por choque térmico, permitiu-se que as amostras resfriassem lentamente até a temperatura ambiente dentro do forno fechado ao longo de 24 horas.

Tanto os fragmentos endurecidos (não calcinados) quanto os calcinados foram submetidos a um rigoroso processo de cominuição em três etapas, utilizando um martelo de aço, um gral de cerâmica com pistilo e, finalmente, um gral de ágata com pistilo. Os pós resultantes foram peneirados e as frações passantes nas peneiras ABNT #200 (75 µm) e #325 (45 µm) foram separadas. A fração mais fina (< 45 µm) foi isolada para os ensaios de difração de raios X (DRX). Todas as amostras em pó foram hermeticamente seladas em frascos de plástico imediatamente após a preparação para evitar a carbonatação atmosférica e a absorção de umidade.

2.1.2 Preparação das amostras para DRX dinâmico - Estação Paineira / Sirius

As amostras foram cominuídas e peneiradas para a fração granulométrica ≤ 45 µm, a fim de minimizar efeitos de microabsorção e melhorar a estatística de orientação cristalográfica e, na sequência, inseridas no centro de tubos conforme:1- Capilares de quartzo de diâmetro interno ≈ 1,57 mm para experimentos em alta temperatura; 2- Tubos de Kapton (poliimida) de diâmetro interno equivalente quando aplicável.

Figura 1 – Preparo dos porta-amostras – inserção de lã de quartzo e amostra em tubo capilar de quartzo



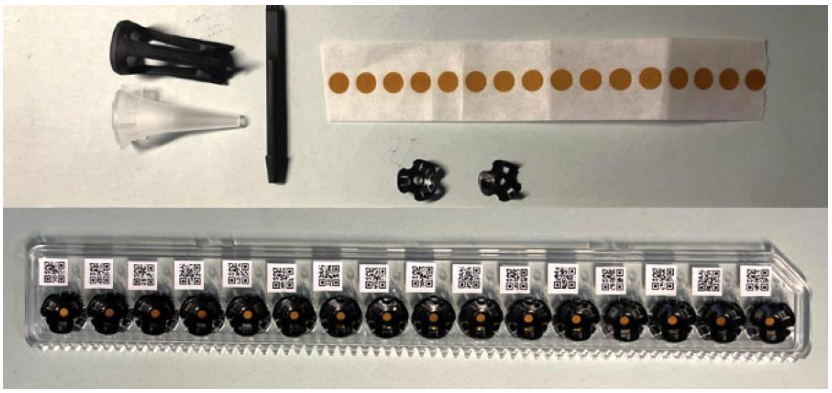
Fonte: Turrillas, X. (2025).

O empacotamento foi realizado de forma homogênea, com fixação das extremidades por lã de quartzo, assegurando estabilidade mecânica e posicionamento reprodutível na região do feixe.

2.1.3 Preparação das amostras para DRX estático - Sícrotron do ESRF/Grenoble

As amostras em pó foram acondicionadas em fendas cilíndricas (aproximadamente 1 mm de espessura) e fixadas entre janelas de poliimida Kapton em um porta-amostras de alto rendimento (ensaio automatizado).

Figura 2 – Porta-amostras em formato de régua e acessórios para acondicionamento, vedação e identificação das amostras por código de barras para execução dos experimentos de forma automatizada



Fonte: Turrillas, X. (2025).

2.2 DIFRAÇÃO DE RAIOS X SÍNCROTRON ESTÁTICA DE ALTA RESOLUÇÃO (ESRF)

As medições estáticas de difração de raios X síncrotron de alta resolução foram realizadas na linha de luz ID31 do Laboratório Europeu de Radiação Síncrotron (ESRF-Grenoble). Os dados foram coletados em geometria de transmissão utilizando um feixe incidente de raios X de alta energia de 75 keV (λ = 0,1653 Å). As intensidades difratadas foram registradas utilizando um detector de área Pilatus CdTe 2M (1679 por 475 pixels, com tamanho de pixel de 172 por 172 μm²) posicionado a uma distância amostra-detector de aproximadamente 1,5 m, com o feixe incidente alinhado próximo ao canto da matriz do detector.

A calibração da geometria instrumental foi realizada utilizando um padrão NIST SRM 660b (LaB_6). As imagens de difração 2D foram integradas em perfis 1D utilizando

a biblioteca de software *pyFAI*, que aplicou correções de campo plano (*flat-field*), geometria, ângulo sólido e polarização. Durante a integração, os pixels inválidos do detector foram mascarados, e um algoritmo de clivagem estatística (*sigma-clipping*) foi implementado para remover automaticamente discrepantes (*outliers*) azimutais. Para realizar uma subtração precisa do ruído de fundo (*background*), múltiplas medições de um poço de amostra vazio com janelas de Kapton foram somadas para melhorar a estatística de contagem, escalonadas em relação às respectivas medições das amostras e, por fim, subtraídas. A contribuição do perfil instrumental e os erros de deslocamento (*offset*), incluindo paralaxe, foram determinados por meio do refinamento de Rietveld no programa TOPAS v.8, fixando os parâmetros de rede ao padrão de referência.

2.3 DIFRAÇÃO DE RAIOS X SÍNCROTRON DINÂMICA IN SITU (SIRIUS)

Medições dinâmicas de difração térmica *in situ,* até 850 ºC*,* foram conduzidas de forma contínua, em geometria de transmissão (modo Debye–Scherrer), na Estação Paineira da Fonte de Luz Síncrotron Brasileira (SIRIUS, CNPEM/LNLS). As amostras em pó foram acondicionadas em capilares de quartzo com diâmetro interno de 1,57 mm. O aquecimento contínuo e controlado foi obtido utilizando um soprador de ar quente de alta temperatura, aplicando uma taxa de aquecimento linear de 2 °C/min.

A configuração de aquisição foi baseada em varredura rápida e detecção de alta velocidade, possibilitando o monitoramento contínuo da amostra por meio da coleta de 325 difratogramas consecutivos, com exposição de 60,4 segundos por medida. As intensidades difratadas foram capturadas utilizando um detector bidimensional Pimega 450D configurado para resolução instrumental média (FWHM de 0,11 °2Θ). O comprimento de onda exato dos raios X incidentes foi calibrado em 0,485799(4) Å utilizando um material de referência padrão de alumina (NIST SRM 676a).

Cabe observar que: 1 - A energia selecionada considerou o compromisso entre penetração, intensidade e redução de efeitos de absorção para materiais cimentícios. 2- As imagens 2D foram convertidas em difratogramas 1D (intensidade versus 2θ) por integração azimutal automática utilizando o software pyFAI (Python**)**, incluindo calibração geométrica, correções instrumentais e mascaramento quando necessário. Tal software é crucial para analisar rapidamente amostras policristalinas durante os

experimentos de transmissão (Debye-Scherrer). 3- Este fluxo de aquisição e redução de dados permitiu o acompanhamento quase em tempo real das transformações de fase durante os experimentos *in situ*.

2.4 TRATAMENTO DOS DADOS E ALGORÍTMO DE FILTRAGEM DE RUÍDOS (*GLITCHES/SPIKES*)

A análise de perfil e os refinamentos multifásicos de Rietveld (Rietveld, 1969) para todos os padrões coletados foram executados utilizando o programa TOPAS Academic v.8 (Coelho, 2018). Antes do refinamento, os dados brutos de síncrotron exigiram um extenso condicionamento para resolver instabilidades computacionais causadas por superamostragem e anomalias de intensidade não físicas. Rotinas personalizadas de pré-processamento foram desenvolvidas em Python 3 para condicionar as matrizes experimentais.

Também foram utilizados: o Software X´Pert HighScore Plus, o banco de dados da International Center for Diffraction Data (ICCD), o Crystallography Open Database (COD), além das descrições das fases cristalinas conforme Rossetto, C.M., *et al*. (2022).

Para eliminar seletivamente os picos de intensidade espúrios, sem atenuar nem distorcer os picos de Bragg associados às fases altamente cristalinas, o script em Python implementou um filtro de Hampel adaptado a distribuições de contagem do tipo Poisson (Hampel, 1974; Pearson, 2002). Ao contrário dos filtros de suavização linear padrão, que inevitavelmente alargam os picos de difração, o filtro de Hampel avalia uma janela móvel localizada (7 pontos de dados) e calcula a mediana local. Um ponto de dados é sinalizado como um artefato espúrio se seu desvio absoluto em relação à mediana exceder um limiar dinâmico de 5 σ. Como os eventos de contagem de raios X seguem a estatística de Poisson, a variância natural esperada σ foi aproximada diretamente pela raiz quadrada da intensidade da mediana local.

Para contabilizar o compartilhamento de carga entre pixels adjacentes do detector, uma heurística espacial de "zona de exclusão" (*kill-zone*) foi incorporada ao identificar um pico espúrio primário. O algoritmo substituiu simultaneamente o pixel anômalo central e seus vizinhos adjacentes imediatos pela intensidade da mediana local. Após a remoção dos artifícios, os scripts restringiram o domínio angular ao intervalo de 2,0–40,0° (2θ) e realizaram o reagrupamento (*rebinning*) dos dados para

um passo angular uniforme de 0,01° (2θ), seguido do escalonamento das intensidades por um fator de 10^{-5}. Para preservar a exata ponderação física para a minimização dos mínimos quadrados no TOPAS, os verdadeiros erros de Poisson foram calculados a partir das contagens brutas não escalonadas, e os dados totalmente condicionados foram exportados em um formato estrito de 3 colunas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A produção global de cimento Portland constitui um processo industrial de elevada intensidade energética, sendo responsável por uma fração significativa das emissões antropogênicas de dióxido de carbono (CO_2), além de contribuir para o esgotamento contínuo de recursos naturais, especialmente agregados minerais (Jing *et al.*, 2026; Prajapati & Joseph, 2026). Estima-se que o cimento seja o principal responsável pelo consumo energético no concreto, com a produção de clínquer respondendo por cerca de 90% dessas emissões, metade delas associadas à descarbonatação do carbonato de cálcio (IEA, 2009; Baldusco *et al.*, 2019; IPCC, 2014). Paralelamente, a crescente urbanização e a substituição acelerada de infraestruturas civis envelhecidas têm gerado volumes expressivos de resíduos de construção e demolição (RCD), que representam entre 30% e 40% dos resíduos sólidos totais (Ruoyu *et al.*, 2019; Ohemeng & Ekolu, 2020).

Nesse contexto, a reciclagem de resíduos de concreto Portland emerge como uma estratégia fundamental para mitigar impactos ambientais e promover a transição do setor da construção civil para uma economia circular. Após processos de britagem, peneiramento e descontaminação, os agregados reciclados graúdos e miúdos podem ser reaproveitados em novas misturas. Contudo, as frações mais finas – compostas predominantemente por pasta de cimento hidratada e endurecida – permanecem como um desafio tecnológico relevante. Esses finos, frequentemente inferiores a 0,15 mm e representando cerca de 10–20% do material processado, são de difícil revalorização e, em muitos casos, destinados a aterros ou aplicações de baixo valor agregado (Pereira *et al.*, 2025).

Apesar disso, há crescente interesse científico no aproveitamento desses resíduos finos como materiais cimentícios suplementares (MCS) ou como base para o desenvolvimento de ligantes alternativos. Estudos indicam que a substituição parcial do cimento Portland por resíduos de construção pode reduzir significativamente as

emissões de CO_2 sem comprometer a durabilidade dos materiais, sendo a viabilidade ambiental frequentemente proporcional à taxa de substituição adotada (Moreno-Juez *et al*., 2021). Além disso, alternativas como concretos geopoliméricos, baseados em resíduos ricos em sílica e alumínio, reforçam o potencial dessa abordagem (Azad & Samarakoon, 2021).

O reaproveitamento (*upcycling*) dos finos hidratados depende da recuperação de sua reatividade cimentícia. Três principais rotas têm sido propostas: ativação mecânica, ativação térmica e ativação alcalina. A ativação mecânica, por meio de moagem intensiva, pode expor partículas não totalmente hidratadas, promovendo nova reatividade. A ativação alcalina, mediante soluções como hidróxido ou silicato de sódio, favorece reações pozolânicas e a formação de novos produtos cimentícios com desempenho comparável ao cimento Portland convencional (Robayo-Salazar *et al*., 2020). Entretanto, a ativação térmica tem se destacado como uma das abordagens mais promissoras.

O tratamento térmico da pasta de cimento hidratada promove a desidratação e desidroxilação progressivas dos principais produtos de hidratação, particularmente o silicato de cálcio hidratado (C-S-H) e a portlandita (CH), podendo restaurar propriedades aglomerantes latentes do material (Ohemeng & Ekolu, 2020; Zanovello *et al*., 2024). Estudos indicam que temperaturas na faixa de 600 a 800 °C são adequadas para a reativação, embora resultados variem em função da composição, idade e grau de hidratação da pasta (Shui & Xuan, 2007, 2008; Wang *et al*., 2018). Em contrapartida, temperaturas mais elevadas podem induzir reorganizações estruturais irreversíveis e redução da reatividade (Jing *et al*., 2026). Consequentemente, a compreensão detalhada dos mecanismos de decomposição térmica e transformação de fases é essencial para otimizar os protocolos de aquecimento e maximizar o desempenho dos materiais reciclados (Pereira *et al*., 2025; Zanovello *et al*., 2024).

Entretanto, a investigação desses fenômenos em resíduos reais de demolição é dificultada pela elevada heterogeneidade do material, frequentemente contaminado por agregados inertes (quartzo, feldspatos), clínquer não reagido e impurezas ambientais (Prajapati & Joseph, 2026). Para superar essa limitação e avaliar de forma mais precisa a viabilidade da reativação térmica, este estudo adota um modelo simplificado de cimento Portland hidratado. Ao isolar uma pasta hidratada pura,

elimina-se a interferência de fases externas, permitindo que as transformações estruturais e mineralógicas sejam atribuídas exclusivamente à matriz cimentícia.

Acompanhar como as diferentes fases do material se transformam durante o aquecimento exige técnicas analíticas capazes de detectar mudanças rápidas e detalhadas ao longo do tempo. A difração de raios X (DRX) convencional apresenta limitações quanto à resolução temporal e à relação sinal-ruído, dificultando o acompanhamento de transformações de fase em tempo real e a aplicação de refinamentos complexos de Rietveld. Consequentemente, a maioria dos estudos reportados na literatura baseia-se em medições estáticas e sistemas simplificados. No entanto, para compreender plenamente os mecanismos de transformação cristalina, é fundamental incorporar experimentos dinâmicos em tempo real.

Dessa forma, o presente estudo emprega difração de raios X com radiação síncrotron explorando duas abordagens complementares: medições dinâmicas *in situ*, realizadas durante rampas térmicas contínuas para monitoramento da cinética das transformações e medições estáticas *ex situ*, após tratamentos térmicos prévios. O elevado fluxo de fótons e a alta resolução instrumental das fontes síncrotron permitem refinamentos multifásicos de Rietveld com elevado rigor estatístico, possibilitando a construção de um mapeamento cristalográfico detalhado do processo de reativação térmica.

Nesse contexto, este trabalho contribui para o avanço do conhecimento sobre a reciclagem de finos de cimento hidratado, fornecendo fundamentos científicos para o desenvolvimento de materiais aglomerantes mais sustentáveis. Além de reduzir o descarte de resíduos cimentícios, tal abordagem pode minimizar a extração de matérias-primas virgens e mitigar as emissões de CO_2 associadas à produção convencional de cimento, alinhando-se às demandas contemporâneas por sustentabilidade e inovação na construção civil.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CALIBRAÇÃO DA RESOLUÇÃO INSTRUMENTAL

Na difração de raios X de pó, o perfil de pico observado é uma convolução do alargamento instrumental e do alargamento intrínseco da amostra (tipicamente resultante do tamanho do cristalito e da microdeformação). Para extrair com precisão

as informações microestruturais das amostras de cimento Portland hidratadas, tratadas termicamente, a contribuição instrumental deve primeiro ser quantificada e matematicamente isolada. Isso foi alcançado por meio da medição de um material de referência padrão altamente cristalino, o padrão NIST de alumina (Al_2O_3), que exibe um alargamento de tamanho-deformação insignificante. As larguras de pico resultantes ao longo de todo o difratograma definem a curva de resolução instrumental do difratômetro. Ver Figura 3.

Para modelar a resolução instrumental da Estação Paineira no síncrotron SIRIUS, empregou-se a função de perfil de pico pseudo-Voigt de Thompson-Cox-Hastings (TCHZ) (Thompson *et al.*, 1987). A função pseudo-Voigt atua como uma aproximação altamente eficaz e computacionalmente eficiente da função Voigt verdadeira, sendo construída pela combinação linear de distribuições gaussianas e lorentzianas. A largura total à meia altura (FWHM, do inglês Full-Width at Half Maximum) do componente gaussiano, HG, varia com o ângulo de espalhamento θ de acordo com a fórmula clássica de (Cagliotti *et al.*, 1958) estendida por um termo Z para contabilizar a divergência axial:

$$H_G = \sqrt{U\,tan^2\Theta + V tan\Theta + W + \frac{Z}{cos^2\,\Theta}} \quad (1)$$

De forma análoga, o FWHM do componente lorentziano, HL, é definido como:

$$H_L = X\,tan\Theta + \frac{Y}{cos\Theta} \quad (2)$$

Para obter o FWHM efetivo total (Htot) em graus 2θ do perfil pseudo-Voigt, os componentes gaussiano e lorentziano são combinados utilizando a aproximação polinomial de quinta ordem derivada por Thompson, Cox e Hastings:

$$Htot = (H_G^5 + 2{,}69269H_G^4H_L + 2{,}42843H_G^3.H_L^2 + 4{,}47163H_G^2H_L^3 + 0{,}07842H_GH_L^4 + H_L^5)^{1/5} \ldots (3)$$

O refinamento de Rietveld do padrão NIST Al_2O_3 foi realizado utilizando o software TOPAS v.8 (Coelho, 2018). O ajuste demonstrou excelente concordância com os dados experimentais (Rwp = 5,70%). O comprimento de onda dos raios X síncrotron incidentes foi refinado para λ = 0,485807 Å. O alargamento instrumental

(0,11 º2Θ) foi integralmente descrito pelos parâmetros TCHZ, que convergiram para os valores apresentados na Tabela 1.

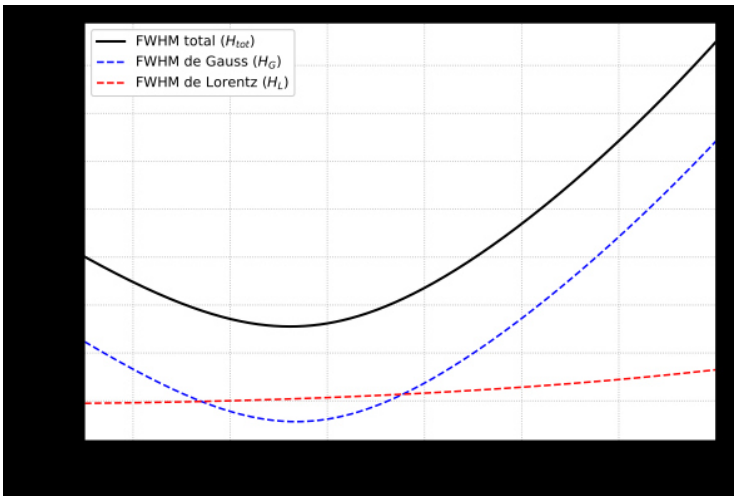
Tabela 1: Parâmetros do modelo TCHZ (ajuste do formato e alargamento dos picos de difração) refinados para a calibração instrumental da linha Paineira (SIRIUS)

Termo Gausiano	Valor	Termo Lorentziano	Valor
U	0,22432	X	0,00207
V	-0,08953	Y	0,07356
W	0,05098		
Z	-0,03621		

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Utilizando esses parâmetros refinados, a curva teórica de resolução instrumental (Htot) foi computada como uma função do ângulo de espalhamento 2θ (Figura 3).

Figura 3 – Curva de resolução instrumental (Htot) para a linha de luz Paineira do SIRIUS, plotada juntamente com seus componentes gaussiano (HG) e lorentziano (HL) desacoplados. A curva foi derivada do refinamento de Rietveld do padrão NIST Al2O3 (λ = 0, 485807 Å)



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A curva resultante demonstra a excepcional resolução intrínseca da linha de luz síncrotron. Observa-se que o FWHM $_{total}$ é fortemente dominado pela contribuição lorentziana (Y/cos θ) em baixos ângulos, enquanto a contribuição gaussiana (U $\tan^2$ θ) torna-se progressivamente mais proeminente em ângulos de espalhamento mais elevados. O estabelecimento rigoroso dessa linha de base garantiu que os alargamentos de pico observados nas amostras de cimento pudessem ser

inequivocamente atribuídos a efeitos microestruturais (tamanho de cristalito), sem artifícios de medição.

Para uma análise comparativa das quantificações de fases cristalinas (% em massa) obtidas em diferentes condições de tratamento térmico foram feitas medições: estática (amostra aquecida e esfriada lentamente) no ESRF e dinâmicas *in situ* no SIRIUS (amostra durante a rampa de aquecimento). Os resultados encontram-se na Tabela 2. As expressivas divergências nas concentrações de cal (CaO), calcita e portlandita em altas temperaturas evidenciam a ocorrência de reações retrógradas de reidratação e carbonatação nas amostras estáticas durante a fase de resfriamento.

Tabela 2 – Comparação das frações em massa (%) das principais fases cristalinas da pasta de cimento obtidas via difração de raios X síncrotron estática (E) (*ex situ*, ESRF) e dinâmica (D) (*in situ*, SIRIUS) em diferentes temperaturas de tratamento térmico

	A(X)	G(Y)	B(Y)	H(Y)	C(Y)	I(Y)	D(Y)	J(Y)	F(Y)	K(Y)	E(Y)
Item	Temp. (ºC)	Belita		CaO		Calcita		Portlandita		Etringita	
		(E)	(D)	(E)	(D)	(E)	(D)	(E)	(D)	(E)	(D)
1	22	6,9	4,8	0	0	41,3	58,4	21,5	15,1	8,1	10,2
2	300	12,5	5,6	0	0	37,4	59,6	27,1	18,1	0	0
3	500	12,6	6,5	0	0	37,0	57,4	27,3	8,6	0	0
4	700	41,4	31,6	0	0	31,2	54,2	6,8	0	0	0
5	800	70,2	69,0	0	9,8	1,42	10,0	17,4	0	0	0
6	900	64,2	nd	0	nd	17,2	nd	2,8	nd	nd	nd
7	1200	70,2	nd	0	nd	1,42	nd	17,4	nd	nd	nd

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

4.2 ESTÁGIOS INICIAIS DO AQUECIMENTO: O COLAPSO TÉRMICO DA ETRINGITA

Embora as dinâmicas de fases em altas temperaturas ditem a composição final do material reciclado, é fundamental observar o comportamento térmico das fases altamente hidratadas nas etapas iniciais do aquecimento. Os dados dinâmicos *in situ* demonstram que a etringita (presente em concentrações de aproximadamente 10% em massa à temperatura ambiente) sofre uma rápida e completa degradação estrutural, desaparecendo do difratograma logo nas primeiras fases da rampa térmica. Esta instabilidade precoce é governada pela perda massiva e sequencial de suas moléculas de água estruturais e ligadas. Tal comportamento de amorfização e decomposição térmica está em estrita concordância com as observações clássicas estabelecidas por (Hall *et al*., 1996) que detalharam os mecanismos de colapso da rede cristalina da etringita submetida ao aquecimento contínuo.

4.3 DISCREPÂNCIAS METODOLÓGICAS: AMBIENTES ESTÁTICOS VS. DINÂMICOS

Uma análise comparativa das quantificações de fases obtidas via difração de raios X síncrotron estática (*ex situ* no ESRF) e dinâmica (*in situ* no SIRIUS) revela acentuadas discrepâncias metodológicas, particularmente em relação à prevalência de portlandita, calcita e cal em temperaturas elevadas.

Nas medições dinâmicas, o verdadeiro estado físico em alta temperatura é preservado: a portlandita é totalmente exaurida em 550 °C, e a calcita se decompõe efetivamente aos 850 °C, produzindo cal cristalina (CaO). Por outro lado, as amostras estáticas exibiram quantidades persistentes de calcita e portlandita, além de uma sub-representação da cal livre, mesmo nas temperaturas mais altas. Essa discrepância é um artifício metodológico clássico. Como os corpos de prova estáticos resfriaram lentamente até a temperatura ambiente no interior de um forno mufla em contato com o ar atmosférico, a cal gerada durante a calcinação – altamente reativa e com elevada área superficial – sofreu rápidas reações retrógradas (Arias & Criado, 2022). Após a exposição às condições ambientes, o CaO nascente absorveu agressivamente a umidade atmosférica para se reidratar em portlandita ($CaO + H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2$) e reagiu com o dióxido de carbono atmosférico para formar calcita secundária ($CaO + CO_2 \longrightarrow CaCO_3$). Portanto, as medições dinâmicas *in situ* são estritamente necessárias para capturar com precisão os limites cinéticos de fase da pasta de cimento sem a interferência das reações retrógradas de resfriamento.

4.4 A ANOMALIA ENTRE 420–560 °C: DESIDROXILAÇÃO E CARBONATAÇÃO SIMULTÂNEAS

Um dos fenômenos mais notáveis observados na rampa de aquecimento dinâmico é o aumento abrupto localizado da calcita entre 420 °C e 560 °C. Durante essa exata janela térmica, a portlandita sofre desidroxilação completa ($Ca(OH)_2 \longrightarrow CaO + H_2O$), caindo de aproximadamente 16% em massa para 0%. Termodinamicamente, essa decomposição deveria resultar em um aumento proporcional da cal cristalina. No entanto, os dados *in situ* revelam que a cal permanece totalmente ausente (0% em massa) durante esta etapa. Em vez disso, a

calcita apresenta um pico repentino, passando de 52% para um máximo de 64% em massa.

Essa correlação inversa não constitui um artifício experimental, mas sim um fenômeno termodinâmico de estado sólido–gás amplamente documentado, conhecido como *desidroxilação e carbonatação simultâneas* (Koga & Kodani, 2018; Materić & Smedley, 2011). Durante o aquecimento, a portlandita se decompõe e gera um CaO nascente altamente defeituoso e reativo. Na presença de CO_2 disponível no microambiente local – seja proveniente da atmosfera residual aprisionada no capilar de quartzo, seja liberado pela degradação térmica inicial de carbonatos pouco cristalinos ou de aditivos orgânicos – esse CaO recém-formado atua como um intenso sumidouro de CO_2, favorecendo a formação quase imediata de calcita. Dessa forma, a decomposição da portlandita e o aumento da calcita ocorrem praticamente de maneira simultânea durante o aquecimento.

Além disso, essa rápida carbonatação é catalisada pelo próprio vapor de água liberado diretamente da portlandita em decomposição. O vapor d'água localizado cria um microambiente hidrotermal transitório que facilita a dissolução do CO_2 (formando intermediários de ácido carbônico) e acelera a precipitação de calcita secundária (Koga *et al*., 2018). Assim, em vez de detectar cal livre, observa-se um "pico de calcita" à medida que a portlandita em decomposição é instantaneamente carbonatada.

4.5 REAÇÕES DE ESTADO SÓLIDO EM ALTAS TEMPERATURAS: FORMAÇÃO DE CAL E BELITA

O verdadeiro início da estabilização da cal livre não ocorre até que as temperaturas excedam 650–700 °C. Isso coincide estritamente com a desestabilização térmica da calcita ($CaCO_3 \longrightarrow CaO + CO_2$). À medida que a fração de calcita decresce abruptamente de 60% em massa para níveis insignificantes aos 850 °C, a cal cristalina finalmente aparece no difratograma, subindo para aproximadamente 15% em massa.

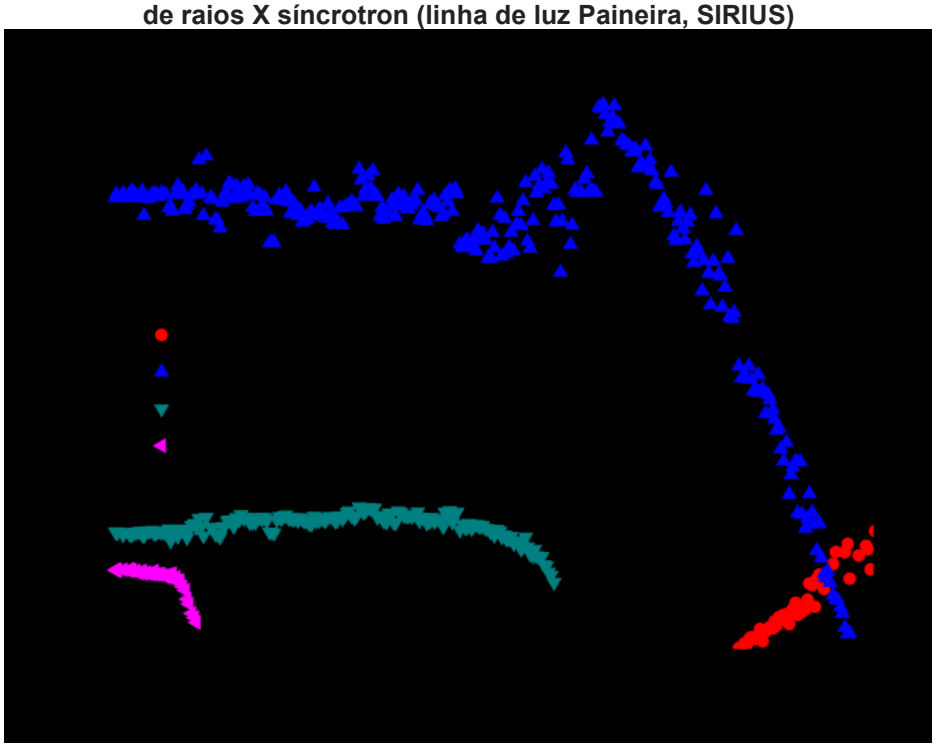
Simultaneamente, essa liberação de CaO reativo em altas temperaturas desencadeia uma reação maciça de estado sólido que dita a composição final do material reciclado. Durante as etapas iniciais da rampa térmica, o gel amorfo de silicato de cálcio hidratado (C-S-H) se desidrata e degrada, deixando para trás uma rede amorfa rica em sílica. Quando a calcita se decompõe e inunda a matriz com CaO

livre, essa cal reage imediatamente com a sílica disponível. Isso é evidenciado no gráfico pelo crescimento explosivo da belita (C2S) (Real *et al*., 2024; Schoon et al., 2020).

Entre 600 °C e 850 °C, a fase da belita dispara de uma linha de base estável de 5% em massa para mais de 65%. Esta observação confirma que o tratamento térmico de finos de concreto reciclado é altamente eficaz na regeneração de fases de clínquer cimentício de alta temperatura (como a belita), desde que a temperatura alvo seja suficientemente elevada para descarbonatar totalmente o sistema e facilitar a recombinação em estado sólido entre a cal e a sílica (Zhutovsky & Shishkin, 2021).

A seguir vemos na Figura 4, a evolução quantitativa das principais fases cristalinas da pasta de cimento hidratada (belita, calcita, portlandita, cal e etringita) em função da temperatura durante o aquecimento dinâmico *in situ*. As quantificações foram obtidas por meio do refinamento de Rietveld dos dados de difração de raios X síncrotron de alta resolução (SIRIUS). Destacam-se a desidroxilação da portlandita coincidente com o aumento transitório (*surge*) da calcita entre 420 e 560 °C, seguida pela decomposição térmica da calcita e a consequente formação maciça de belita (C2S) e cal livre (CaO) em temperaturas superiores a 650 °C.

Figura 4 – Evolução dos percentuais em massa das principais fases cristalinas (belita, calcita, portlandita, cal e etringita) em função da temperatura durante o tratamento térmico dinâmico *in situ*. Os dados foram obtidos via refinamento multifásico de Rietveld a partir de difratogramas de raios X síncrotron (linha de luz Paineira, SIRIUS)



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo demonstrou o relevante potencial e a necessidade estrita da difração de raios X síncrotron de alta resolução – combinada ao refinamento multifásico de Rietveld – para o mapeamento cristalográfico e termodinâmico do tratamento térmico de matrizes cimentícias. A investigação permitiu desvendar, em tempo real, as complexas transições de fase que governam a reativação da pasta de cimento Portland, estabelecendo parâmetros fundamentais para a reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD).

Do ponto de vista físico-químico, o monitoramento dinâmico *in situ* (SIRIUS) revelou uma sequência termodinâmica fascinante. Inicialmente, observou-se o rápido colapso da etringita em mais baixas temperaturas, seguido por uma anomalia marcante entre 420 °C e 560 °C: a desidroxilação da portlandita acompanhada por um pico anômalo e imediato de calcita. Este comportamento confirmou a ocorrência de reações simultâneas de desidroxilação e carbonatação do CaO nascente, fortemente catalisadas pelo vapor d'água liberado no microambiente. Em temperaturas superiores a 650 °C, a decomposição térmica da calcita liberou a cal cristalina (CaO) necessária para reagir com a sílica amorfa disponível, resultando na formação maciça e explosiva de belita (C2S). Este fenômeno de alta temperatura comprova de forma incontestável a viabilidade térmica da regeneração de fases ativas de clínquer a partir de pastas hidratadas exauridas.

Do ponto de vista metodológico, o estudo estabeleceu o inestimável valor da complementaridade entre as medições estáticas (*ex situ*) e dinâmicas (*in situ*). As análises estáticas (ESRF) revelaram que a cal gerada no processo de calcinação é extremamente vulnerável a reações retrógradas rápidas. O resfriamento das amostras em contato com a atmosfera aberta induziu a reidratação e recarbonatação maciças do material, mascarando a verdadeira composição de alta temperatura. Conclui-se, portanto, que a instrumentação *in situ* é indispensável para a determinação precisa dos limites cinéticos de fase, livre de artefatos de resfriamento.

Por fim, os resultados obtidos fornecem uma base cristalográfica robusta para a otimização de protocolos industriais de tratamento térmico de finos de concreto reciclado. Compreender a estabilidade térmica das fases cristalinas e a extrema reatividade dos subprodutos de calcinação durante o resfriamento é o passo definitivo para o desenvolvimento de cimentos termicamente ativados, duráveis e de alto

desempenho, impulsionando decisivamente a transição da construção civil rumo à sustentabilidade e à economia circular.

AGRADECIMENTOS

Ao CPS - Centro Paula Souza / CPRJI pela aprovação do Projeto de Pesquisa.

À Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP, pelo fornecimento de amostras de cimento.

Ao Prof. Dr. Davinson Mariano – pela autorização de uso do Laboratório de Processamento e Caracterização de Materiais - LPCM / Fatec-SP e aos Auxiliares Docentes Dr. Silvano L. dos Santos e Dr. Abrão C. Merij, pela queima das amostras.

À Auxiliar Docente Nathália M. dos Santos do Laboratórios de Materiais de Construção Civil - MCC/Fatec-SP, no preparo de Amostras e condução de experimentos diversos.

Ao Laboratório Nacional de Luz Síncrotron – LNLS/SIRIUS pela disponibilização das instalações (Proposta 20241427) e, à Dra. Cristiane Barbieri Rodella e sua equipe de acompanhamento na linha Paineira.

Ao *European Synchrotron Radiation Facility* (ESRF) pela disponibilização das instalações de radiação síncrotron e ao Momentum Transfer pela facilitação das medições. Agradecemos a Jakub Drnec pela assistência e suporte no uso da linha de luz ID31. O arranjo experimental foi desenvolvido com financiamento do programa de pesquisa e inovação Horizon 2020 da União Europeia, no âmbito do projeto STREAMLINE (acordo de subvenção nº 870313).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARIAS, B.; CRIADO, Y. A. **Carbonation Kinetics of Ca(OH)2 Under Conditions of Entrained Reactors to Capture CO_2**. Industrial & Engineering Chemistry Research, v. 61, n. 9, p. 3272-3277, 2022. DOI: 10.1021/acs.iecr.1c04888

AZAD, N.M.; SAMARAKOON, S.M.S.M.K. **Utilization of Industrial By-Products/Waste to Manufacture Geopolymer Cement/Concrete**. Sustainability, v. 13, n. 2, p. 873, 2021. DOI:10.3390/su13020873

BALDUSCO, R.; NOBRE, T.R.S., *et al*. **Dehydration and Rehydration of Blast Furnace Slag Cement**. Journal of Material in Civil Engineering, v. 31, n. 8, 2019. DOI:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002725

CAGLIOTTI, G., PAOLETTI, A., & RICCI, F. P. **Choice of collimators for a crystal spectrometer for neutron diffraction**. Nuclear Instruments. v.3, n. 4, p. 223-228, 1958. https://doi.org/10.1016/0369-643X(58)90029-X

COELHO, A. A., **TOPAS and TOPAS-Academic: an optimization program integrating computer algebra and crystallographic objects written in C++,** Journal of Applied Crystallography, v. 51, n. 1, p. 210–218, 2018. http://dx.doi.org/10.1107/S1600576718000183 *(Nota: Referência oficial padrão e obrigatória para citações do software TOPAS, válida inclusive para a v.8).*

COD - Crystallography Open Database Vaitkus, A., Merkys, A., Sander, T., Quirós, M., Thiessen, P. A., Bolton, E. E. & Gražulis, S. **A workflow for deriving chemical entities from crystallographic data and its application to the Crystallography Open Database.** Journal of Cheminformatics, v.15, 2023. https://doi.org/10.1186/s13321-023-00780-2

HALL, C., BARNES, P., BILLIMORE, A. D., JUPE, A. C., & TURRILLAS, X. **Thermal decomposition of ettringite $Ca_6[Al(OH)_6]_2(SO_4)_3.26H_2O$.** Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions, v. 92, n. 12, p. 2125-2129, 1996. https://doi.org/10.1039/FT9969202125

HAMPEL, F. R. **The influence curve and its role in robust estimation**. Journal of the American Statistical Association, v. 69, n. 346, p. 383-393, 1974. https://doi.org/10.1080/01621459.1974.10482962

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Cement technology roadmap: Carbon emissions reductions up to 2050**. Paris: OECD Publishing. 2009.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2014: Mitigation of climate change**. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Rep. Geneva: IPCC, 2014.

JING, R.; HAO, J. L.; CHEN, H.-M.; & LIU, E. **Thermal treatment of recycled concrete fines for sustainable cement: linking physicochemical transformations, reactivity, and life cycle assessment.** ACS Omega, v. 11, n. 5, p. 7769–7781, 2026. DOI: 10.1021/acsomega.5c09513

KOGA, N., & KODANI, S. **Thermally induced carbonation of $Ca(OH)_2$ in a CO_2 atmosphere: kinetic simulation of overlapping mass-loss and mass-gain processes in a solid–gas system**. Physical Chemistry Chemical Physics, v. 20, n. 41, p. 26173-26189, 2018. DOI: 10.1039/C8CP05701J

MATERIĆ, V., & SMEDLEY, S. I. **High temperature carbonation of Ca(OH)2.** Industrial & Engineering Chemistry Research, v. 50, n. 10, p. 5927-5932, 2011. DOI: 10.1021/ie200367w

MORENO-JUEZ *et al*. **Behaviour and properties of eco-cement pastes elaborated with recycled concrete powder from construction and demolition wastes**. Materials, v. 14, n. 5, p. 1299, 2021. https://doi.org/10.3390/ma14051299

OHEMENG, E. A. & EKOLU, S. O. **A review on the reactivation of hardened cement paste and treatment of recycled aggregates.** Magazine of Concrete Research, v. 72, n. 10, p. 526–539. 2020. https://doi.org/10.1680/jmacr.18.00452

PANalytical B.V. **X´Pert HighScore Plus**. V. 3.0. Almelo, The Netherlands: PANalytical, 2009.

PEARSON, R. K. **Outliers in process modeling and identification.** IEEE Transactions on Control Systems Technology, v.10, n. 1, p. 55-63, 2002**.** DOI:10.1109/PROC.1967.5573

PEREIRA, V. M.; BALDUSCO, R.; SILVA, P. B.; QUARCIONI, V. A.; MOTTA, R. S., SUZUKI, S. & ANGULO, S. C. **Thermoactivated cement from construction and demolition waste for pavement base stabilization: A case study in Brazil.** Waste

Management & Research, v. 43, n. 1, p. 121-132, 2025. https://doi.org/10.1177/0734242X2412273

PRAJAPATI, R.; JOSEPH, S.; BURDILES, P.A.; ALLWOOD, J. M.; DUNANT, C.F. **Recovered cement paste for recycling and production of cement in different countries.** Resources, Conservation and Recycling, v. 15, p. 108580, 2026. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2025.108580

RIETVELD, H.M. **A profile refinement method for nuclear and magnetic structures.** Journal of Applied Crystallography, v. 2. p. 65-71, 1969. http://dx.doi.org/10.1107/S0021889869006558

ROBAYO-SALAZAR *et al*., **Construction and demolition waste (CDW) recycling-as both binder and aggregates – in alcali-activated materials: a novel re-use concept.** Sustainability, v. 12, n. 14, 5p. 5775, 2020. https://doi.org/10.3390/su12145775

ROSSETTO, C. M. *et al*. **Mineralogical analysis of Brazilian Portland cements by the Rietveld method with emphasis on polymorphs M1 and M3 of alite**. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, v. 62, p. 402–417, 2023. https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2022.06.005

RUOUYU, J.; HONGPING, Y.; QIAN, C., 2019. **Science mapping approach to assisting the review of construction and demolition waste management research published between 2009 and 2018**. Resources Conservation and Recycling, v. 140, p. 175-188. http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.09.029

SHUI, Z.; XUAN, D.; CHEN, W.; YU, R.; ZHANG, R. **Cementitious characteristics of hydrated cement paste subjected to various dehydration temperatures**. Construction and Building Materrials, v. 23, n. 1, p. 531-537. 2009. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.10.016

SHUI, Z.; XUAN, D.; WAN, H. and CAO, B. **Rehydration reactivity of recycled mortar from concrete waste experienced to thermal treatment.** Construction Building Materials, v. 22, v. 8, p. 1723-1729, 2008. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.05.012

THOMPSON, P., COX, D. E., & HASTINGS, J. B. **Rietveld refinement of Debye–Scherrer synchrotron X-ray data from Al_2O_3.** Journal of Applied Crystallography, v. 20, n. 2, p. 79-83, 1987. https://doi.org/10.1107/S0021889887087090

WANG, J.; MU, M.; Y. Liu. **Recycled Cement**. Elsevier. Construction Building Materials, v. 190, p.1124-1132, 2018.DOI: 10.1016/j.conbuilmat.2018.09.181

ZANOVELLO, M.; BALDUSCO, R.; JOHN, V. M.; WHITE, C. L; ANGULO, S. C. **Engineered blended thermoactivated recycled cement: a study on reactivity, water demand, strength-porosity, and CO2 emissions.** ACS Sustainable Chemistry & Engineering, v. 13, n.2, p. 800−814. 2024. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.4c06567

ZHUTOVSKY, S., & SHISHKIN, A. **Recycling of hydrated Portland cement paste into new clinker**. Construction and Building Materials, v. 280, p. 122510, 2021. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122510

ESTRATÉGIAS DE ENDOMARKETING E REDUÇÃO DO *TURNOVER:* ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA TÊXTIL DE ITAPETININGA- SP
ENDOMARKETING STRATEGIES AND TURNOVER REDUCTION: A CASE STUDY IN A TEXTILE INDUSTRY IN THE CITY OF ITAPETININGA- SP

Fabiana Nunes Fogaça Munhoz[1]
Fernanda Nunes de Oliveira Munhoz[2]
Patrícia do Nascimento Camargo[3]
Bruno José Viana Kortz[4]

RESUMO: Este estudo de caso analisa como estratégias de *endomarketing* podem contribuir para a redução do *turnover* e para a melhoria do clima organizacional em uma indústria têxtil de Itapetininga-SP. A pesquisa adotou abordagem quali-quantitativa, de caráter exploratório e descritivo, com aplicação do questionário *UWES (Utrecht Work Engagement Scale)* com 60 colaboradores de um setor da empresa. Os resultados indicaram elevados níveis de vigor, dedicação e absorção entre os participantes, embora aspectos relacionados à concentração total no trabalho e ao entusiasmo tenham apresentado oportunidades de melhoria. Concluiu-se que práticas de *endomarketing* aliadas à gestão de pessoas e ao cuidado com as emoções humanas podem fortalecer o vínculo colaborador-empresa, com possível contribuição para estratégias de retenção de talentos.

Palavras-chave: Comunicação Interna; Engajamento no Trabalho; Gestão de Pessoas; Clima Organizacional; Retenção de Talentos.

ABSTRACT: This case study analyzes how endomarketing strategies can contribute to improving employee engagement and organizational climate in a textile industry located in Itapetininga, São Paulo, Brazil. The research adopted a mixed-methods approach, with an exploratory and descriptive design, through the application of the *Utrecht Work Engagement Scale (UWES)* questionnaire to 60 employees from a specific sector of the company. The results indicated high levels of vigor, dedication, and absorption among participants, although aspects such as full concentration at work and enthusiasm revealed opportunities for improvement. The findings suggest that endomarketing practices combined with people management and attention to human emotions can strengthen the employee-organization relationship, potentially contributing to turnover reduction.

Keywords: Internal Communication; Work Engagement; People Management; Organizational Climate; Talent Retention.

1 INTRODUÇÃO

No contexto organizacional contemporâneo, a rotatividade de colaboradores representa um desafio recorrente para a gestão de pessoas, gerando custos com recrutamento, seleção e treinamento, além de influenciar a produtividade e o clima organizacional. Diante desse cenário, torna-se necessário compreender os fatores

Gestão da Produção Industrial – Fatec Itapetininga - E-mail: fabianamunhoz@outlook.com [1]
Gestão da Produção Industrial – Fatec Itapetininga - E-mail: nandafatec12@gmail.com [2]
Gestão da Produção Industrial – Fatec Itapetininga - E-mail: patriciacamargo049@gmail.com [3]
Mestre – Fatec Itapetininga – bruno.kortz@cps.sp.gov.br [4]

que influenciam o comportamento dos trabalhadores e desenvolver estratégias voltadas ao engajamento e à permanência nas organizações.

O desempenho profissional envolve competências técnicas e dimensões emocionais associadas às relações interpessoais no ambiente de trabalho. Goleman (2011) afirma que a capacidade de administrar emoções influencia a forma como indivíduos enfrentam desafios e interações profissionais. Nesse contexto, a compreensão das emoções apresenta relevância para a dinâmica organizacional. Damásio (1995) destaca que processos emocionais participam da tomada de decisões e das interações humanas, enquanto Pinho (2004) indica que a comunicação organizacional eficiente contribui para o fortalecimento das relações internas e para a melhoria do clima organizacional.

Entre as estratégias de valorização do público interno, destaca-se o endomarketing. Saul Faingaus Bekin Brum (2017) define essa prática como instrumento de engajamento e fortalecimento do vínculo entre organização e colaboradores. Idalberto Chiavenato (2014) relaciona a retenção de talentos às práticas de reconhecimento, valorização e desenvolvimento profissional.

A investigação também dialoga com a experiência profissional de uma das pesquisadoras, que atua há 11 anos como líder de produção em uma indústria do setor têxtil localizada em Itapetininga-SP. A vivência possibilita maior aproximação com a realidade organizacional e com os desafios relacionados à gestão de pessoas e à rotatividade de colaboradores. Assim, torna-se relevante examinar estratégias voltadas ao fortalecimento da comunicação interna, das relações interpessoais e do engajamento dos colaboradores, considerando sua possível contribuição para a melhoria do clima organizacional e para a retenção de profissionais. Nesse sentido, este estudo busca analisar de que maneira estratégias de comunicação interna e *endomarketing* podem contribuir para a melhoria do ambiente organizacional e para a redução da rotatividade de colaboradores em uma indústria do setor têxtil localizada em Itapetininga-SP. Diante disso, surge a seguinte pergunta-problema: Como estratégias de *endomarketing* podem contribuir para o engajamento dos colaboradores e favorecer a retenção em uma indústria têxtil?

O objetivo geral do estudo consiste em analisar estratégias de *endomarketing* orientadas à possível redução da rotatividade de colaboradores e à melhoria do clima organizacional na indústria analisada. Como objetivos específicos, pretende-se examinar a influência da comunicação interna no clima organizacional e na retenção

de profissionais, investigar relações entre capacitação profissional e a permanência de colaboradores, analisar efeitos da valorização pessoal e profissional no engajamento das equipes, examinar a influência de processos emocionais no comportamento coletivo e identificar alternativas práticas voltadas à melhoria do clima organizacional e à redução da rotatividade.

2 METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza aplicada, com abordagem quali-quantitativa, de caráter exploratório e descritivo, desenvolvida por meio de um estudo de caso em uma indústria do setor têxtil localizada no município de Itapetininga-SP.

Do ponto de vista quantitativo, foram coletados dados primários por meio da aplicação de um questionário estruturado baseado na *Utrecht Work Engagement Scale* (*UWES*), instrumento amplamente utilizado para mensurar o engajamento no trabalho, considerando três dimensões principais: vigor, dedicação e absorção (Schaufeli et al., 2002). As questões foram apresentadas em escala tipo *Likert* de cinco pontos, variando entre níveis de menor e maior concordância/intensidade, permitindo a análise da intensidade do engajamento percebido pelos respondentes, conforme abordagem recomendada em estudos de comportamento organizacional (Robbins, 2014). A amostra foi composta por 60 colaboradores selecionados por conveniência, abrangendo um único setor da empresa. A utilização de amostragem não probabilística por acessibilidade é comum em estudos aplicados em ambiente organizacional, especialmente em pesquisas exploratórias (Gil, 2018). A coleta de dados foi realizada no dia 06 de janeiro de 2026, por meio de questionário eletrônico elaborado na plataforma *Google Forms* e enviado aos participantes via aplicativo *WhatsApp*, garantindo o anonimato dos participantes e a confidencialidade das informações, conforme recomendações éticas em pesquisas sociais (Creswell, 2010).

Os dados quantitativos foram analisados por meio de estatística descritiva, com a utilização de frequências relativas (percentuais), possibilitando a identificação de padrões de resposta em cada dimensão do engajamento. Esse tipo de análise é adequado para estudos exploratórios que buscam compreender a distribuição de percepções em grupos organizacionais (Malhotra, 2012). A análise permitiu

compreender a distribuição das percepções dos colaboradores em relação às práticas organizacionais e ao ambiente de trabalho.

Complementarmente, a etapa qualitativa ocorreu por meio da interpretação contextual dos resultados obtidos na aplicação do questionário e das observações realizadas no ambiente organizacional durante a coleta de dados, utilizando-se a análise de conteúdo proposta por Bardin (2011) como suporte interpretativo. Essa etapa teve como objetivo aprofundar a compreensão dos fatores organizacionais associados ao engajamento dos colaboradores e suas possíveis implicações para a retenção de talentos, conforme indicado por estudos que relacionam clima organizacional, motivação e permanência no trabalho (Chiavenato, 2014).

Por fim, o estudo de caso possibilitou uma análise aprofundada da realidade organizacional investigada, permitindo identificar padrões de comportamento, práticas de gestão e oportunidades de melhoria relacionadas às estratégias de *endomarketing* e sua influência no engajamento dos colaboradores, conforme destacado na literatura de gestão aplicada (Yin, 2015).

2.1 INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada por meio do questionário UWES (Utrecht Work Engagement Scale), instrumento utilizado para avaliar o engajamento no trabalho. O questionário investiga as dimensões vigor, dedicação e absorção. Embora a escala original possua 17 itens, foram utilizados 16 itens adaptados ao contexto da indústria têxtil e aos objetivos da pesquisa, mantendo a representatividade das dimensões e a validade conceitual do instrumento.

Quadro 1 — *UWES* (*Utrecht Work Engagement Scale*)

Nº	Dimensão Questionário	Afirmação
1	Vigor	Em meu trabalho, sinto-me cheio(a) de energia
2	Vigor	No trabalho, sinto-me forte e com vigor
3	Vigor	Quando acordo pela manhã, sinto vontade de ir trabalhar
4	Vigor	Consigo trabalhar por longos períodos sem me cansar
5	Vigor	Sou persistente, mesmo quando as coisas não vão bem
6	Vigor	No trabalho, sinto-me mentalmente resiliente

7	Dedicação	Meu trabalho tem significado e propósito
8	Dedicação	Sinto entusiasmo pelo meu trabalho
9	Dedicação	Meu trabalho me inspira
10	Dedicação	Sinto orgulho do trabalho que realizo
11	Dedicação	Meu trabalho é desafiador
12	Absorção	O tempo voa quando estou trabalhando
13	Absorção	Sinto-me imerso(a) no meu trabalho
14	Absorção	Sinto-me feliz quando trabalho intensamente
15	Absorção	Sou envolvido(a) com meu trabalho
16	Absorção	Tenho dificuldade de me desligar do trabalho

Fonte: Adaptado e selecionado de Schaufeli et al. (2002). Dados da pesquisa aplicada (2026). Elaborado pelos autores.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ENDOMARKETING: CONCEITO

O endomarketing constitui uma estratégia voltada à valorização do público interno das organizações, articulando comunicação, engajamento e alinhamento entre colaboradores e objetivos institucionais. Antes de ser compreendido apenas como uma ação de comunicação interna, o conceito deve ser situado como uma prática de gestão que busca fortalecer o vínculo entre empresa e trabalhador. Nesse sentido, "*Éndon"* é do grego e quer dizer movimento para dentro ou posição anterior. *Endomarketing* é, portanto, marketing para dentro. É todo esforço feito por uma empresa para melhorar o nível de informação e, com isso, estabelecer uma maior aproximação com o seu colaborador (Brum, 2000, p.34).

De acordo com Bekin (1995), o *endomarketing* emergiu no Brasil diante da necessidade de promover maior integração entre os setores e as empresas, especialmente em contextos marcados por baixo interesse na realização das atividades, falta de reconhecimento no ambiente de trabalho e desalinhamento entre as funções desempenhadas pelos funcionários. Ao perceber essas dificuldades, surgiu a necessidade de alinhar o pensamento desses colaboradores ao propósito da organização, levando-os a refletir sobre como atender o cliente final e sobre a importância de receber treinamentos, conhecimentos e incentivo para que se sintam bem no ambiente de trabalho.

Segundo Brum (1998), a comunicação interna ou o *endomarketing* pode ser compreendida como um conjunto de ações de marketing direcionadas ao público interno das empresas. O termo “endo” é oriundo do grego *éndon* e significa “para dentro”. Nessa perspectiva, o *endomarketing* volta-se ao estudo das necessidades, percepções e expectativas dos colaboradores, compreendidos como público interno da organização. O cenário atual nas empresas vem reforçando a essência do conceito de *endomarketing*, ampliando seus espaços de aplicação e estimulando seu aperfeiçoamento nas práticas de gestão de pessoas.

Brum (2010), define o objetivo de o endomarketing como criar uma percepção empresarial alinhada à missão, aos princípios e à visão da organização dentro de um clima organizacional positivo, com o propósito de transformar o colaborador em facilitador do fortalecimento de uma boa imagem da empresa e de seu valor no mercado.

3.1.1 Gestão De Pessoas

Inicialmente, compreende-se que a gestão de pessoas se constitui por processos contínuos de treinamento e desenvolvimento de competências humanas. Sob essa óptica, Belasco (1992) salienta que as organizações e seus líderes necessitam romper barreiras internas, estimulando os colaboradores a confiarem em suas habilidades profissionais. Essa premissa vincula-se diretamente à gestão estratégica de talentos, uma vez que o incentivo leva a mudanças que ultrapassam a simples execução de tarefas e a busca por resultados, favorecendo o desenvolvimento da equipe, podendo contribuir para a redução dos índices de rotatividade nas empresas.

Diante desse cenário onde a liderança atua como agente transformador, Carnegie (2011) ressalta que a motivação das equipes depende do exemplo dos gestores e de sua capacidade de inspirar pessoas. Essa dinâmica reforça a relevância do *endomarketing* como ferramenta estratégica de comunicação interna. Complementando essa perspectiva de desenvolvimento contínuo, Blanchard e Johnson (2007) sustentam que a clareza no estabelecimento de objetivos, o reconhecimento imediato, e o fornecimento de *feedback* estruturado são importantes para elevar a confiança e a motivação das equipes. Desse modo, a eficiência na gestão de pessoas deixa de ser medida apenas por indicadores operacionais e passa

a depender da valorização simultânea do capital humano e dos resultados, organizacionais, entendendo que ambos os fatores caminham juntos no processo de produção.

Dweck (2017) defende que uma mentalidade de crescimento estimula o entusiasmo e o desenvolvimento profissional, transformando obstáculos em oportunidades de aprendizagem. Esta visão converge com os pressupostos de Covey (2004) e Pink (2011), que associam proatividade, a autonomia e o propósito ao aumento da responsabilidade individual. De acordo com os autores, quando o profissional identifica significado e possui maestria sobre suas funções, pode fortalecer o comprometimento com a organização.

Do mesmo modo, a sustentabilidade desse modelo de gestão exige uma liderança capaz de gerenciar dinâmicas emocionais. Hunter (2004) indica que a liderança baseada em empatia e valorização das pessoas contribui para ambientes de trabalho mais equilibrados. Para que essa cultura se consolide, Goleman (2006) destaca a importância da inteligência emocional nas relações profissionais, uma vez que gestores emocionalmente inteligentes mitigam conflitos promovendo o bem-estar coletivo. É a convergência desses fatores que pode contribuir para a retenção de talentos podendo reduzir os índices de *turnover*.

3.1.2 Clima Organizacional

De acordo com Daniel Goleman (1995), a inteligência emocional contribui significativamente para a melhoria do clima organizacional, uma vez que favorece relações interpessoais mais equilibradas, aumenta a empatia entre os colaboradores e contribui para um ambiente de trabalho mais harmonioso e produtivo. O clima organizacional está diretamente ligado ao bem-estar dos colaboradores e ao nível de satisfação com o ambiente de trabalho. As práticas de *endomarketing* que estimulam o reconhecimento, comunicação e respeito entre líderes e equipes contribuem para um ambiente mais produtivo e menos propenso à rotatividade. Para Luz (1996), o clima organizacional é classificado como um conjunto de atitudes, valores e padrões de comportamentos presentes em uma organização, representando o grau de satisfação dos colaboradores no trabalho.

A análise do clima organizacional constitui uma ferramenta importante na gestão das organizações e tem um papel fundamental para a compreensão do

comportamento da empresa como um todo. Para definir o que é uma empresa, Robbins (2006), explica que ela pode ser compreendida como uma unidade social, estruturada conscientemente, constituída de uma ou mais pessoas e que atua de forma contínua para alcançar um propósito comum ou um conjunto de objetivos.

Dessa maneira, amplia-se a reflexão sobre o comportamento dos colaboradores dentro da organização. Diante das mudanças ocorridas na sociedade, as empresas vêm buscando novas maneiras de gerenciar pessoas, ampliar a competitividade e aumentar os lucros. A iniciativa voltada à eficiência tornou-se primordial para o compromisso dos colaboradores em relação à organização em que atuam, o trabalhador passou a participar mais ativamente, e seus gestores começaram a considerar suas opiniões. Sendo assim, as pessoas são influenciadas pelos acontecimentos ao seu redor e tendem a reagir aos estímulos presentes no ambiente organizacional (Cohen; Fink, 2003).

3.1.3 *Turnover*: Rotatividade De Colaboradores

Segundo Chiavenato (2002), o *turnover* corresponde à rotatividade de colaboradores em uma organização, expressa pelo movimento de admissões e desligamentos ao longo de determinado período. Esse indicador permite avaliar a dinâmica da força de trabalho e pode ser mensurado por meio da relação percentual entre admissões e desligamentos e o número médio de empregados da empresa. O autor também destaca que o aumento dos desligamentos constitui preocupação recorrente na gestão de pessoas, pois exige reposição de profissionais para manter o funcionamento das atividades organizacionais.

Em ambientes corporativos marcados por elevada concorrência, a rotatividade tende a ser mais intensa, sendo necessário que a organização identifique fatores internos que possam contribuir para os desligamentos e busque compreender as causas associadas ao *turnover* (Chiavenato, 2002). Nesse sentido, a análise da rotatividade torna-se relevante para compreender como práticas de comunicação interna, valorização profissional e fortalecimento do vínculo colaborador-empresa podem contribuir para a permanência dos trabalhadores na organização.

3.2 PLANO ESTRATÉGICO DE GESTÃO DE PESSOAS

Um plano estratégico de gestão de pessoas deve articular o diagnóstico da realidade organizacional com ações voltadas ao desenvolvimento ao engajamento e à permanência dos colaboradores. Nesse sentido, a análise das condições internas e externas da empresa permite identificar fatores que favorecem ou dificultam a construção de um ambiente organizacional mais equilibrado, produtivo e alinhado aos objetivos institucionais.

A empresa orienta suas atividades por valores relacionados ao respeito, à empatia, à transparência, à valorização profissional, à inovação e à responsabilidade social (Chiavenato, 2014). Nesse contexto, a análise *SWOT* possibilita identificar fatores internos e externos que influenciam o desempenho organizacional. Entre as forças destacam-se a liderança experiente e a qualificação dos colaboradores; entre as fraquezas, a rotatividade de funcionários, as limitações no reconhecimento profissional e as falhas na comunicação interna. Como oportunidades, evidenciam-se a utilização do *endomarketing* e a implementação de programas de capacitação, enquanto as ameaças estão relacionadas à concorrência no setor têxtil, à perda de talentos e à desmotivação das equipes (Gürel; Tat, 2017).

Assim, observa-se que a empresa possui bases sólidas, mas necessita aprimorar sua comunicação interna e valorizar os colaboradores para estimular o desempenho organizacional, uma vez que as práticas de *endomarketing* podem contribuir significativamente para a satisfação e o engajamento dos profissionais (Kotler; Keller, 2012).

Segundo Idalberto Chiavenato (2000), as organizações atuam como sistemas abertos em relações de cooperação e competição. Para o autor (2004), a estratégia corresponde à forma de interação com o ambiente externo e é definida pelos objetivos organizacionais. Nesse contexto, o elemento humano é o núcleo decisório das organizações, responsável por interpretar cenários, tomar decisões e orientar ações estratégicas que influenciam o sucesso organizacional.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

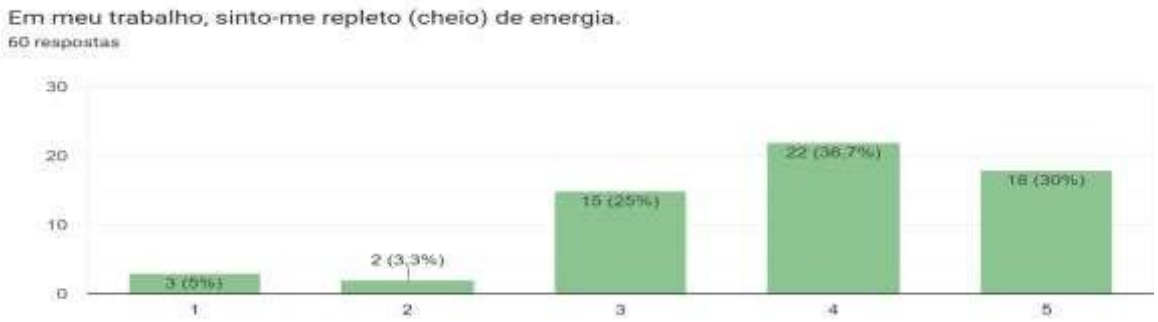
Os resultados obtidos a partir da aplicação do questionário baseado na escala *UWES* foram organizados nas três dimensões que compõem o instrumento: vigor, dedicação e absorção. As respostas foram coletadas por meio da plataforma *Google Forms* e os dados foram sistematizados em gráficos elaborados pelos autores. A

análise busca identificar o nível de engajamento dos colaboradores e discutir os resultados à luz da literatura sobre comportamento organizacional.

4.1 DIMENSÃO VIRGOR

No Gráfico 1, 66,7% dos colaboradores atribuíram pontuações 4 ou 5 à afirmação “Em meu trabalho, sinto-me repleto de energia”, indicando percepção positiva sobre a energia no ambiente de trabalho. O resultado sugere predominância de vigor entre os respondentes, associado à disposição, persistência e energia no desempenho das atividades profissionais.

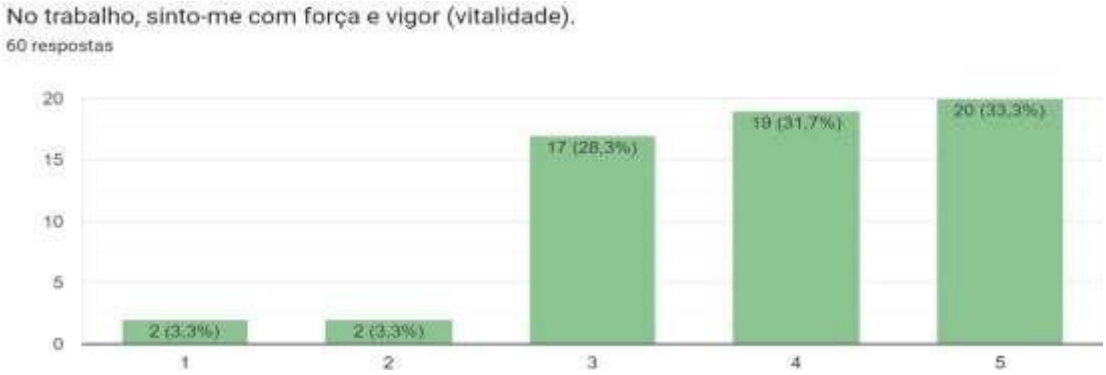
Gráfico 1— Percepção de energia



Fonte: Dados da pesquisa (2026). Elaborado pelos autores

A pesquisa indicou percepção positiva da energia no trabalho pela maioria dos colaboradores. Segundo Wilmar Schaufeli et al. (2002), altos níveis de vigor são indicadores relevantes de engajamento. O Gráfico 2 demonstra que 65% dos colaboradores atribuíram pontuações positivas à vitalidade no ambiente laboral, indicando disposição para realizar as tarefas.

Gráfico2 — Percepção de vitalidade no trabalho



Fonte: Dados da pesquisa (2026). Elaborado pelos autores

O Gráfico 3 indica percepção majoritariamente positiva dos colaboradores quanto à energia e persistência no trabalho. Sobre a disposição para iniciar a jornada, 55% atribuíram pontuações positivas, 16,7% negativas e 28,3% intermediárias, sugerindo espaço para melhorar a motivação e o vínculo com o trabalho.

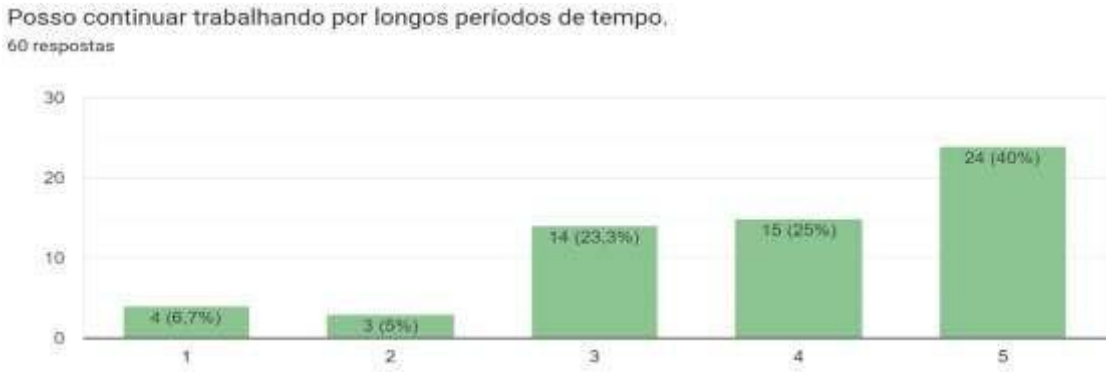
Gráfico 3 — Disposição dos colaboradores para ir ao trabalho



Fonte: Dados da pesquisa (2026). Elaborado pelos autores

No que se refere à capacidade de sustentar o desempenho ao longo do tempo, o Gráfico 4 indica que 65% dos colaboradores atribuíram pontuações positivas à afirmação analisada, indicando percepção favorável quanto à persistência e à manutenção da energia nas atividades profissionais.

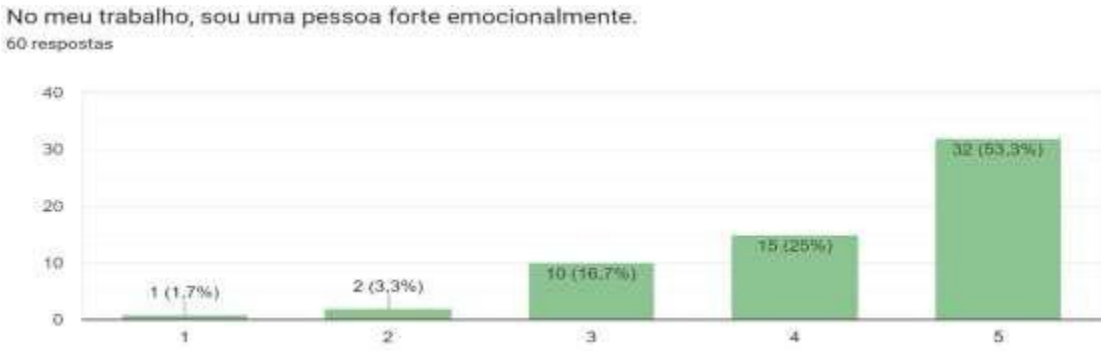
Gráfico 4 — Capacidade de manter-se trabalhando por longos períodos



Fonte: Dados da pesquisa (2026). Elaborado pelos autores

O resultado está alinhado a Idalberto Chiavenato (2004), que relaciona desempenho organizacional ao comprometimento dos colaboradores. O Gráfico 5 indica que 78,3% atribuíram pontuações positivas à resiliência mental no trabalho, demonstrando percepção favorável sobre lidar com as demandas organizacionais.

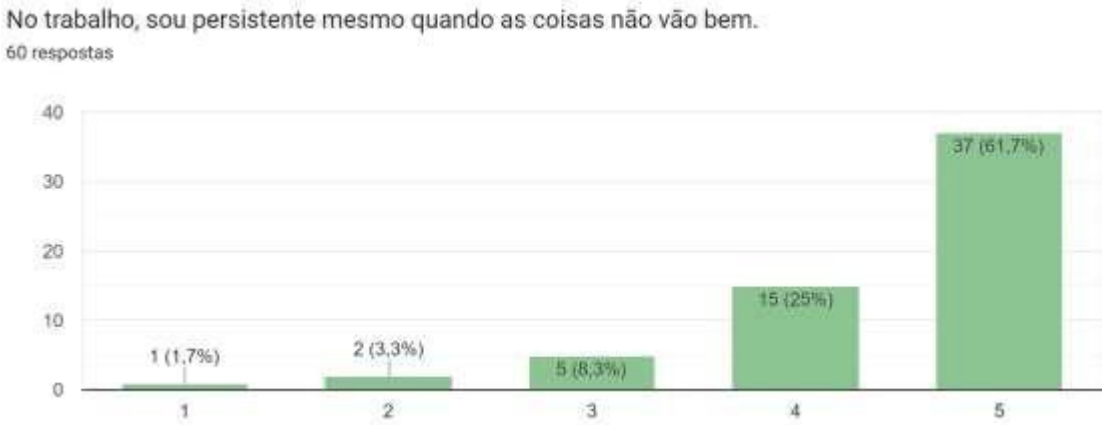
Gráfico 5 — Percepção de força emocional no trabalho



Fonte: Dados da pesquisa (2026). Elaborado pelos autores

Segundo Daniel Goleman (2011), lidar com emoções e relações interpessoais é importante para ambientes organizacionais saudáveis. O Gráfico 6 mostra que 86,7% dos colaboradores atribuíram pontuações positivas à persistência diante de dificuldades, indicando percepção favorável sobre esforço e resiliência no trabalho.

Gráfico 6 — Persistência dos colaboradores diante de dificuldades



Fonte: Dados da pesquisa (2026). Elaborado pelos autores

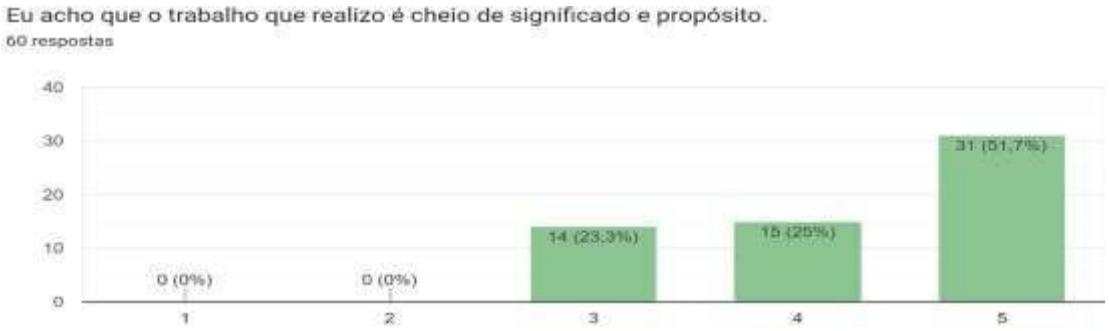
O resultado sugere percepção favorável dos colaboradores quanto à resiliência e disposição para o trabalho, conforme Saul Faingaus Bekin Brum (2017). Segundo Daniel H. Pink (2010), a motivação profissional está ligada à capacidade de manter esforço diante de desafios. De modo geral, os resultados indicam percepções positivas sobre energia, persistência e resiliência, favorecendo o engajamento, o desempenho e a permanência dos colaboradores.

4.2 DIMENSÃO DEDICAÇÃO

A dimensão dedicação avalia o grau de identificação dos colaboradores com suas atividades profissionais, considerando aspectos como significado, entusiasmo e

orgulho no trabalho. O Gráfico 7 indica que 76,7% dos colaboradores atribuíram pontuações positivas à afirmação relacionada ao significado e ao propósito em suas atividades, não havendo registro de pontuações negativas nesse item.

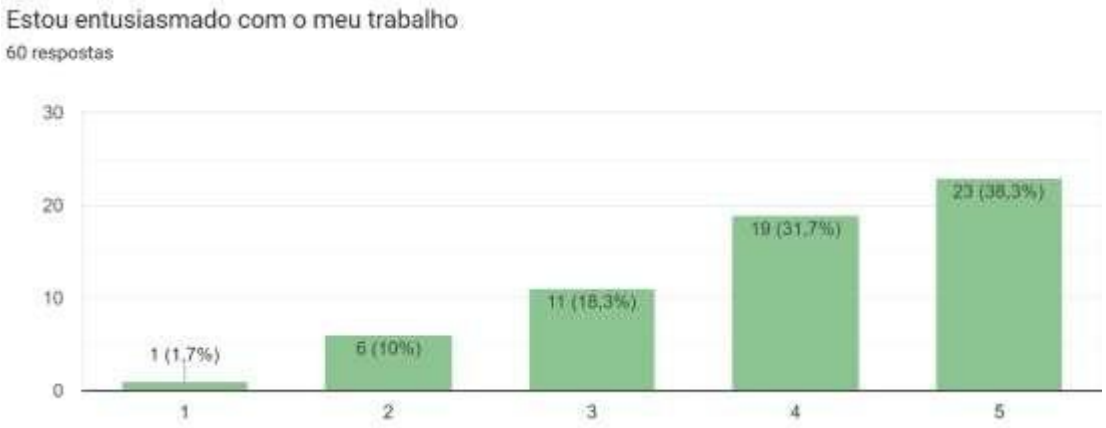
Gráfico 7 — Percepção de significado e propósito no trabalho



Fonte: Dados da pesquisa (2026). Elaborado pelos autores

O resultado sugere que os colaboradores reconhecem valor em suas atividades. Segundo Stephen P. Robbins (2006), a percepção de propósito contribui para o envolvimento e comprometimento organizacional. O Gráfico 8 indica que 70% dos respondentes atribuíram pontuações positivas ao entusiasmo pelo trabalho, enquanto 11,7% registraram avaliação negativa.

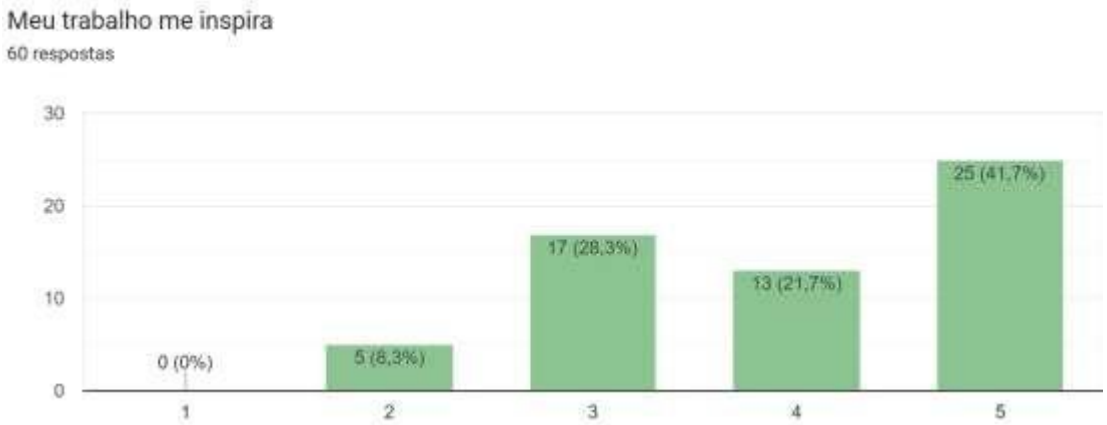
Gráfico 8 — Nível de entusiasmo dos colaboradores em relação ao trabalho



Fonte: Dados da pesquisa (2026). Elaborado pelos autores

A pesquisa indica percepção favorável dos colaboradores quanto ao envolvimento com o trabalho, embora existam aspectos a serem aprimorados. O Gráfico 9 mostra que 63,4% atribuíram pontuações positivas ao grau de inspiração proporcionado pelo trabalho.

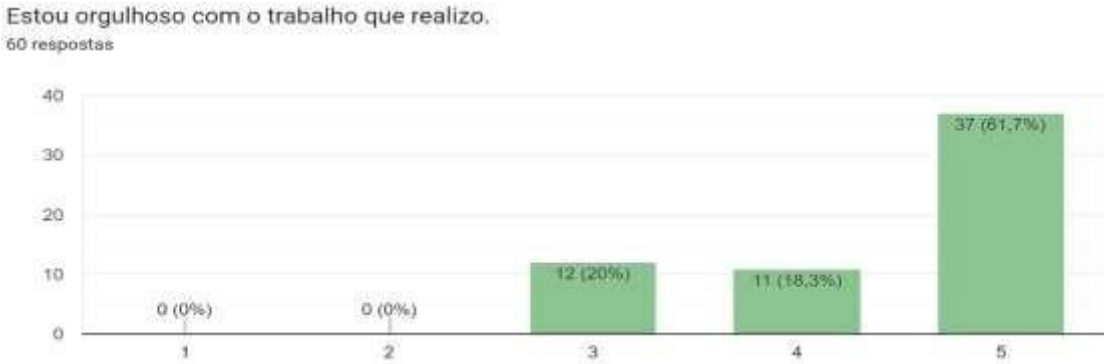
Gráfico 9 — Grau de inspiração proporcionado pelo trabalho



Fonte: Dados da pesquisa (2026). Elaborado pelos autores

Segundo Saul Faingaus Bekin (1995), valorizar os colaboradores fortalece o vínculo com a organização. O Gráfico 10 indica que 80% atribuíram pontuações positivas ao orgulho pelo trabalho realizado, sem avaliações negativas.

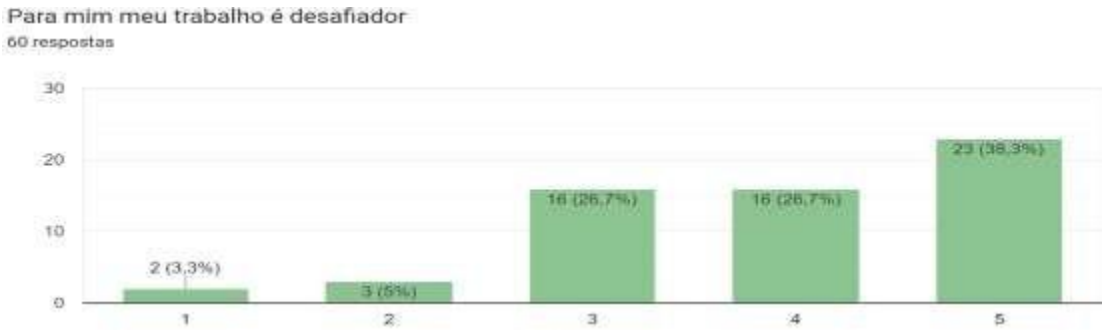
Gráfico 10 — Nível de orgulho dos colaboradores em relação ao trabalho que realizam



Fonte: Dados da pesquisa (2026). Elaborado pelos autores

O resultado demonstra percepção favorável quanto à identificação com as atividades profissionais. Segundo Idalberto Chiavenato (2004), a valorização do trabalho contribui para o comprometimento organizacional. O Gráfico 11 indica que 65% dos colaboradores atribuíram pontuações positivas ao caráter desafiador das atividades, favorecendo o desenvolvimento profissional.

Gráfico 11 — Percepção dos colaboradores quanto ao nível de desafio do trabalho



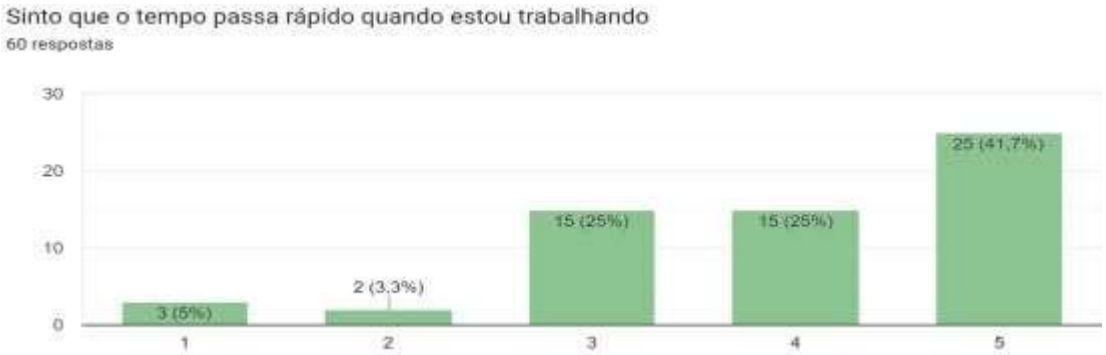
Fonte: Dados da pesquisa (2026). Elaborado pelos autores

Segundo Daniel H. Pink (2010), desafios no trabalho favorecem a motivação e o desenvolvimento de competências. A dimensão dedicação apresentou percepções positivas quanto ao significado, orgulho e entusiasmo pelo trabalho, indicando condições favoráveis ao vínculo organizacional, engajamento e retenção de talentos.

4.3 DIMENSÃO ABSORÇÃO

A dimensão absorção refere-se ao nível de concentração e imersão nas atividades profissionais. O Gráfico 12 indica que 66,7% dos colaboradores atribuíram pontuações positivas à percepção de que o tempo passa rapidamente durante o trabalho, demonstrando imersão nas atividades profissionais.

Gráfico 12 — Percepção dos colaboradores quanto à sensação de que o tempo passa rapidamente durante o trabalho

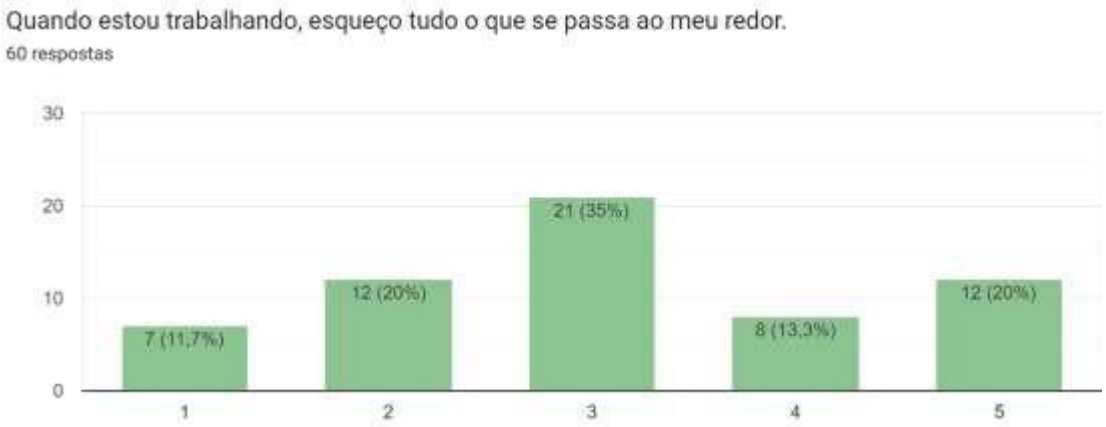


Fonte: Dados da pesquisa (2026). Elaborado pelos autores

O resultado sugere percepção favorável quanto à concentração nas atividades, característica associada ao engajamento no trabalho, segundo Wilmar Schaufeli e Arnold Bakker (2003). Contudo, o Gráfico 13 apresenta distribuição equilibrada das

respostas sobre concentração total nas atividades, com 33,3% de pontuações positivas e 31,7% negativas.

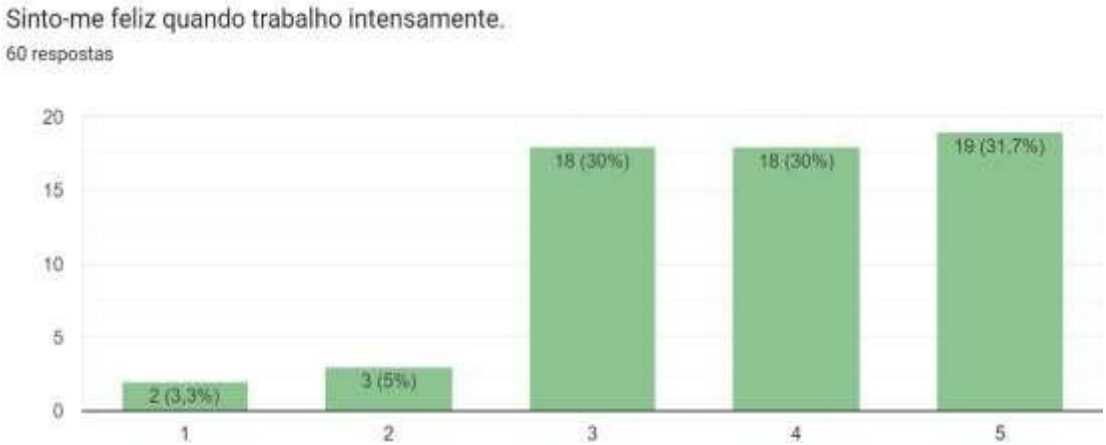
Gráfico 13 — Percepção dos colaboradores quanto ao nível de concentração durante o trabalho



Fonte: Dados da pesquisa (2026). Elaborado pelos autores

Essa distribuição das respostas pode indicar fatores organizacionais que podem interferir na capacidade de concentração ou diferentes interpretações da afirmação apresentada. Em relação à satisfação ao trabalhar intensamente, o Gráfico 14 indica que 61,7% dos colaboradores atribuíram pontuações positivas.

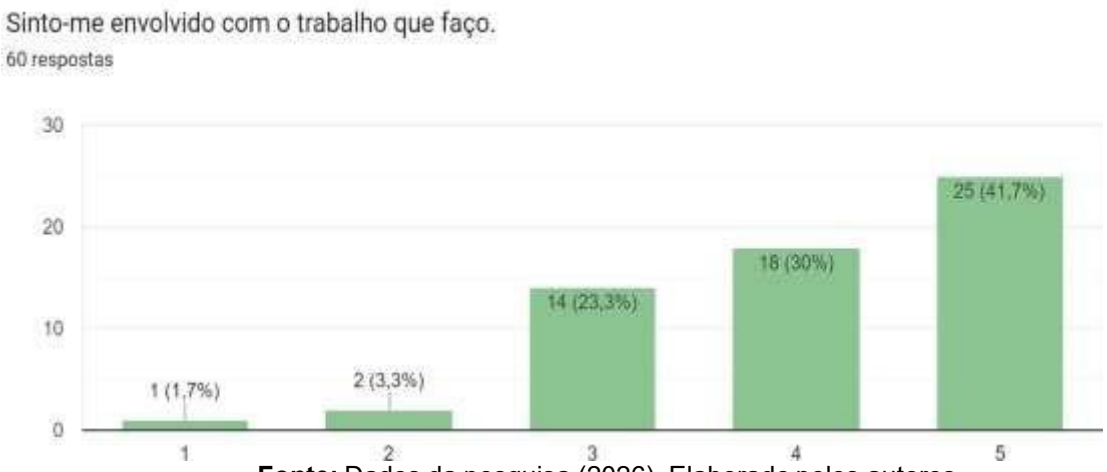
Gráfico 14 — Percepção dos colaboradores quanto à felicidade ao trabalhar intensamente



Fonte: Dados da pesquisa (2026). Elaborado pelos autores

Segundo Goleman (2011), emoções positivas relacionadas ao trabalho contribuem para maior motivação e desempenho organizacional. O Gráfico 15 indica que 71,7% dos colaboradores atribuíram pontuações positivas à afirmação relacionada ao envolvimento com suas atividades, indicando percepção favorável quanto ao vínculo com o trabalho realizado.

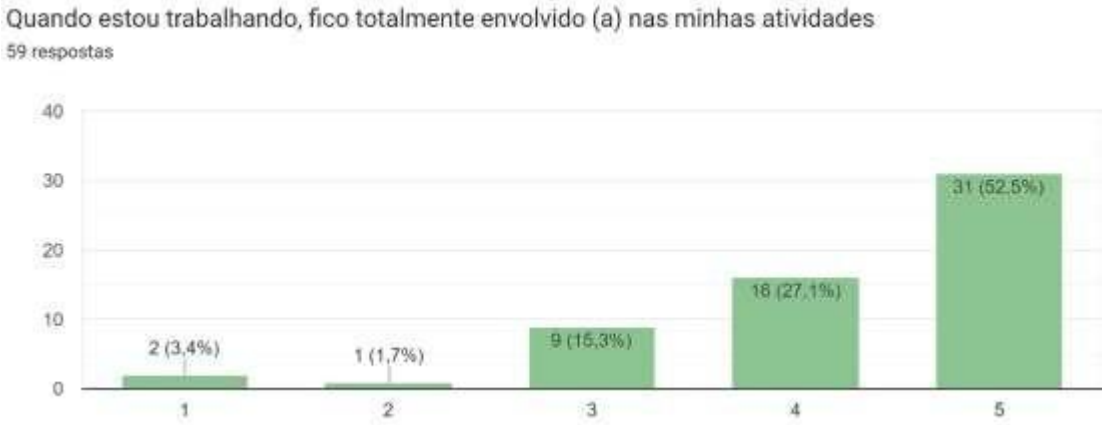
Gráfico 15 — Percepção dos colaboradores quanto ao envolvimento com o trabalho realizado



Fonte: Dados da pesquisa (2026). Elaborado pelos autores

O resultado relaciona-se ao comprometimento organizacional e à identificação com os objetivos institucionais, segundo Allan R. Cohen e Stephen L. Fink (2003). O Gráfico 16 indica que 79,6% dos colaboradores atribuíram pontuações positivas à imersão nas atividades, demonstrando percepção favorável de absorção e envolvimento com o trabalho.

Gráfico 16 — Percepção dos colaboradores quanto ao nível de envolvimento laboral



Fonte: Dados da pesquisa (2026). Elaborado pelos autores

Os resultados do Gráfico 17 indicam que 48,4% dos colaboradores atribuíram respostas que indicam ausência de dificuldade para se desligar do trabalho fora do expediente, enquanto 16,7% indicaram apresentar essa dificuldade.

Gráfico 17— Dificuldade de desligar-se do trabalho fora do horário



Fonte: Dados da pesquisa (2026). Elaborado pelos autores

A pesquisa indicou que 48,4% dos colaboradores não apresentam dificuldade para interromper pensamentos relacionados ao trabalho fora do expediente, enquanto 16,7% relataram dificuldade e 35% apresentaram percepção intermediária. Os resultados sugerem tendência favorável ao bem-estar ocupacional e ao clima organizacional, conforme Ricardo Luz (1996).

Os resultados apontam bom nível de envolvimento nas atividades, embora a concentração total apresente maior variação, indicando oportunidades de melhoria nas condições de trabalho.

De forma geral, as três dimensões indicam percepções favoráveis de engajamento, especialmente em dedicação e vigor, embora a absorção apresente aspectos a serem aprimorados, podendo contribuir para a retenção de talentos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo analisar de que forma estratégias de *endomarketing* podem contribuir para o engajamento dos colaboradores e, de modo indireto, para a retenção de talentos em uma indústria têxtil localizada no município de Itapetininga-SP. A partir da aplicação da escala *UWES* e da análise das dimensões de vigor, dedicação e absorção, foi possível identificar padrões relevantes nas percepções dos colaboradores, indicando percepções favoráveis de engajamento, especialmente nas dimensões relacionadas ao significado do trabalho e ao orgulho associado às atividades realizadas.

Os resultados indicam que a empresa apresenta condições favoráveis ao engajamento, sobretudo no que se refere à dedicação e identificação dos colaboradores com suas atividades. No entanto, observou-se que a dimensão de absorção, associada à concentração e à imersão no trabalho, apresenta maior dispersão nas respostas, sugerindo a existência de fatores organizacionais que podem interferir na concentração e na experiência de imersão nas atividades desempenhadas. Esse resultado sinaliza uma oportunidade gerencial importante, indicando que, embora haja identificação e motivação, as condições favoráveis à concentração no trabalho podem não estar igualmente presentes para todos os colaboradores.

Do ponto de vista teórico, os resultados dialogam com a literatura que associa práticas de *endomarketing*, comunicação interna e valorização dos colaboradores ao fortalecimento do engajamento no trabalho. A presença de percepções positivas de dedicação e vigor reforça a ideia de que fatores como reconhecimento, clareza organizacional e sentimento de pertencimento desempenham papel central na construção de ambientes organizacionais mais saudáveis e produtivos. Entretanto, é importante destacar que, embora o estudo indique condições favoráveis ao engajamento, não é possível afirmar de forma direta a redução do *turnover*, uma vez que não foram analisados dados históricos de rotatividade ou indicadores objetivos de permanência. Nesse sentido, os resultados devem ser interpretados como indicativos de um ambiente organizacional propício à retenção de talentos, e não como comprovação empírica de redução efetiva do *turnover.*

Como contribuição prática, o estudo oferece subsídios para gestores no desenvolvimento de estratégias de *endomarketing* voltadas ao fortalecimento do engajamento, especialmente por meio do aprimoramento da comunicação interna, da valorização dos colaboradores e da criação de condições que favoreçam maior concentração e continuidade nas atividades. Tais ações podem contribuir, de forma indireta, para a redução da rotatividade e o fortalecimento do desempenho organizacional.

Em relação às limitações, destaca-se o uso de amostra não probabilística e a análise restrita a uma única organização, o que restringe a generalização dos resultados. Além disso, a ausência de indicadores objetivos de *turnover* restringe a capacidade de estabelecer relações causais entre engajamento e retenção. Para pesquisas futuras, recomenda-se a ampliação da amostra, a inclusão de múltiplas

organizações e, principalmente, a incorporação de indicadores quantitativos de rotatividade, permitindo análises mais robustas sobre a relação entre *endomarketing*, engajamento e *turnover*. Sugere-se ainda a realização de estudos longitudinais, capazes de acompanhar a evolução dessas variáveis ao longo do tempo e avaliar o impacto efetivo das estratégias organizacionais na permanência dos colaboradores.

Por fim, conclui-se que o *endomarketing*, quando estruturado de forma estratégica e alinhado às práticas de gestão de pessoas, pode desempenhar um papel relevante na construção de ambientes organizacionais mais engajadores, podendo representar um importante diferencial competitivo para organizações que buscam não apenas atrair, mas também reter talentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOILY, Felipe. **Gestão de estoques**. São Paulo: Atlas, 2008.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2011.

BEKIN, Saul Faingaus. **Conversando sobre Endomarketing**. São Paulo: Makron Books, 1995.

BELASCO, James A**. Ensinando o elefante a dançar: como abrir a mente de sua empresa para o sucesso**. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

BLANCHARD, Kenneth; JOHNSON, Spencer. O gerente-minuto. 28. ed. Rio de Janeiro: Record, 2007.

BRUM, Analisa de Medeiros. Um olhar sobre o marketing interno. Porto Alegre: L&PM, 2000.

BRUM, Analisa de Medeiros. ***Endomarketing* de A a Z: como alinhar o pensamento das pessoas às estratégias da empresa**. 2. ed. São Paulo: Integrare, 2010.

BRUM, Analisa de Medeiros. ***Endomarketing* estratégico e operacional**. São Paulo: Integrare, 2017.

CARNEGIE, Dale. **Liderança: como superar-se e desafiar outros a fazer o mesmo**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2011.

CHIAVENATO, Idalberto. **Recursos humanos**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

CHIAVENATO, Idalberto. **Gestão de pessoas: o novo papel dos recursos humanos nas organizações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

CHIAVENATO, Idalberto. **Gestão de pessoas**. 4. ed. Barueri: Manole, 2014.

COHEN, Allan R.; FINK, Stephen L. **Comportamento organizacional: conceitos e estudos de casos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2003.

COVEY, Stephen R. **Os 7 hábitos das pessoas altamente eficazes**. São Paulo: BestSeller, 2004.

CRESWELL, John W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

DAMÁSIO, António R. **O erro de Descartes: emoção, razão e o cérebro humano**. São Paulo: Companhia das Letras, 1995.

DWECK, Carol S. **Mindset: a nova psicologia do sucesso**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2017.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GOLEMAN, Daniel. **Inteligência emocional**. Rio de Janeiro: Objetiva, 1995.

GOLEMAN, Daniel. **Inteligência social: o poder das relações humanas**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

GOLEMAN, Daniel. **Inteligência social: o poder das relações humanas**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

GÜREL, Emet; TAT, Merba. **SWOT analysis: a theoretical review**. The Journal of International Social Research, v. 10, n. 51, p. 994–1006, 2017.

HUNTER, James C. **O monge e o executivo**. Rio de Janeiro: Sextante, 2004.

KOTLER, Philip; KELLER, Kevin Lane. **Administração de marketing**. 14. ed. São Paulo: Pearson, 2012.

LUZ, Ricardo Silveira. **Clima organizacional**. Rio de Janeiro: Qualimark, 1996.

MALHOTRA, Naresh K. **Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

PINHO, José Benedito. **Comunicação em marketing**. São Paulo: Papirus, 2004.
PINK, Daniel H. **Motivação 3.0**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

PINK, Daniel H. **Drive: the surprising truth about what motivates us**. New York: Riverhead Books, 2011.

ROBBINS, Stephen P. **Comportamento organizacional**. 11. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2006.

ROBBINS, Stephen P.; JUDGE, Timothy A. **Comportamento organizacional**. 14. ed. São Paulo: Pearson, 2014.

SCHAUFELI, Wilmar B. et al. **Burnout and engagement in university students: a cross-national study**. Journal of Cross-Cultural Psychology, v. 33, n. 5, p. 464–481, 2002.

SCHAUFELI, Wilmar B.; BAKKER, Arnold B. **Utrecht Work Engagement Scale (*UWES*): preliminary manual**. Utrecht: Utrecht University, 2003.

Fatec Itapetininga | PERSPECTIVA
EDUCAÇÃO, GESTÃO & TECNOLOGIA
v.15 n.29 jan-jun/2026

POLÍTICA NACIONAL DE SUBSTITUIÇÃO DA EXPORTAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO POR PRODUTOS SIDERÚRGICOS
NATIONAL POLICY FOR REPLACING THE EXPORT OF IRON ORE WITH STEEL PRODUCTS

Flavia de Jesus Arantes Andrade[1]
Leonardo Pires Rodrigues Ferreira[2]
Nicolas Antônio de Oliveira Nogueira[3]
Henrique Mitsuharu Demiya[4]
Silvia Roberta de Jesus Garcia[5]

RESUMO: Este artigo analisou a viabilidade estratégica de substituir a exportação de minério de ferro (commodity bruta) por produtos siderúrgicos (aço de alto valor agregado) no Brasil. Atualmente, o país consolida-se como o segundo maior produtor mundial de minério, porém ocupa apenas a nona posição na produção global de aço (World Steel Association, 2024). Essa disparidade resulta em perda de valor agregado e vulnerabilidade econômica perante as oscilações de preços internacionais, lideradas pela demanda chinesa. Através de pesquisa qualitativa, quantitativa e documental, o estudo avalia as vantagens competitivas das reservas de hematita de alta pureza no Quadrilátero Ferrífero e em Carajás. Os resultados demonstram que a verticalização da cadeia produtiva, amparada por uma infraestrutura logística já consolidada, é o caminho fundamental para a soberania industrial brasileira no século XXI. A discussão destaca que tal mudança exige um projeto de Estado de longo prazo, enfrentando desafios como o elevado custo de implantação e a necessidade de segurança energética. Conclui-se que o fomento à "siderurgia verde", fundamentado no uso de Hidrogênio Verde e biocarvão, posiciona o país como líder na nova ordem climática global, transformando o potencial mineral bruto em desenvolvimento sustentável e inserção estratégica nas cadeias globais de valor.
Palavras-chave: Aço verde; Comércio exterior; Desenvolvimento sustentável Produção global; Industrialização; Valor agregado.

ABSTRACT: This article analyzed the strategic feasibility of replacing iron ore exports (raw commodity) with steel products (high value-added steel) in Brazil. Currently, the country is established as the world's second-largest ore producer, yet it occupies only the ninth position in global steel production (World Steel Association, 2024). This disparity results in a loss of added value and economic vulnerability to international price fluctuations, led by Chinese demand. Through qualitative, quantitative and documentary research, the study evaluates the competitive advantages of high-purity hematite reserves in the Iron Quadrangle and Carajás. The results demonstrate that the verticalization of the production chain, supported by a consolidated logistics infrastructure, is the fundamental path to Brazilian industrial sovereignty in the 21st century. The discussion highlights that such a change requires a long-term State project, facing challenges such as high implementation costs and the need for energy security. It concludes that the promotion of "green steelmaking", based on the use of Green Hydrogen and biochar, positions the country as a leader in the new global climate order, transforming raw mineral potential into sustainable development and strategic insertion into global value chains.
Keywords: Added value; Foreign trade; Green metallurgy; Global production; Industrialization; Sustainable development.

Comércio Exterior - Fatec Itapetininga - E-mail: flavia.andrade01@fatec.sp.gov.br[1]
Comércio Exterior - Fatec Itapetininga - E-mail: leonardo.ferreira40@fatec.sp.gov.br[2]
Comércio Exterior - Fatec Itapetininga - E-mail: nicolas.nogueira@fatec.sp.gov.br [3]
Prof. Orientador Mestre - Fatec Itapetininga - E-mail: - henrique.demiya@fatec.sp.gov.br [4]
Profª. Coorientadora Mestre - Fatec Itapetininga - E-mail: silvia.garcia01@fatec.sp.gov.br [5]

1 INTRODUÇÃO

A exportação de minério de ferro constitui um dos pilares da pauta comercial brasileira, consolidando o país como o segundo maior produtor mundial (IBRAM, 2023). Embora o Brasil se consolide como o segundo maior produtor mundial de minério de ferro, existe um descompasso estratégico quando se analisa a transformação dessa matéria-prima em produtos industrializados. Segundo dados da World Steel Association (2024), o país ocupa atualmente a nona posição no ranking global de produção de aço bruto.

Essa disparidade evidencia um modelo econômico focado na exportação da commodity em seu estado primário, o que resulta em uma reduzida retenção de valor agregado no mercado interno. Ao priorizar o embarque do minério bruto em vez do aço processado, o país abdica de benefícios socioeconômicos fundamentais, como o desenvolvimento de tecnologias de ponta, a criação de postos de trabalho altamente qualificados e uma receita cambial significativamente superior, mantendo-se vulnerável às flutuações de preços impostas pelo mercado internacional (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2021).

No cenário global, a China exerce domínio ao responder por aproximadamente 54% da produção mundial de aço em 2023, consolidando sua liderança por meio de investimentos massivos em modernização tecnológica e na transição para processos produtivos de menor intensidade de carbono (World Steel Association, 2024).

Diante deste cenário, o estudo analisa a viabilidade de uma Política Nacional voltada à substituição da exportação primária de minério de ferro por produtos siderúrgicos. O objetivo é reduzir a dependência de *commodities* e fortalecer a posição do Brasil no cenário econômico global. A proposta central foca no incentivo à construção de siderúrgicas próximas às jazidas em Minas Gerais e no Pará, promovendo a verticalização da cadeia produtiva e o desenvolvimento industrial sustentável.

2 METODOLOGIA

Este estudo adotou uma abordagem mista, integrando as naturezas qualitativa e quantitativa em um caráter exploratório e aplicado. A vertente qualitativa permitiu a análise subjetiva e normativa da viabilidade da Política Nacional de substituição da

exportação de minério de ferro por produtos siderúrgicos. Segundo Gil (2019), pesquisas exploratórias facilitam a aproximação com problemas pouco estudados, levantando hipóteses para a compreensão do fenômeno. A investigação é orientada pelo método indutivo, partindo da observação de dados particulares da exportação e produção para construir inferências de caráter universal sobre a [1]verticalização da cadeia produtiva.

Quanto aos procedimentos, a pesquisa caracteriza-se como bibliográfica e documental. A pesquisa bibliográfica consistiu na análise de materiais já publicados, como livros, artigos científicos e trabalhos acadêmicos, o que permitiu a construção sólida do referencial teórico do estudo (Prodanov; Freitas, 2013).

Complementarmente, a vertente documental alicerçou-se no levantamento de dados estatísticos, relatórios institucionais e documentos oficiais de órgãos como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), Agência Nacional de Mineração (ANM),Organização Mundial do Comércio (OMC), World Steel Association (WSA) e World Population Review (WPR).

A coleta de dados foi realizada por meio da busca e seleção criteriosa de textos e relatórios técnicos relevantes ao tema, considerando critérios de atualidade e confiabilidade das fontes. A análise dessas informações foi conduzida por meio da técnica de análise de conteúdo e análise comparativa, visando identificar os obstáculos regulatórios e as potencialidades logísticas que subsidiem a formulação das políticas industriais propostas neste estudo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 PANORAMA GLOBAL DO MERCADO DE MINÉRIO DE FERRO

No âmbito do comércio internacional, a China posiciona-se como a maior consumidora e importadora de minério de ferro do mundo, com importações avaliadas em aproximadamente US$ 113 bilhões em 2023, o que evidencia sua expressiva capacidade produtiva e a dependência de sua indústria siderúrgica desse insumo

[1] Verticalização da cadeia produtiva é o processo de integração de etapas sucessivas de produção que visa transformar a matéria-prima básica em produtos de maior valor agregado dentro do território nacional.

(OEC, 2023). Em contrapartida, o suprimento global é estruturado em torno do domínio produtivo da Austrália e do Brasil, nações que controlam o fluxo transoceânico de alta escala. Essa cadeia de suprimentos é liderada por um grupo restrito de corporações globais, como Vale, Rio Tinto, BHP e Fortescue, que operam sistemas logísticos integrados e tecnologias de mineração de ponta. Tal concentração, tanto empresarial quanto nacional, reforça a importância estratégica de ativos como portos e ferrovias, que são determinantes para a manutenção da eficiência operacional e da captura de valor na cadeia minerária mundial (Government of Western Australia, 2024; VALE, 2024).

3.2 DINÂMICA DA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA INTERNACIONAL

A produção mundial de aço bruto, cujos indicadores estão sistematizados na Tabela 1, atingiu o patamar de 1.882,6 milhões de toneladas em 2024, registrando uma leve retração global de 0,8%. A China permanece como o eixo central da siderurgia internacional, respondendo por mais de 50% da oferta global, mesmo diante da queda de 1,7% impulsionada pela desaceleração de seu consumo interno. Paralelamente, nota-se um avanço consistente em economias emergentes: a Índia firmou sua posição como o segundo maior produtor global com alta de 6,3%, e o Brasil apresentou crescimento de 5,3%, totalizando 33,7 milhões de toneladas. Esse panorama evidencia uma transição produtiva em que nações em desenvolvimento ampliam sua relevância estratégica frente à estabilidade ou retração de potências tradicionais como Japão e Estados Unidos (World Steel Association, 2024a).

Tabela 1 – Análise dos principais produtores de Aço no mundo no período de 2023/2024

Pos.	País	2024 (Mt)	2023 (Mt)	Var. (%)
1º	China	1.005,10	1.022,50	-1,70%
2º	Índia	149,6	140,8	6,30%
3º	Japão	84	87	-3,40%
4º	Estados Unidos	79,5	81,4	-2,40%
5º	Rússia	70,7	76	-7,00%
6º	Coreia do Sul	63,5	66,7	-4,70%
7º	Alemanha	37,2	35,4	5,20%
8º	Turquia	36,9	33,7	9,40%
9º	**Brasil**	**33,7**	**32**	**5,30%**
10º	Irã	31	30,7	0,80%
-	**Total Mundial**	**1.882,60**	**1.897,80**	**-0,80%**

Fonte: World Steel Association (2024).

3.3 O CENÁRIO BRASILEIRO E A DEFASAGEM DA INDUSTRIALIZAÇÃO

O Brasil se estabelece como um dos principais atores globais na produção de minério de ferro, ocupando posição de destaque no cenário internacional, sendo o segundo maior produtor mundial, atrás apenas da Austrália (IBRAM, 2026). A produção nacional concentra-se majoritariamente em duas grandes províncias minerais: O Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, e a Província Mineral de Carajás, no Pará, que estruturam a base da atividade mineradora no país e concentram a maior parte da produção nacional (Cardoso, 2021). Entretanto ao exportar minério de ferro como commodity de baixo valor unitário, o país perde a oportunidade de capturar o valor agregado gerado pela conversão da hematita[2] em aço laminado ou produtos manufaturados. Esse cenário é agravado por fatores estruturais, como o elevado custo da energia e deficiências logísticas, que reduzem a competitividade da indústria nacional e desestimulam investimentos no setor siderúrgico (Kiyokawa, 2024).

3.4 TEORIA DA LOCALIZAÇÃO E LOGÍSTICA SIDERÚRGICA

[2] A hematita é um óxido de ferro que, em seu estado puro, contém cerca de 70% de ferro. No mercado internacional, o Brasil é privilegiado pois possui jazidas (especialmente em Carajás) com teores de pureza superiores a 65%, o que reduz o custo de processamento nos altos-fornos e gera menos resíduos.

A viabilidade de parques siderúrgicos está intrinsecamente ligada à minimização dos custos de transporte, conforme estabelecido pela Teoria da Localização Industrial de Weber Alfred (1929), que preconiza a instalação da unidade produtiva próxima às fontes de matéria-prima quando estas são pesadas e volumosas. No Brasil, construir usinas próximas às jazidas de Minas Gerais e Pará é economicamente justificável, pois reduz substancialmente o custo logístico de transporte do minério fragmentado.

O sucesso desse arranjo produtivo está diretamente condicionado à integração eficiente entre infraestrutura logística especialmente ferroviária e portuária e a disponibilidade de uma base energética robusta. A concentração da atividade mineral nos estados de Minas Gerais e Pará, que, conjuntamente, responderam por 76% do faturamento do setor, com valores de R$108,3 bilhões e R$97,6 bilhões, respectivamente, evidencia a centralidade dessas regiões na estrutura produtiva mineral brasileira, bem como seu potencial estratégico para a atração de investimentos industriais e a expansão da cadeia siderúrgica (Rodrigues, 2025). Políticas de financiamento estruturadas principalmente através do [3]BNDES, são fundamentais para viabilizar projetos de infraestrutura siderúrgica de alta complexidade (BNDES, 2026).

3.5 CRITÉRIOS ESG E A EMERGÊNCIA DO "AÇO VERDE"

A incorporação de critérios ambientais, sociais e de governança (ESG) tornou-se uma tendência global consolidada, sendo essencial para a competitividade de longo prazo e acesso a mercados exigentes como a União Europeia. Na prática essa integração demonstra a viabilidade de conciliar o desempenho econômico com a preservação ambiental e a responsabilidade social, elementos fundamentais para a consolidação de um setor de aço sustentável (Aço Verde do Brasil, 2025). A produção do chamado "aço verde" exemplifica essa inovação, ao substituir insumos fósseis por fontes renováveis nos altos-fornos, reduzindo drasticamente as emissões de CO2.

[3] BNDES: O Banco Nacional do Desenvolvimento é uma instituição financeira pública federal, vinculada ao Governo do Brasil, criada em 1952, cuja principal função é financiar o desenvolvimento econômico do país.

Nesse contexto, destaca-se o uso do hidrogênio verde[4] como agente redutor na siderurgia, substituindo o carbono tradicionalmente empregado no processo produtivo e resultando na emissão de vapor d'água em lugar de dióxido de carbono, o que representa um avanço significativo na descarbonização da indústria pesada.

No Brasil, a empresa Aço Verde do Brasil (AVB) lidera esse movimento ao utilizar biocarvão proveniente de reflorestamento sustentável e aproveitar 100% dos gases de processo, tornando-se a primeira siderúrgica do mundo com pegada zero de carbono (AVB, 2025). A adoção dessas práticas por um futuro Banco Brasileiro de Exportação e Importação (BBEI) ou por políticas de crédito direcionadas pode estimular a inovação e reduzir riscos reputacionais da indústria nacional. Empresas que adotam práticas ESG não apenas ampliam sua inserção internacional, mas também garantem acesso a linhas de crédito mais competitivas.

3.6 POLÍTICA PÚBLICA DE FINANCIAMENTO PARA A VERTICALIZAÇÃO DA CADEIA SIDERÚRGICA NO BRASIL

A viabilização de uma política nacional voltada à verticalização da cadeia produtiva do minério de ferro no Brasil demanda, invariavelmente, a implementação de mecanismos estruturados de financiamento industrial. Dada a natureza de capital intensivo e os longos prazos de maturação dos projetos siderúrgicos, o crédito público assume um papel estratégico na mitigação de riscos e na viabilização de externalidades positivas[5]. Nesse contexto, as linhas de financiamento do BNDES Finem configuram-se como instrumentos estratégicos para a viabilização de projetos de grande porte, possibilitando o aporte de capital em infraestrutura produtiva e logística. Complementarmente, o BNDES Finame desempenha papel central no adensamento tecnológico do parque industrial, ao fomentar a aquisição de máquinas, equipamentos e sistemas de automação, contribuindo para a modernização da indústria nacional e o fortalecimento da cadeia de fornecedores (BNDES, 2024).

[4] Hidrogênio verde: é o hidrogênio produzido por eletrólise da água com uso de energia renovável, sem emissão de gases de efeito estufa, sendo considerado um insumo estratégico para a produção de aço verde, que utiliza fontes limpas e processos de baixa emissão de carbono em substituição aos métodos tradicionais baseados em combustíveis fósseis.

[5] Externalidades positivas são benefícios gerados por uma atividade econômica que atinge terceiros não envolvidos diretamente na transação, como ganhos sociais, tecnológicos ou ambientais.

Sob a ótica da engenharia financeira, a sustentabilidade desses empreendimentos de grande escala requer a adoção de modelos híbridos de capital. A literatura e a prática recente sugerem a utilização de estruturas de *project finance*, nas quais o risco é distribuído de forma tripartite: uma participação estatal relevante de 40% via BNDES, complementada por 30% de aporte de capital privado e 30% captados junto ao mercado financeiro. Essa configuração não apenas dilui a exposição ao risco de crédito, mas também amplia a governança e a capacidade de investimento, garantindo a viabilidade financeira diante da volatilidade do mercado de comodities. A eficácia desse modelo de intervenção estatal é corroborada pela experiência recente da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN). O aporte de Um Bilhão e Cento e Treze milhões de Reais, concedido pelo BNDES para a modernização da Usina de Volta Redonda, exemplifica a aplicação prática do crédito direcionado à inovação e à redução de emissões atmosféricas. Este caso concreto ratifica que o fomento público não atua apenas como suporte, mas como um catalisador de práticas sustentáveis e tecnológicas. Assim, a expansão dessa política para a criação de novos polos siderúrgicos regionais encontra respaldo em precedentes operacionais sólidos, consolidando o financiamento público como o eixo central para a superação de lacunas no setor industrial brasileiro (BNDES, 2025).

4 ANÁLISE DE DADOS

4.1 ANÁLISE DOS PRINCIPAIS PRODUTORES DE MINÉRIO DE FERRO NO MUNDO

A configuração do mercado extrativo global, detalhada na Tabela 2, evidencia um cenário de oligopólio dominado por empresas que operam com elevada eficiência logística e escala produtiva. O domínio do setor é exercido majoritariamente por grandes mineradoras australianas e pela brasileira Vale S.A., que estruturam a base do suprimento global para as principais economias siderúrgicas, especialmente na Ásia (OEC, 2023).

A Vale S.A. consolida-se como uma das maiores produtoras globais individuais, com produção estimada em aproximadamente 328 Mt em 2024 (VALE, 2025). Entre seus principais concorrentes, a Rio Tinto registrou produção de cerca de 328 Mt de

minério de ferro em suas operações de Pilbara em 2024, enquanto a BHP manteve produção anual na faixa de 255–260 Mt (RIO TINTO, 2024; BHP, 2024).

O diferencial competitivo brasileiro reside não apenas no volume, mas na qualidade superior do minério extraído no Quadrilátero Ferrífero e em Carajás. O minério brasileiro apresenta teores de ferro mais elevados, o que reduz o consumo energético nos altos-fornos e aumenta sua atratividade na transição para uma siderurgia de menor intensidade de carbono (VALE, 2025; IEA, 2020).

Contudo, a análise desses dados reforça o paradoxo estratégico discutido nesta pesquisa: a liderança na extração de matéria-prima de alta qualidade não se traduz, necessariamente, em liderança na cadeia de valor siderúrgica. Enquanto grandes mineradoras operam sob uma lógica de exportação massiva para sustentar a indústria asiática, especialmente a chinesa, o Brasil permanece predominantemente na base da cadeia produtiva, com forte dependência da exportação de commodities primárias (OEC, 2023; IPEA, 2021). Essa realidade válida a urgência de uma política de verticalização que aproveite a vantagem comparativa da Vale S.A. para gerar vantagem competitiva industrial em território nacional.

Tabela 2 – Análise dos principais produtores de minério de ferro no mundo no período de 2025 e o maior Importador do minério

Categoria	Indicador	Valor Estimado / País
Produção	Produção da Austrália (2025)	960 milhões de toneladas
Produção	Produção do Brasil (2025)	440 milhões de toneladas
Consumo	Maior Importador Mundial	China
Financeiro	Valor de Importação da China (2023)	US$ 113 bilhões

Fonte: Adaptado de World Steel Association (2024) e EPE (2024).

4.2 ANÁLISE DOS PRINCIPAIS PRODUTORES DE AÇO NO MUNDO

A Tabela 3 evidencia a disparidade de volume entre os principais produtores globais. Enquanto a China mantém a liderança absoluta com uma produção superior a 1 bilhão de toneladas (apesar de uma leve retração de 1,7%), a Índia e o Brasil consolidam-se como vetores de crescimento no cenário emergente, ocupando a 2ª e 9ª posição no ranking mundial, respectivamente. O dinamismo brasileiro (+5,3%) é particularmente relevante no contexto deste artigo, pois sinaliza o esforço nacional

em expandir a capacidade de transformação industrial diante de sua vasta oferta mineral.

Tabela 3 – Análise dos principais produtores de aço no mundo no período de 2024

Rank	País	Produção 2024 (Mt)	Variação (%) 24/23	Eficiência (CO_2/Energia)
1º	China	1.005,10	-1,70%	Baixa: Alta intensidade de carbono devido ao uso de carvão mineral (BF-BOF).
2º	Índia	149,6	+6,3%	Baixa: Elevada intensidade de CO_2 pelo uso de carvão no processo DRI.
9º	Brasil	33,7	+5,3%	Alta: Referência em "Aço Verde" com uso de biocarvão e energia limpa.

Fonte: Adaptado de World Steel Association (2024a).

4.3 SIMULAÇÃO DE INVESTIMENTO PARA NOVAS UNIDADES SIDERÚRGICAS

A análise dos dados projetados na Tabela 5 revela que a implementação de uma unidade siderúrgica de escala global no Brasil exige um aporte de capital intensivo, com variações de CAPEX *(Capital Expenditure)* entre R$ 15,0 bilhões, para o polo em Minas Gerais, e R$ 18,5 bilhões, para a unidade no Pará. Essa disparidade de valores fundamenta-se na natureza tecnológica de cada projeto: enquanto o polo mineiro orienta-se à modernização da aciaria[6] e laminação para o mercado interno, a unidade paraense foca na Redução Direta (DRI) e no uso de hidrogênio verde, visando a exportação de aço de baixo carbono.

Sob a ótica da engenharia financeira, a sustentabilidade de ambos os empreendimentos se vincula a um modelo de *project finance* tripartite, no qual o BNDES atua como financiador âncora (40%), mitigando riscos para a entrada de capital privado (30%) e recursos captados via mercado financeiro (30%). Assim, a viabilização de cada unidade produtiva nos polos de Carajás e do Quadrilátero Ferrífero não apenas aproveita as vantagens logísticas e minerais regionais, mas estabelece uma estrutura de governança híbrida essencial para superar o hiato de industrialização do setor siderúrgico nacional (BNDES, 2025).

[6] Aciaria corresponde à etapa do processo siderúrgico destinada à conversão do ferro-gusa ou da sucata metálica em aço, por meio de processos físico-químicos de refino, que visam à remoção de impurezas e ao ajuste controlado da composição química do material.

Tabela 4 – Simulação de Investimento para Novas Unidades Siderúrgicas

Parâmetro de Simulação	1 Unidade Polo Quadrilátero Ferrífero (MG)	1 Unidade Polo Carajás (PA)
Perfil da Unidade	Planta Integrada (Foco em Mercado Interno)	Planta de Redução Direta (Foco em Exportação)
Capacidade Estimada	3,0 Milhões de Toneladas/ano	3,5 Milhões de Toneladas/ano
CAPEX (Investimento Total)	R$ 15,0 Bilhões	R$ 18,5 Bilhões
Financiamento BNDES (40%)	R$ 6,0 Bilhões	R$ 7,4 Bilhões
Capital Privado (30%)	R$ 4,5 Bilhões	R$ 5,55 Bilhões
Mercado Financeiro (30%)	R$ 4,5 Bilhões	R$ 5,55 Bilhões
Diferencial Tecnológico	Modernização de Aciaria e Laminação Automotiva	Redução Direta (DRI) e Hidrogênio Verde
Vantagem Estratégica	Proximidade ao polo industrial do Sudeste	Aço Verde de alto teor (Hematita de Carajás)
Logística de Escoamento	Malha Ferroviária Sul-Sudeste	Ferrovia Carajás e Porto de Itaqui

Fonte: Autoria própria (2026), com base em parâmetros de mercado e diretrizes do BNDES (2025).

Do ponto de vista tecnológico e operacional, as configurações produtivas das unidades siderúrgicas propostas apresentam diferenças estruturais relevantes. A planta integrada no Quadrilátero Ferrífero fundamenta-se na rota tradicional alto-forno, caracterizada pela utilização de minério de ferro aglomerado e carvão coqueificável[7] como agente redutor, implicando elevada intensidade energética e maior emissão específica de dióxido de carbono (CO_2) por tonelada de aço produzida. Em contrapartida, a unidade projetada para a região de Carajás adota a rota de Redução Direta do Ferro DRI (Direct Reduced Iron), potencialmente integrada a fornos elétricos a arco EAF (Electric Arc Furnace), com perspectiva de substituição do gás natural por hidrogênio verde como agente redutor. Tal configuração tecnológica possibilita redução significativa das emissões de gases de efeito estufa, estando alinhada às diretrizes globais de descarbonização da indústria siderúrgica e às práticas ESG (Environmental, Social and Governance).

[7] Coqueificável é o tipo de carvão mineral que, ao ser aquecido na ausência de oxigênio, transforma-se em coque, material essencial como agente redutor e fonte de energia nos altos-fornos da siderurgia.

Ademais, a elevada pureza da hematita presente na província mineral de Carajás contribui para ganhos de eficiência no processo de redução direta, reduzindo o consumo específico de energia e insumos. Nesse contexto, a escolha entre as rotas BF-BOF e DRI-EAF transcende critérios estritamente econômicos, envolvendo decisões estratégicas relacionadas à competitividade internacional e à inserção do Brasil no mercado de aço de baixo carbono (World Steel Association, 2023; IEA, 2022).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da Tabela 5 quantifica a magnitude da verticalização mineral proposta para os polos de Minas Gerais e Pará. O processamento integral de 450 Mt/ano de minério resultaria em um potencial de 265 Mt de aço bruto, volume que elevaria o Brasil à segunda posição no ranking siderúrgico global. Essa mudança estratégica permitiria substituir a atual dependência da exportação de commodities primárias por produtos de maior complexidade industrial. Nesse sentido, o adensamento da cadeia produtiva do ferro configura-se como o principal mecanismo de captura de valor no território nacional, ao transformar o minério bruto em aço e fortalecer a indústria de transformação (Banco Do Nordeste Do Brasil, 2021).

O ponto mais crítico para a viabilidade técnica desse projeto reside no gap energético. Conforme os dados do Balanço Energético Nacional, a demanda projetada de [8]130 TWh/ano representa aproximadamente 25% de todo o consumo de energia elétrica do Brasil (EPE, 2024). O referido documento também evidencia que a produção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte (PA) é majoritariamente direcionada aos centros de carga das regiões Sudeste e Centro-Oeste por meio do Sistema Interligado Nacional (SIN). A retenção estratégica dessa energia no polo de Carajás funcionaria como uma âncora local de desenvolvimento, reduzindo perdas na transmissão e fornecendo a base necessária para as 18 a 20 unidades industriais estimadas para a região Norte.

Somado a isso, o consumo de 106 Mt de coque evidencia o desafio logístico de insumos redutores. Sob a ótica da Teoria da Localização Industrial, a instalação dessas usinas próximas às jazidas minimiza o custo de transporte do minério, insumo

[8] TWh/ano (terawatt-hora por ano) é uma unidade de medida de energia que representa o consumo ou produção total de eletricidade ao longo de um ano

de elevada densidade e volume (Weber, 1929). A sustentabilidade do modelo, entretanto, depende da transição para o biocarvão de reflorestamento, medida que, segundo projeções da matriz energética nacional, pode mitigar o risco de importação massiva de carvão mineral e consolidar o diferencial competitivo do "aço verde" brasileiro no mercado internacional (EPE, 2024).

Tabela 5 – Estimativa de insumos e demanda elétrica para transformação do minério de ferro de MG e PA em aço

Variável	Total (Brasil)	Polo Carajás (PA)	Polo Quadrilátero (MG)
Produção de Minério (Mt/ano)	450	230	220
Produção Potencial de Aço (Mt/ano)	265	135	130
Consumo de Coque (Mt/ano)	106	52	54
Consumo de Energia (TWh/ano)	130	65	65
Nº Estimado de Siderúrgicas	35 – 40	18 – 20	17 – 20
Custo Total estimado R$	670 Bi	370 Bi	300 Bi

Fonte: Adaptado de World Steel Association (2024) e EPE (2024).

Propõe-se a implementação de uma Política Nacional voltada à substituição da exportação primária de minério de ferro pela produção interna de aço de maior valor agregado, como estratégia para fortalecer a indústria nacional e reduzir a dependência de commodities. Os resultados indicam que o Brasil possui condições estruturais favoráveis para essa transição, destacando-se pela abundância mineral, qualidade do minério e matriz energética predominantemente renovável.

Entretanto, evidencia-se um paradoxo produtivo: apesar de ser um dos maiores produtores de minério de ferro, o país apresenta participação limitada na produção global de aço, ao contrário de economias como a China, que internalizam a agregação de valor (World Steel Association, 2024; World Population Review, 2025). À luz da Teoria da Localização Industrial (Weber, 1929), a manutenção do modelo exportador configura-se como ineficiente, ao transferir ao exterior as etapas de maior valor agregado (IPEA, 2021).

A análise demonstra que a verticalização da cadeia produtiva é viável no longo prazo, porém condicionada à superação do principal gargalo identificado: a demanda energética. Apesar disso, a matriz energética limpa do Brasil representa uma vantagem competitiva, permitindo o desenvolvimento de uma siderurgia de baixo carbono baseada no conceito de "aço verde" (AVB, 2025). No âmbito financeiro, a

viabilidade dos projetos depende de modelos estruturados de financiamento, com destaque para o *project finance* e a atuação do BNDES como agente indutor, reduzindo riscos e atraindo investimentos privados (BNDES, 2024; BNDES, 2025).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu verificar que a implementação de uma Política Nacional de Substituição da Exportação de Minério de Ferro por Produtos Siderúrgicos é a via fundamental para a soberania industrial brasileira no século XXI. Contudo, a magnitude do investimento requeridos com base nas apresentadas é de R$ 15 bilhões há R$ 18 bilhões por siderúrgica, e a complexidade das obras de infraestrutura indicam que tal política deve ser encarada como um projeto de Estado de longo prazo, com implementação faseada ao longo das próximas décadas.

Os resultados evidenciam que o maior desafio reside na coordenação estatal para suprir a demanda energética monumental e no fomento à Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) de tecnologias que eliminem o gargalo do coque mineral. A industrialização acelerada, amparada pela verticalização próxima às jazidas, validou-se como a estratégia mais eficiente para promover o desenvolvimento regional sustentável, reduzindo a dependência da economia brasileira das oscilações de preço das commodities brutas no mercado asiático e elevando a complexidade econômica nacional.

Adicionalmente, o Brasil já dispõe de infraestrutura logística estratégica capaz de suportar a expansão do parque siderúrgico. No eixo Norte, a integração entre a Estrada de Ferro Carajás e o Porto de Itaqui constitui um corredor logístico consolidado para escoamento de minério e, potencialmente, de produtos siderúrgicos. No eixo Sudeste, a malha ferroviária interliga o Quadrilátero Ferrífero aos principais polos industriais e portuários, como os portos de Tubarão (ES) e Itaguaí (RJ), onde representa uma vantagem competitiva relevante para a distribuição no mercado interno e exportação. A otimização e modernização desses ativos logísticos existentes reduzem a necessidade de investimentos *greenfield*[9] em infraestrutura, aumentando a viabilidade econômica dos projetos siderúrgicos.

[9] Greenfield: refere-se a projetos industriais ou de investimento iniciados do zero, em áreas sem infraestrutura pré-existente, envolvendo a construção de novas instalações produtivas.

Adicionalmente, a transição para uma siderurgia de alto valor agregado posicionaria o Brasil não apenas como um fornecedor de insumos básicos, mas como um protagonista geopolítico central na nova economia global de baixo carbono. A capacidade única de integrar a abundância de recursos minerais de alta qualidade com uma matriz energética predominantemente limpa cria um diferencial competitivo estratégico frente a grandes competidores que ainda dependem fortemente de combustíveis fósseis. Portanto, a implementação dessa Política Nacional deve ser acompanhada por uma diplomacia comercial ativa e coordenada, voltada para a abertura de mercados que priorizam a sustentabilidade e a rastreabilidade produtiva em suas normas de importação. Ao dominar a cadeia do aço verde, o país assegura sua resiliência e relevância nas cadeias globais de valor, protegendo-se de futuras barreiras tarifárias ambientais e consolidando um novo ciclo de desenvolvimento que equilibra de forma inédita o crescimento econômico, a preservação ambiental e a justiça social nas regiões produtoras.

Como pauta de sugestão, recomenda-se que o governo federal estruture não apenas incentivos fiscais para usinas que adotarem o Hidrogênio Verde e o biocarvão em escala industrial, mas também programas de fomento à inovação para tecnologias compatíveis com a siderurgia de baixa emissão (como a Redução Direta). O investimento em ciência e tecnologia é o pilar que garantirá que o país não apenas produza aço, mas domine os processos produtivos do futuro. Além disso, sugere-se que futuras pesquisas aprofundem o estudo sobre a integração de usinas solares e eólicas dedicadas e a viabilidade de pequenos reatores modulares (SMR) para garantir a estabilidade energética do novo parque siderúrgico. Em suma, deixar de ser a "mina do mundo" para se tornar a "siderúrgica verde do mundo" é uma necessidade de sobrevivência econômica e industrial frente à nova ordem climática global.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AÇO VERDE DO BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade 2024.** Açailândia: AVB, 2025. Disponível em: https://avb.com.br/wp-content/uploads/2025/07/RELATORIO-DE-SUSTENTABILIDADE-2024.pdf. Acesso em: 12 jan. 2026.

BANCO DO NORDESTE DO BRASIL. **Siderurgia: panorama e perspectivas. Fortaleza: BNB, 2021.** (Caderno de estudos e desenvolvimento sustentável, n. 212). Disponível em: https://bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1109/1/2021_CDS_212.pdf. Acesso em: 24 fev. 2026.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **BNDES aprova R$ 1,13 bi para CSN tornar mais sustentável usina de Volta Redonda (RJ)**. Agência BNDES de Notícias, Rio de Janeiro, 29 dez. 2025. Disponível em: https://agenciadenoticias.bndes.gov.br/detalhe/noticia/BNDES-aprova-R$-113-bi-para-CSN-tornar-mais-sustentavel-usina-de-Volta-Redonda-RJ/. Acesso em: 25 mar. 2026.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **BNDES Finame**. Rio de Janeiro: BNDES, 2024. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finame-todos. Acesso em: 25 mar. 2026.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL**. BNDES Finem – Indústria, comércio e serviços.** Rio de Janeiro: BNDES, [2024?]. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/solucao/solucao-finem-industria-comercio-servicos#!/. Acesso em: 25 mar. 2026.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **BNDES Project Finance.** Rio de Janeiro: BNDES, [2024?]. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-project-finance. Acesso em: 25 mar. 2026.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Desde 2023, BNDES já aprovou R$ 13,1 bilhões para o setor de metalurgia no país**. Agência BNDES de Notícias, Rio de Janeiro, 20 jan. 2026. Disponível em: https://agenciadenoticias.bndes.gov.br/detalhe/noticia/Desde-2023-BNDES-ja-aprovou-R$-131-bilhoes-para-o-setor-de-metalurgia-no-pais/. Acesso em: 24 mar. 2026.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Relatório Anual 2024**. Rio de Janeiro: BNDES, 2025. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/hotsites/Relatorio_Anual_2024/BNDES-RA2024-FINAL-WEB.pdf. Acesso em: 18 mar. 2026.

BHP. **Annual Report 2024**. [S. l.]: BHP, 2024. Disponível em: https://www.bhp.com/investors/annual-reporting/annual-report-2024. Acesso em: 25 mar. 2026.

CARDOSO, Daniel Monte. **Evolução recente do market share das exportações minerais brasileiras**. Brasília: IPEA, 2021. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/server/api/core/bitstreams/faa26ec9-7bdd-4019-a914-535d7dd91279/content. Acesso em: 24 mar. 2026.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2024**: Relatório Síntese - ano base 2023. Rio de Janeiro: EPE, 2024. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-715/BEN_S%C3%ADntese_2024_PT.pdf. Acesso em: 15 mar. 2026.

GIL, Antonio Carlos**. Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2019.
INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Setor mineral 2025**. Brasília: IBRAM, 2026. Disponível em: https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2026/02/02.02.2026-Setor-Mineral-2025.pdf. Acesso em: 24 mar. 2026.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Siderurgia e Desindustrialização Precoce.** Brasília: IPEA, 2021. p. 26-28. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/server/api/core/bitstreams/4a91a986-640d-4526-b18a-a84a45a8d81b/content. Acesso em: 10 jan. 2026.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Iron and Steel Technology Roadmap**. Paris: IEA, 2020. Disponível em: https://www.iea.org/reports/iron-and-steel-technology-roadmap. Acesso em: 25 mar. 2026.

KIYOKAWA, José Victor Mori. **Desindustrialização: conceitos e reflexos na economia brasileira.** 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2024. Disponível em: https://tede2.pucsp.br/bitstream/handle/44384/1/Jos%C3%A9%20Victor%20Mori%20Kiyokawa.pdf. Acesso em: 24 mar. 2026.

OBSERVATORY OF ECONOMIC COMPLEXITY. **Iron Ore (Minério de Ferro) Profile 2023. [S. l.]:** OEC Data, 2023. Disponível em: https://oec.world/en/profile/hs/iron-ore. Acesso em: 4 fev. 2026.

OBSERVATORY OF ECONOMIC COMPLEXITY. **Iron ore. [S. l.]: OEC, [2024?].** Disponível em: https://oec.world/en/profile/hs/iron-ore. Acesso em: 25 mar. 2026.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RODRIGUES, Léo. **Faturamento do setor mineral cresceu 9,1% em 2024. Agência Brasil, Rio de Janeiro, 5 fev. 2025.** Disponível em:

https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2025-02/faturamento-do-setor-mineral-cresceu-91-em-2024. Acesso em: 24 mar. 2026.

VALE S.A. **Resultados do 4º Trimestre e do Ano de 2024**. Rio de Janeiro: Vale, 2025. Disponível em: https://vale.com/pt/confira-os-resultados-financeiros-do-4t24. Acesso em: 16 fev. 2026.

GOVERNMENT OF WESTERN AUSTRALIA. **Western Australia iron ore profile**. Perth: Department of Jobs, Tourism, Science and Innovation, 2024. Disponível em: https://www.wa.gov.au/system/files/2025-01/waironoreprofiledec2024.docx. Acesso em: 24 mar. 2026.

WEBER, Alfred. **Theory of the location of industries**. Chicago: University of Chicago Press, 1929.

WORLD STEEL ASSOCIATION. **World steel in figures 2024**. Bruxelas: World Steel Association, 2024. Disponível em: https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures/world-steel-in-figures-2025/. Acesso em: 18 mar. 2026.

WORLD POPULATION REVIEW. **Iron Ore Production by Country 2025**. [S. l.]: WPR, 2025. Disponível em: https://worldpopulationreview.com/country-rankings/iron-ore-production-by-country. Acesso em: 13 mar. 2026.

INFLUÊNCIA DO APORTE TÉRMICO NA CARACTERIZAÇÃO MACROESTRUTURAL DA SOLDAGEM ROBOTIZADA DO AÇO STRENX 700 MC COM O ASTM A36 UTILIZANDO ARAME METAL CORED

INFLUENCE OF HEAT INPUT ON THE MACROSTRUCTURAL CHARACTERIZATION OF ROBOTIC WELDING OF STRENX 700 MC STEEL WITH ASTM A36 USING METAL-CORE WIRE

Mariana Pereira de Oliveira[1]
Ana Beatriz Tutschky Moreto[2]
Tiago Farias Neves[3]
Edgar de Souza Dutra[4]
Juliano Neves Panão[5]

RESUMO: O presente estudo teve como objetivo investigar a influência do aporte térmico na soldagem robotizada de juntas dissimilares entre os aços Strenx 700 MC e ASTM A36, utilizando o processo GMAW em modo pulsado com arame metal cored. Para isso, foram avaliadas duas condições de soldagem, com aportes térmicos de 0,8 kJ/mm e 1,2 kJ/mm, analisando-se seus efeitos na caracterização macroestrutural das juntas soldadas. A avaliação macroscópica evidenciou a integridade das soldas em ambas as condições, sem a presença de descontinuidades relevantes. A condição de menor aporte térmico proporcionou maior controle da zona afetada pelo calor (ZAC), embora tenha exigido a execução de múltiplos passes. Por outro lado, o maior aporte térmico possibilitou a realização da soldagem em passe único, favorecendo a produtividade do processo, porém com ampliação da área fundida e da zona afetada pelo calor. Os resultados indicam que a seleção adequada dos parâmetros de soldagem é fundamental para equilibrar produtividade, controle térmico e qualidade da junta soldada, especialmente em aplicações envolvendo aços dissimilares de diferentes níveis de resistência mecânica.
Palavras-chave: Aporte térmico; Soldagem robotizada; Juntas dissimilares; Metal Cored; Zona afetada pelo calor.

ABSTRACT: This study aimed to investigate the influence of heat input on the robotic welding of dissimilar joints between Strenx 700 MC and ASTM A36 steels, using the pulsed GMAW process with metal-cored wire. Two welding conditions were evaluated, with heat inputs of 0.8 kJ/mm and 1.2 kJ/mm, in order to analyze their effects on the macrostructural characterization of the welded joints. The macroscopic evaluation showed weld integrity under both conditions, with no relevant discontinuities observed. The lower heat input condition provided better control of the heat-affected zone, although it required multiple passes. In contrast, the higher heat input enabled single-pass welding, improving process productivity, but resulted in an increase in both the fused area and the heat-affected zone. The results indicate that the proper selection of welding parameters is essential to balance productivity, thermal control, and welded joint quality, especially in applications involving dissimilar steels with different levels of mechanical strength.

Tecnóloga Mecânica: Processos de Soldagem – Faculdade de Tecnologia de Itaquera “Miguel Reale”
E-mail: marianapereira.mo@gmail.com[1]
Tecnóloga Mecânica: Processos de Soldagem – Faculdade de Tecnologia de Itaquera “Miguel Reale”
E-mail: anabeatrizmoretto.21@gmail.com [2]
Tecnólogo Mecânico: Processos de Soldagem – Faculdade de Tecnologia de Itaquera “Miguel Reale”
E-mail: tiago4355@gmail.com [3]
Mestre em Processos Industriais – Faculdade de Tecnologia de São Paulo – FATEC SP
E-mail: edgar.dutra@cps.sp.gov.br [4]
Mestrando em Eng. de Produção - Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá (FEG-Unesp) E-mail: juliano.panao@unesp.br[5]

Keywords Heat input; Robotic welding; Dissimilar joints; Metal-cored wire; Heat-affected zone.

1 INTRODUÇÃO

Devido à crescente demanda por equipamentos mais leves, o uso de aços de alta resistência tem se tornado cada vez mais comum na indústria, sendo a redução de peso sem comprometer o desempenho estrutural, um dos principais desafios. Nesse contexto, a otimização dos processos de soldagem torna-se essencial para assegurar a qualidade das juntas soldadas. A combinação de aços estruturais com aços de alta resistência proporciona vantagens como redução de custos, maior eficiência operacional e uso mais racional dos recursos materiais.

Este estudo teve como objetivo analisar a influência do aporte térmico na soldagem de juntas dissimilares entre os aços BS EN 10149-2 S700MC conhecido, comercialmente como STRENX 700 MC e ASTM A36, utilizando o processo GMAW-P com arame metal cored E 70C-6M e proteção gasosa 82% Ar/18% CO_2, segundo o Código ASME Seção II, Parte C (2025). Foram avaliados dois níveis de aporte térmico, 0,8 kJ/mm e 1,2 kJ/mm, a fim de identificar a condição mais adequada ao processo.

As soldagens foram realizadas com controle de parâmetros, seguindo os requisitos estabelecidos na EPS e RQPS. Posteriormente, foram conduzidas análises metalográficas para avaliar o desempenho das juntas soldadas. Os resultados permitiram identificar as vantagens e limitações de cada condição, contribuindo para a definição de parâmetros mais eficientes na soldagem de aços dissimilares aplicados à fabricação de equipamentos pesados.

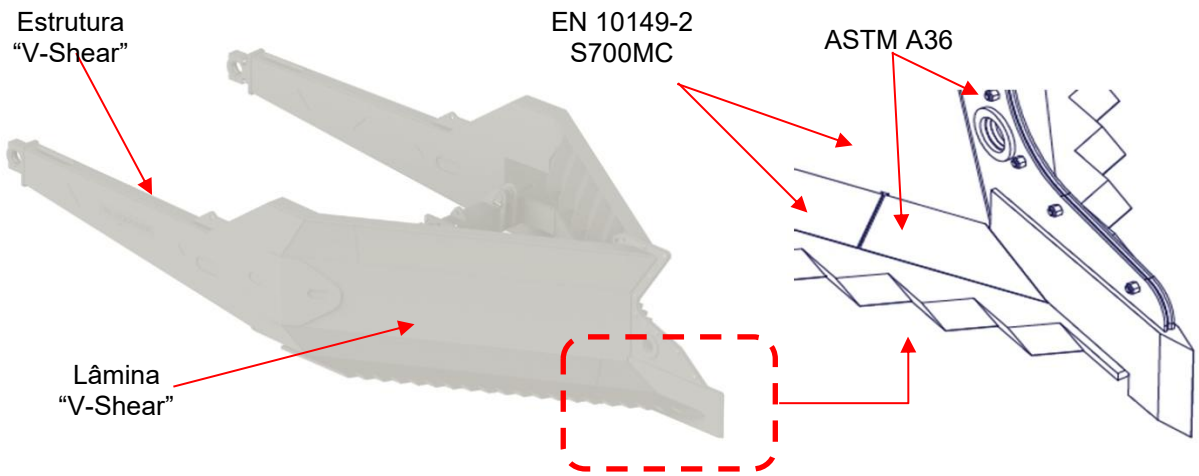
2 METODOLOGIA

2.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados neste estudo foram, os aços ASTM A36/A36M e BS EN 10149-2 S700MC, comercialmente conhecido como STRENX 700 MC, fabricado pela SSAB.

Este projeto simulou uma junta dissimilar na região crítica da Lâmina “*V-Shear*” (Figura 1) entre os materiais de alta resistência BS EN 10149-2 S700MC conhecido como Strenx 700MC e o aço estrutural ASTM A36, executando soldagem de topo.

Figura 01 - Lâmina frontal "*V-Shear*" e simulação da chapa teste



Fonte: Adaptado de FELDERMANN – FOREST & AGRICULTURE.
Acesso em 01/11/2025. Disponível em: Lâmina Frontal V-Shear | Feldermann

2.1.1 Aço ASTM A36

Como aço estrutural, foi utilizado o ASTM A36 que contém, além do carbono, elementos como manganês, silício, fósforo e enxofre, conforme a especificação ASTM A36/A36M. Callister (2020) *apud* Soares (2025), afirma que seu teor de carbono é inferior a 0,3% e o carbono equivalente é de aproximadamente 0,22%, o que favorece boa soldabilidade e, em condições usuais, pode dispensar a necessidade de pré-aquecimento. As Tabelas 01 e 02 demonstram as propriedades mecânicas e a composição química do material ASTM 36.

Tabela 01: Propriedades Mecânicas ASTM A36

Espessura (mm)	50
Limite de escoamento (min.)	250
Resistência a tração (Mpa)	400 - 550
Alongamento (Min.)	21%

Fonte: Adaptado de ASTM A36/A36M (2019)

Tabela 02: Composição química ASTM A36

Elemento	**Teor (%)**
C	0,16

Cu	0,20
Mn	0,35
P	0,018
Si	0,01
S	0,013

Fonte: Adaptado de ASTM A36/A36M (2019)

2.1.2 Aço ARBL BS EN 10149-2 S700MC

O aço BS EN 10149-2 S700MC apresenta carbono equivalente típico de 0,37%, indicando, de modo geral, uma soldabilidade favorável. Entretanto, segundo a SSAB (2021), são recomendados cuidados térmicos durante a soldagem desse material, como execução à temperatura ambiente (~20 °C) e controle da temperatura de interpasse, limitada a 100 °C para espessuras entre 0 e 30 mm. As Tabelas 03 e 04 apresentam as propriedades mecânicas e a composição química do aço BS EN 10149-2 S700MC.

Tabela 03: Propriedades Mecânicas Típicas BS EN10149-2 S700MC

Espessura (mm)	3.0 – 10.0
Limite de escoamento (min.)	700 MPa
Resistência a tração (Mpa)	750 - 950
Alongamento (Min.)	12%

Fonte: Adaptado de BS EN 10149-2 (2013).

Tabela 04: Composição Química Típicas BS EN 10149-2 S700MC

Elemento	Teor (% máx.)
C	0,12
Si	0,60
Mn	2,10
P	0,025
S	0,015
Nb	0,09
V	0,20
Ti	0,22

Fonte: Adaptado de BS EN 10149-2 (2013).

2.1.3 Arame Metal Cored – SFA 5.18 E70C-6M

A seguir, apresenta-se a composição química do material, conforme a Tabela 05 da especificação SFA 5.18, segundo o código ASME Seção II, Parte C (2025).

Tabela 05: Composição química SFA 5.18 E70C-6M

Elemento	Teor (%máx.)
C	0,12
Mn	1,75
Si	0,90
P	0,03
S	0,03
Ni	0,50
Cr	0,20
Mo	0,30
V	0,08
Cu	0,50

Fonte: Adaptado de ASME Seção II, Parte C (2025).

Na sequência, são apresentadas, na Tabela 06 da mesma especificação, as propriedades mecânicas do arame metal cored SFA 5.18 E70C-6M.

Tabela 06: Resistência Mecânica – SFA 5.18 E70C-6M.

Gás de Proteção	**75% - 80% Argônio/ balanceado com CO_2 (Classificação M21)**
Resistência Mecânica Psi (MPa)	70.000 Psi (490) MPa
Limite de Escoamento Psi (MPa)	58.000 (400) MPa
Alongamento % (Min)	22%
Resistência ao Impacto (Min)	(27J a -30 °C)

Fonte: Adaptado de ASME Seção II, Parte C (2025).

2.1.4 Gás de Proteção SFA 5.32 – M21

Para este estudo, foi utilizado o gás de proteção contendo 82% Ar/18% CO_2, conforme especificação SFA 5.32, segundo o código ASME Seção II, Parte C (2025).

Dados:

- M – Significa mistura gasosa;
- 21 – Indica a mistura de argônio com 15 % a 25 % de CO_2;
- Ar-18 – é a designação da composição, sendo Ar = Argônio; CO_2 – Dióxido de Carbono e 18 = percentual de CO_2 na mistura.

2.1.5 Soldagem Dissimilar

A soldagem dissimilar é um processo tecnicamente mais crítico, uma vez que apresenta maior risco de complicações metalúrgicas e mecânicas. As diferenças significativas na composição química e nas propriedades mecânicas dos materiais fazem com que distintos coeficientes de expansão térmica possam gerar efeitos indesejáveis, como a formação de trincas e o surgimento de tensões residuais. Outro ponto crítico diz respeito a diferença de dureza entre o metal de solda, a zona termicamente afetada e os metais de base, o qual pode decorrer de transformações metalúrgicas indesejáveis, provocando dureza excessiva, fragilização do material e comprometimento da qualidade da junta soldada (Caetano *et al*., 2022).

Esse tipo de união é amplamente empregada em aplicações estratégicas na indústria, sendo particularmente recorrente no setor nuclear, onde é utilizada na soldagem de tubulações de aços inoxidáveis a componentes de aço carbono (Caetano *et al*., 2022).

2.1.6 Aporte Térmico (Heat Input)

O aporte térmico é a energia aplicada por unidade de comprimento da solda e constitui um parâmetro essencial para o controle térmico do processo, incluindo o pré-aquecimento e a temperatura de interpasse. Ele afeta diretamente a taxa de resfriamento e as propriedades mecânicas e metalúrgicas, principalmente na zona afetada pelo calor (ZAC) (Perez, 2007, *apud* Dutra, 2020).

Segundo o código ASME IX (2025), variações na energia de soldagem ou no volume de metal depositado nos processos de soldagem a arco devem ser devidamente calculadas, conforme apresentado na Equação 1.

Equação 1: Cálculo de Heat Input

$$\text{Heat Input}\left[\frac{\text{J}}{\text{mm}}\right] = \frac{\text{Corrente (A)}\times\text{Tensão (V)}\times 60}{\text{velocidade de soldagem [in./ min } (min/\text{min})]} \quad (1)$$

Fonte: Adaptado do ASME IX (2025).

O aporte térmico influencia diretamente a zona afetada pelo calor (ZAC), uma vez que o aquecimento, decorrente do processo de soldagem, provoca modificações na microestrutura que, se não controladas, podem prejudicar as propriedades mecânicas e metalúrgicas do material nessa região (Modenesi, 2009, *apud* Dutra, 2020).

2.2 EQUIPAMENTOS E PROCESSO

2.2.1 Processo de Soldagem GMAW

O processo de soldagem GMAW foi introduzido na indústria há várias décadas e rapidamente se tornou bastante difundido na produção de máquinas e equipamentos.

A elevada aplicação por esse processo impulsionou o surgimento de equipamentos cada vez mais sofisticados, capazes de ampliar a produtividade e a eficiência. Além disso, o GMAW apresenta uma boa relação entre custo operacional e produtividade, contribui para a diminuição de falhas durante a soldagem, evitando desperdícios e retrabalhos (Pereira, 2021).

Com o progresso tecnológico dos processos de soldagem nas últimas décadas, foi desenvolvido o GMAW-P, uma versão aprimorada do método convencional. No contexto das células robotizadas, esse processo é considerado um dos mais relevantes em aplicações que exigem elevado desempenho.

Essa importância resultou em um aumento expressivo das pesquisas voltadas ao aperfeiçoamento de novos recursos e soluções inovadoras para o GMAW-P (Panão *et al*., 2024, p. 21).

2.2.2 Robô Colaborativo (*Cobot*)

Os estudos em interação entre pessoas e máquinas concentram-se na cooperação entre trabalhadores humanos, sistemas automatizados, que incluem equipamentos e robôs. Os robôs colaborativos, ou *cobots*, podem trabalhar de forma segura ao lado dos operadores, desde que atendidas as condições adequadas de operação e segurança. (Faccio *et al*., 2023).

Eles têm aplicações e, em alguns casos, mais complexas do que robôs industriais convencionais, o que traz novos desafios. Faccio *et al*. (2023), também afirmam que é necessário que os cobots tenham inteligência em locomoção e manipulação, com ênfase na prevenção de colisões e na garantia da segurança operacional.

Na realização da soldagem dos corpos de prova, foi empregado o equipamento *Linc Cobot Cart*, equipado com o robô colaborativo CRX-10*i*A/L. A Figura 02 apresenta o modelo do cobot utilizado durante o processo.

Figura 02: Sistema de Soldagem Robotizado



Fonte: Autores (2025).

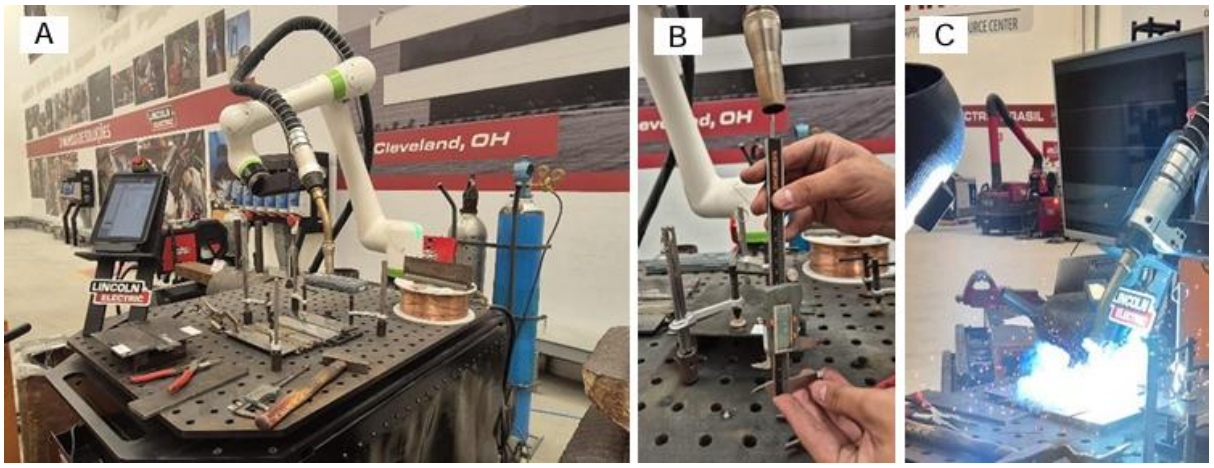
2.2.3 Soldagem Robotizada

Com base nas dimensões das chapas de teste, foram preparadas amostras para a execução de soldas preliminares (Figura 03-A), visando o ajuste adequado dos parâmetros, como demonstrados na Figura 03 (A, B e C).

A fonte de soldagem utilizada foi a Power Wave R-450, da Lincoln Electric, um equipamento indicado para aplicações robotizadas, com controle avançado dos parâmetros de soldagem e menor geração de respingos.

O alimentador empregado no processo é o modelo Auto Drive 4R100, destinado a aplicações em robótica e automação pesada, compatível com os processos GMAW, GMAW-P e STT®, além de permitir o uso de arame tubular (flux-cored) e arame metálico tubular (metal-cored).

Figura 03: Testes de parametrização e soldagem das chapas teste.



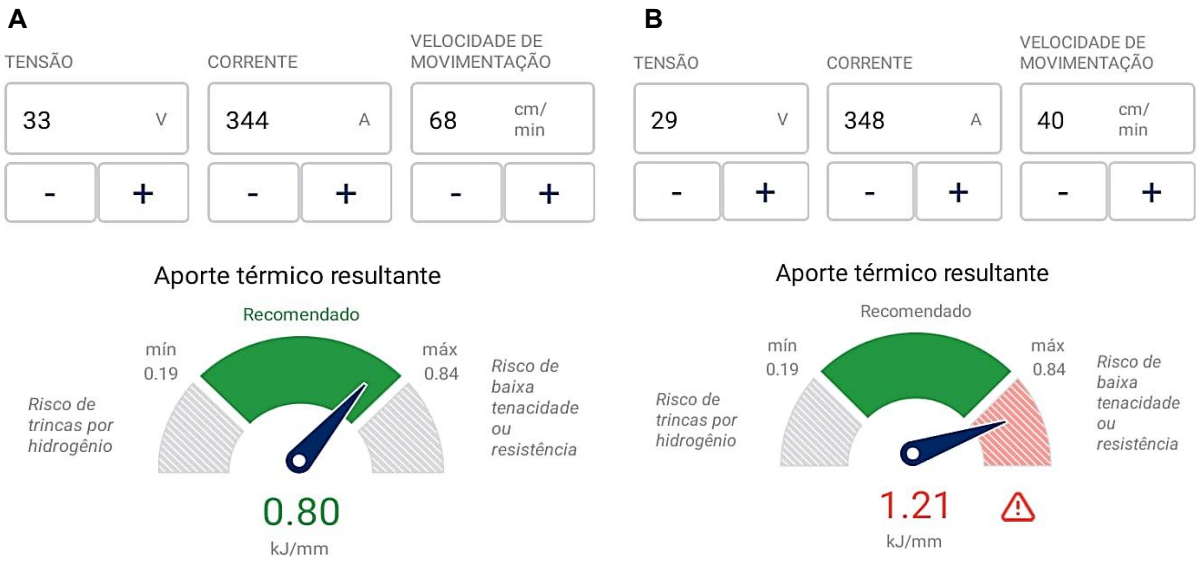
Fonte: Autores (2025).

Com base nas dimensões das chapas de teste, foram preparadas chapas para soldas preliminares (Figura 4-A) até a definição da parametrização adequada. As soldas robotizadas foram realizadas de acordo com os aportes de 0,8 kJ/mm e 1,2 kJ/mm, calculados conforme a equação 1, onde os parâmetros podem ser observados nas Figuras 4-A e 4-B, respectivamente.

A Figura 4-A indica a parametrização dentro da faixa recomendada, demonstrando as recomendações ideais, sendo que o mínimo do aporte térmico seria de 0.80 kJ/mm e o máximo seria de 0,84 kJ/mm. A segunda parametrização (Figura 4-B), correspondeu a condição extrapolada de 1,2 kJ/mm.

Ambas soldagens, foram realizadas em temperatura ambiente (aproximadamente 20° C), conforme recomendação do fabricante do aço de alta resistência BS EN 10149-2 S700MC, para espessuras abaixo de 30 mm.

Figura 04 - Parâmetros de soldagem robotizada para 0,8 kJ/mm e 1,2 kJ/mm



Fonte: Autores (2025).

2.2.4 Arame Metal Cored

Dutra (2020) ressalta que o arame metal cored é um consumível composto, desenvolvido para utilização em processos de soldagem a arco, por combinar características dos arames sólidos e dos tubulares. O autor, explica que sua camada externa é constituída por um núcleo metálico, enquanto a parte interna contém um enchimento metálico com diversos elementos de liga, cuja função é promover a desoxidação da poça de fusão e, simultaneamente, contribuir para o aumento da taxa de deposição.

Segundo Panão *et al*. (2024), alguns fabricantes já oferecem soluções capazes de alcançar taxas de deposição superiores a 15 kg/h, utilizando arame metal cored de 1,6 mm no processo de soldagem GMAW. A Figura 05 apresenta um exemplo de arame tubular do tipo metal cored.

Figura 05 - Arame metal cored.



Fonte: Souza e Júnior (2013) *apud* Dutra (2020)

2.3 PREPARAÇÃO DA CHAPA TESTE CORPOS DE PROVA

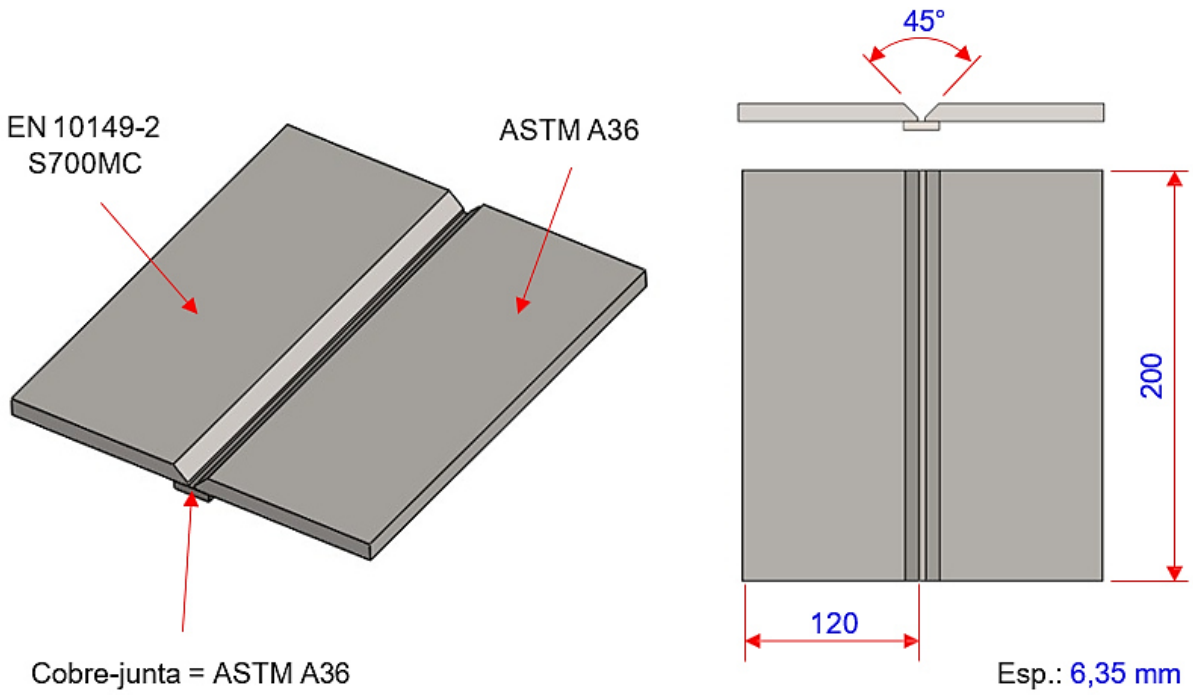
2.3.1 Metais de base

Foi simulada uma junta de topo utilizando chapas com dimensões de 200 mm de comprimento, 120 mm de largura e 6,35 mm de espessura.

Os chanfros foram preparados por meio de esmerilhamento, formando um ângulo de 45°, cuja precisão foi verificada com o auxílio de um calibre de solda.

Na montagem (Figura 06), foram empregados os materiais BS EN 10149-2 S700MC (Strenx 700 MC) e ASTM A36. O cobre-junta foi confeccionado em ASTM A36, apresentando dimensões de 25,4 mm x 4,7 mm x 200 mm.

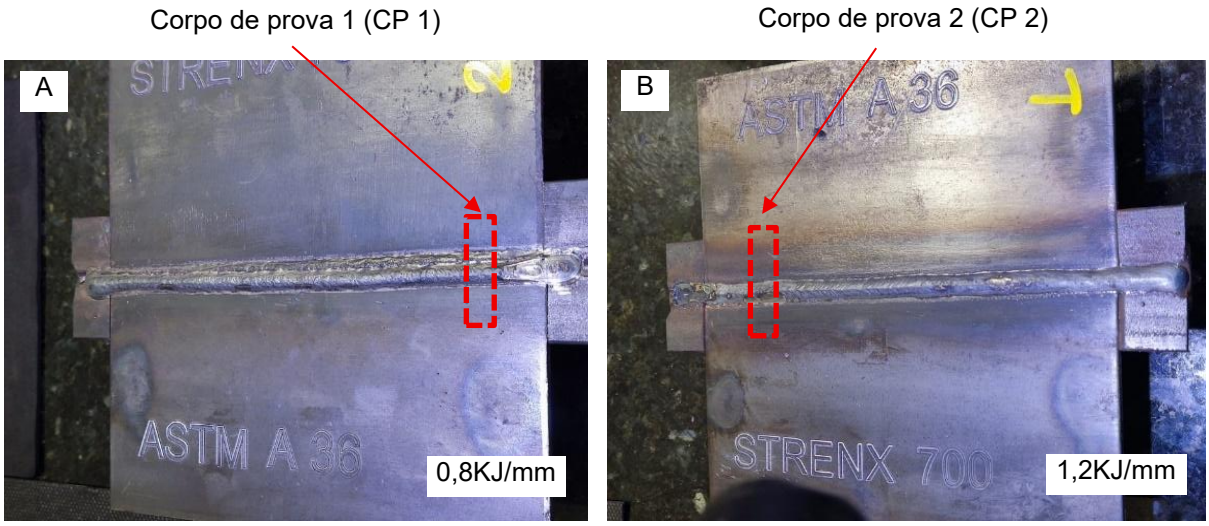
Figura 06 - Simulação da Chapa Teste



Fonte: Autores (2025).

Para garantir a precisão das medições durante a montagem, execução do processo de soldagem robotizada, análise das soldas e remoção dos corpos de prova, foram utilizados diversos instrumentos de medição, dentre eles, destacam-se a trena, o paquímetro, a escala e o calibre de solda. Após soldagem, foram delimitadas as regiões das macrografias, conforme demonstradas na Figura 07.

Figura 07 - Chapa Teste e região da metalografia



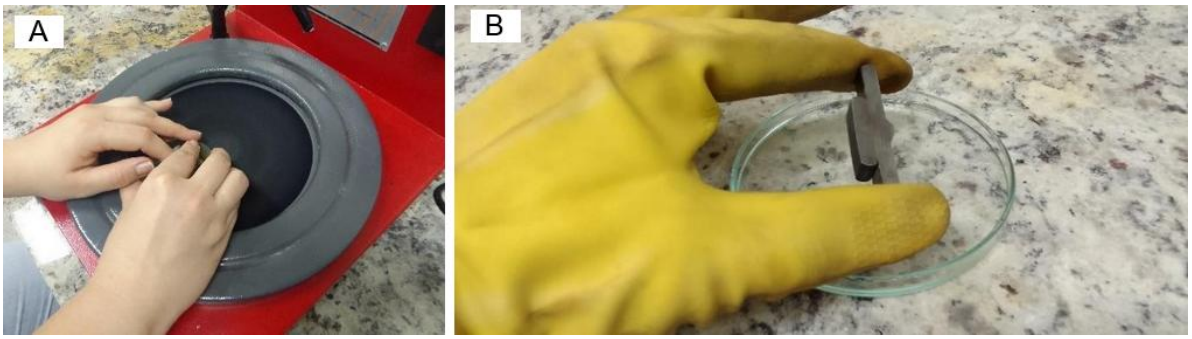
Fonte: Autores (2025).

2.3.2 Caracterização Macroestrutural

Para a realização das análises macrográficas, os corpos de prova passaram por preparação em politriz metalográfica (Figura 08-A), utilizando lixas com granulometrias progressivas entre 100 e 1200. Em seguida, foi realizado o polimento com pastas de diamante de 3 µm e 1 µm, visando obter um acabamento adequado para observação.

Após essa etapa, aplicou-se a uma solução nital composta por 3% de ácido nítrico e 97% de álcool etílico (Figura 08-B), com a finalidade de atacar a superfície dos corpos de prova e evidenciar as regiões fundidas e as zonas afetadas pelo calor.

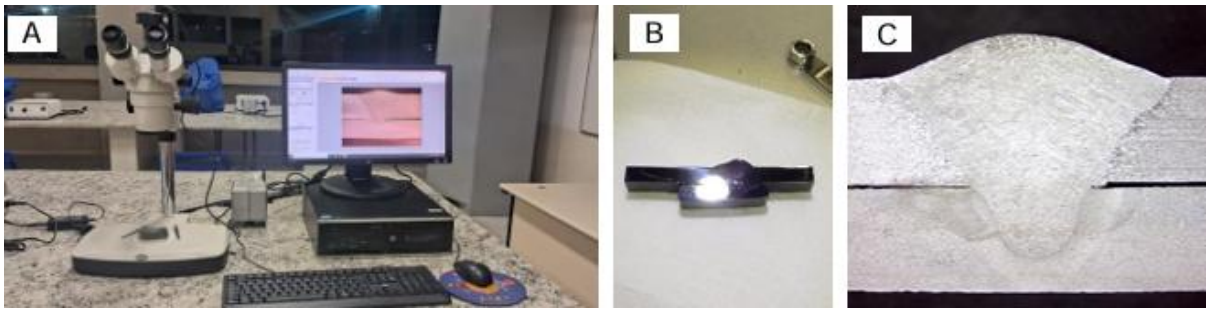
Figura 08 - Preparação e ataque químico



Fonte: Autores (2025).

Foi empregado o estereoscópio da FATEC Itaquera, com capacidade de ampliação de até 40x (Figura 09-A), para avaliar a macroestrutura e a qualidade aparente da junta soldada. A captura e análise das imagens foram realizadas por meio do *software Top View* 64. Na Figura 09-B observa-se o posicionamento do corpo de prova no equipamento, enquanto a Figura 09-C apresenta a respectiva macrografia obtida.

Figura 09 – Estereoscópio



Fonte: Autores (2025).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 SOLDAGEM GMAW

O processo de soldagem GMAW foi introduzido na indústria há algumas décadas e rapidamente se tornou amplamente utilizado na fabricação de máquinas e equipamentos.

Devido à alta demanda desse processo, foram desenvolvidos equipamentos com maior nível tecnológico, capazes de aumentar a produtividade e o desempenho do processo de soldagem. O processo de soldagem GMAW, não possui um custo de produção elevado, além de minimizar os defeitos durante o processo de soldagem evitando desperdícios e retrabalhos (PEREIRA, 2021).

3.2 METALOGRAFIA

A macrografia consiste no exame do aspecto de uma peça ou amostra metálica, em uma seção plana devidamente preparada, polida e atacada. (COLPAERT, 2008).

De acordo com Colpaert (2008), esse aspecto é chamado de macroestrutura, sendo esse ensaio realizado a olho nu, ou com o auxílio de uma lupa. Colpaert (2008)

afirma ainda que o termo macrografia é utilizado para se referir à macroestrutura, que pode ser observada em tamanho real ou com aumento de até 10x. Acima desse valor, utiliza-se o termo micrografia, sendo a análise realizada com o auxílio de microscópio.

3.3 AÇOS ALTA RESISTÊNCIA E BAIXA LIGA (ARBL)

Os ARBL apresentam baixo teor de carbono (inferior a 0,25%) e adições de manganês, nióbio, vanádio e titânio, elementos responsáveis pelo aumento da resistência mecânica por meio do refinamento de grão e endurecimento por precipitação (VERVYNCKT *et al*., 2012, *apud* CASTRO, 2023).

Produzidos por laminação a quente, os aços de alta resistência apresentam elevados valores de limite de escoamento e resistência à tração, além de boa soldabilidade, o que os torna adequados para diversas aplicações estruturais, além de tubulações para o transporte de óleo e gás em ambientes offshore (INFOMET, 2022, *apud* CASTRO, 2023).

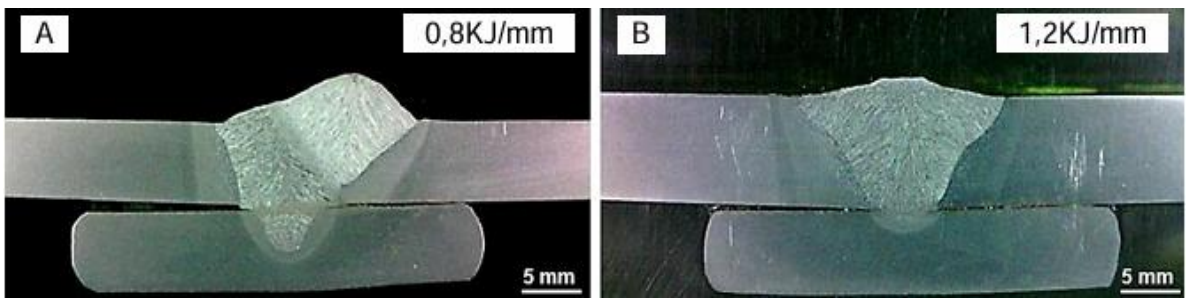
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISES

4.1.2 Análises macroestrutural

As macrografias evidenciaram soldagens isentas de descontinuidades quando aplicado o aporte térmico de 0,8 kJ/mm (Figura 10 -A), revelando a formação de dois cordões em filete. Já na solda realizada com aporte térmico de 1,2 kJ/mm, foi empregado um único passe de solda (Figura 10-B).

Figura 10 - Macrografia das Corpos de Prova

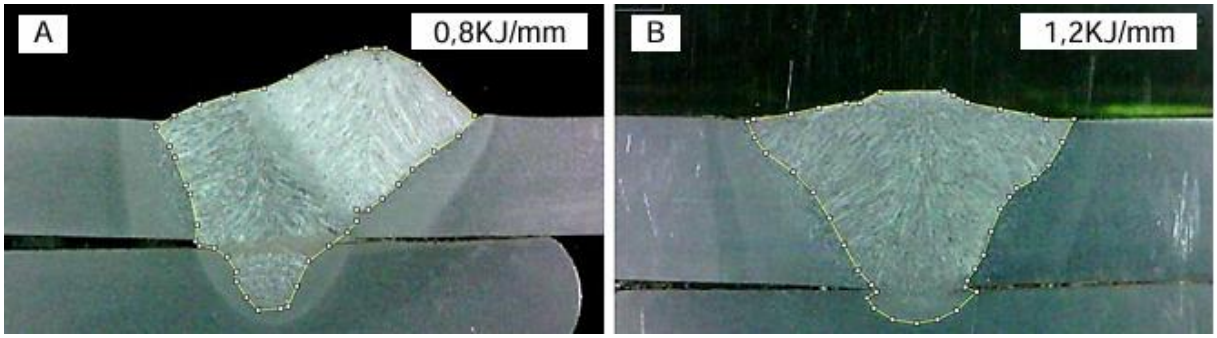


Fonte: Autores (2025).

Foram realizadas medições das áreas correspondentes às regiões fundidas e às zonas afetadas pelo calor por meio do *software Image J*.

No corpo de prova soldado com aporte térmico de 0,8 kJ/mm, a área da solda foi de 67,119 mm² (Figura 11-A). Já na amostra submetida ao aporte térmico de 1,2 kJ/mm, a área da zona fundida atingiu 69,229 mm² (Figura 11-B), representando um acréscimo de aproximadamente 3,3% em relação à primeira condição.

Figura 11 - Zonas Fundidas

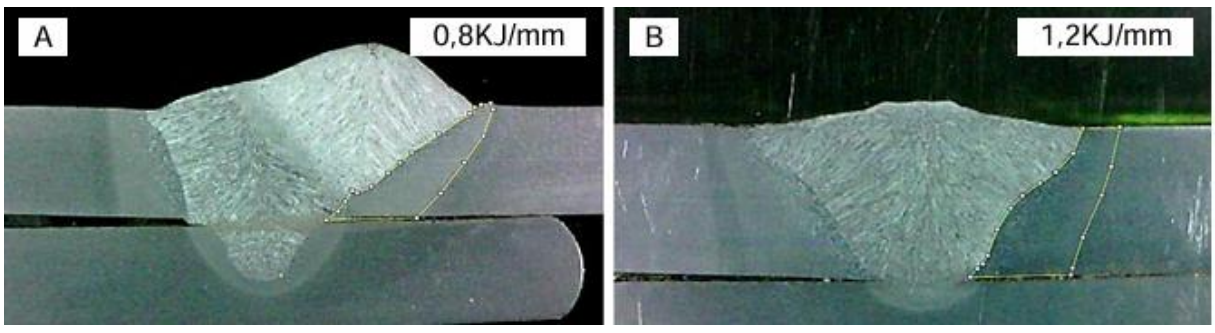


Fonte: Autores (2025).

Ao analisar o material ASTM A36 quanto às dimensões das ZACs, utilizando o *software ImageJ*, observou-se que o corpo de prova soldado com energia de 1,2 kJ (Figura 12-B) apresentou uma ZAC de 26,395 mm². Em comparação, o corpo de prova submetido a 0,8 kJ/mm (Figura 12-A) apresentou uma ZAC de 11,192 mm².

Essa diferença evidencia o impacto do aumento do aporte térmico na ampliação da área afetada pelo calor, o que pode influenciar diretamente nas propriedades mecânicas e metalúrgicas da junta soldada.

Figura 12 - Área da zona afetada pelo calor ASTM A36

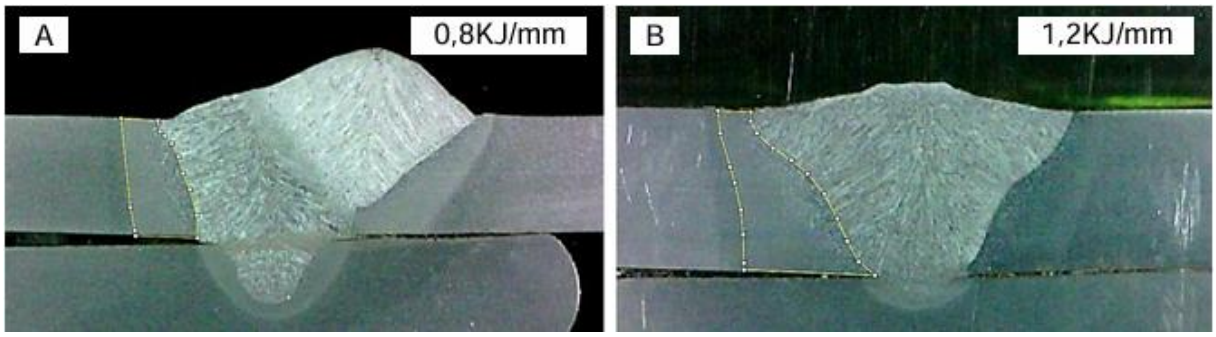


Fonte: Autores (2025).

Ao examinar o metal de base BS EN 10149-2 S700 MC sob a perspectiva das medições das áreas das ZACs, observou-se que o corpo de prova soldado com aporte térmico de 0,8 kJ/mm (Figura 13-A) apresentou uma ZAC de 20,61 mm².

Já o corpo de prova submetido a 1,2 kJ/mm (Figura 13-B) revelou uma área de ZAC de 39,14 mm². Esses dados demonstram que o aporte térmico aplicado durante o processo de soldagem influencia diretamente na extensão da ZAC e na área fundida.

Figura 13 - Área da zona afetada pelo calor BS EN 10149-2 S700 MC

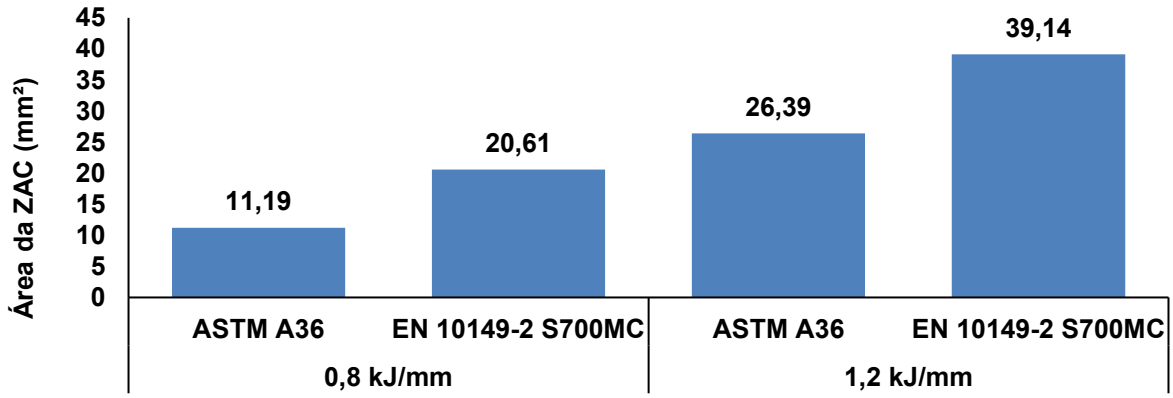


Fonte: Autores (2025).

Comparando os materiais, nota-se que o BS EN 10149-2 S700 MC (Strenx 700 MC) apresenta maior área de ZAC em relação ao ASTM A36 em ambos os aportes térmicos, evidenciando maior sensibilidade ao ciclo térmico de soldagem.

Em condições de 1,2 kJ/mm, a ZAC do Strenx S700 MC é cerca de 48% maior que a do ASTM A36, indicando maior extensão da região afetada pelo calor e possível impacto na microestrutura. O Gráfico 01 apresenta o comparativo entre as áreas de ZAC dos materiais avaliados.

Gráfico 01 – Comparativo das ZAC´s (ASTM A36 x BS EN 10149-2 S700 MC)



Fonte: Autores (2026).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As avaliações macrográficas dos corpos de prova demonstraram que o aporte térmico aplicado durante a soldagem robotizada, influencia diretamente tanto a geometria do cordão quanto a produtividade do processo de união entre o aço Strenx 700 MC e o ASTM A36 utilizando arame metal cored.

Com o menor aporte térmico (0,8 kJ/mm), verificou-se a formação de dois cordões em filete, associados a uma área fundida reduzida e a uma Zona Afetada pelo Calor (ZAC) mais limitada. Essa condição indica maior controle térmico, mas exige múltiplos passes e maior tempo de execução. Já com o aporte mais elevado (1,2 kJ/mm), foi possível realizar a solda em apenas um passe, resultando em maior área fundida e maior extensão da ZAC, o que favorece a eficiência operacional.

Em ambos os casos, não foram identificadas descontinuidades aparentes nas seções macrográficas analisadas, confirmando a adequação dos parâmetros empregados. Assim, observa-se que o aumento do aporte térmico contribui para maior produtividade no processo robotizado, embora amplie a influência térmica sobre os metais de base.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME Boiler and Pressure Vessel Code – Section II: Materials, Part C: Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals** (SFA-5.18). New York: ASME, 2025.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME Boiler and Pressure Vessel Code – Section II: Materials, Part C: Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals** (SFA-5.32). New York: ASME, 2025.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS - **ASME Boiler and Pressure Vessel Code An International Code – Section IX. Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders; Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operators**. New York: ASME, 2025

ASTM INTERNATIONAL. ASTM A36/A36M: **Standard Specification for Carbon Structural Steel.** West Conshohocken, 2019.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). BS BS EN 10149-2:2013 - **Hot Rolled Flat Products Made of High Yield Strength Steels for Cold Forming** - Part 2: Technical delivery conditions for thermomechanically rolled steels, 2013.

CAETANO, P. V. C. et al. **GMAW Welding Process Parameters Optimization of a Dissimilar Joint in AISI 304 and ASTM A36 Steels by Using Taguchi Methodology**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS – CBECIMAT, 24., 2022, Águas de Lindóia, SP. Anais [...]. Disponível em: https://www.metallum.com.br/24cbecimat/anais/PDF/IIIn40-008.pdf. Acesso em: 11 mar. 2026.

CALLISTER, W. D. Jr.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

CASTRO, Lucas Carneiro de. **Influência da adição de Nb na microestrutura e propriedades mecânicas de um aço C-Mn**. 2023. Monografia (Graduação em Engenharia Metalúrgica) – Escola de Minas, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto 2023. Disponível em: https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/5390/6/MONOGRAFIA_Influ%C3%AAnciaAdicaoNb.pdf. Acesso em: 11 mar. 2026.

COLPAERT, H. **Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns**. 2 ed. São Paulo. 2008.

DUTRA, E. S**. Análise técnica e econômica da soldagem robotizada de vasos de pressão utilizando os arames maciço e metal cored sob atmosfera ativa**. 2020. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, São Paulo, 2020.

BS EN 10149-2. **Hot rolled flat products made of high strength steels for cold forming**. Steel Standard - Cold Forming. 2013.

FACCIO, M.; COHEN, Y. **Sistemas Inteligentes de Cobot: Colaboração Humano-Cobot na Fabricação**. Journal of Intelligent Manufacturing, v. 35, p. 1905–1907, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10845-023-02142-z.

FELDERMANN – **Lâmina Frontal V-Shear.** Forest & Agriculture. Disponível em: https://feldermann.com.br/servicos_feldermann/lamina-frontal-v-shear/. Acesso em: 01 nov. 2025.

INFOMET. **Aços Microligados - ARBL - de Alta Resistência e Baixa Liga.** Biblioteca Online Infomet: Aços & Ligas | Aços e Ferros Fundidos | Aços ARBL. Disponível em: https://www.infomet.com.br/site/acos-e-ligas-conteudo-ler.php?codConteudo=199. Acesso em: 11 mar. 2026.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. **Soldagem: Fundamentos e Tecnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.

PANÃO, Juliano Neves; FERRARI, Marcello; DUTRA, Edgar. **Avaliação de arames metal cored para soldagem robotizada em aço carbono com alta deposição**. XLVI CONSOLDA–Congresso Nacional de Soldagem II CBMAdi – Congresso Brasileiro de Manufatura Aditiva Uberlândia/MG de 26 a 28 de agosto de 2024.

PEREIRA, A. S.; SILVA, R. H.; GALEAZZI, D.; PIGOZZO, I. O. **Analysis Of The Influence Of The Dip Of The Solid Wire In The Melting Pool Of The CMT Version Of The GMAW Process**. In: FABTECH – AWS Professional Program, 20–23 set. 2021, Virtual Conference.

PEREZ, F. R. C. **A Influência da Temperatura de Pré-aquecimento e Tecimento na Microestrutura e Propriedades Mecânicas na Soldagem MIG/MAG Robotizada de Aços SAE 8620 com ABNT LN28**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Bauru, 2007.

SSAB. **Strenx™ – Aços de Alta Resistência**. Disponível em: https://www.ssab.com/pt-br/marcas-e-produtos/strenx. Acesso em: 11 mar. 2026.

VERVYNCKT, S.; VERBEKEN, K.; LOPEZ, B.; JONAS, J. J. **Modern HSLA Steels And Role Of Non-Recrystallisation Temperature.** International Materials Reviews, v. 57, n. 4, p. 187-207, 2012.

VULNERABILIDADE E EXFILTRAÇÃO: UMA ANÁLISE SISTÊMICA DA ROTA DE DADOS BRUTOS ATÉ A DARK WEB NO BRASIL
VULNERABILITY AND EXFILTRATION: A SYSTEMIC ANALYSIS OF THE RAW DATA ROUTE TO THE DARK WEB IN BRAZIL

Amauri Emanuel Rodrigues[1]
Enzo Luan da Silva Vieira[2]
Evelyn de Oliveira Antunes[3]
Reginaldo Gabriel Picconi[4]
Silvia Roberta de Jesus Garcia[5]

Resumo: O avanço da transformação digital no Brasil ampliou a produção e armazenamento de dados como ativos estratégicos, mas também intensificou vazamentos de dados devido às vulnerabilidades tecnológicas, falhas de configuração e dependência de infraestruturas estrangeiras, conforme evidenciado por relatórios da Kaspersky, CGI.br e IBM Security. O estudo analisa sistematicamente a rota do vazamento da coleta ilegal via *phishing* e *malware*, passando pela exfiltração silenciosa, distribuição em fóruns restritos e comercialização na *Dark Web,* até o uso final em fraudes e novos ataques cibernéticos —, destacando um ecossistema cibercriminoso organizado que trata dados como *commodities* econômicas. Por meio de análise de casos governamentais, estatísticas recentes e modelos conceituais, este estudo identificou pontos críticos de vulnerabilidade e propôs estratégias integradas de prevenção, governança e conformidade com a LGPD para mitigar riscos e romper esse ciclo contínuo de exploração.
Palavras-chave: cibersegurança; malware; phishing; vazamento de dados.

ABSTRACT: The advancement of digital transformation in Brazil has expanded the production and storage of data as strategic assets, but it has also intensified data breaches due to technological vulnerabilities, configuration failures, and dependence on foreign infrastructures, as evidenced by reports from Kaspersky, CGI.br, and IBM Security. This study systematically analyzes the trajectory of data leakage—from illegal collection through phishing and malware, followed by silent exfiltration, distribution in restricted forums, and commercialization on the Dark Web, to its final use in fraud and further cyberattacks—highlighting an organized cybercriminal ecosystem that treats data as economic commodities. Through the analysis of governmental cases, recent statistics, and conceptual models, this study identified critical points of vulnerability and proposed integrated strategies for prevention, governance, and compliance with the LGPD in order to mitigate risks and disrupt this continuous cycle of exploitation.
Keywords: cybersecurity; malware; phishing; data leak.

Análise e Desenvolvimento de Sistemas - Fatec Itapetininga - E-mail: amauri.rodrigues@fatec.sp.gov.br[1]
Análise e Desenvolvimento de Sistemas - Fatec Itapetininga - E-mail: enzo.vieira@fatec.sp.gov.br[2]
Análise e Desenvolvimento de Sistemas - Fatec Itapetininga - E-mail: evelyn.antunes@fatec.sp.gov.br[3]
Análise e Desenvolvimento de Sistemas - Fatec Itapetininga - E-mail: reginaldo.picconi@fatec.sp.gov.br[4]
Prof.ª Orientadora Mestre - Fatec Itapetininga - E-mail: silvia.garcia01@fatec.sp.gov.br[5]

1 INTRODUÇÃO

O avanço da transformação digital no Brasil tem ampliado significativamente a produção, o armazenamento e o processamento de dados, consolidando-os como ativos estratégicos para organizações públicas e privadas. Esse cenário, no entanto, tem sido acompanhado pelo aumento expressivo de incidentes de segurança da informação, especialmente vazamentos de dados. A crescente digitalização, aliada à expansão da conectividade, amplia a superfície de ataque e torna sistemas e infraestruturas mais suscetíveis à exploração por agentes maliciosos, evidenciando a relevância do tema no contexto contemporâneo (Assolini, 2022).

Nesse contexto, as vulnerabilidades presentes na arquitetura tecnológica e na gestão da informação desempenham papel central na ocorrência desses incidentes. Falhas de configuração, ausência de políticas robustas de segurança e a baixa maturidade em práticas de proteção de dados contribuem para a exposição indevida de informações sensíveis. Além disso, a dependência de infraestruturas tecnológicas e soluções estrangeiras pode intensificar riscos estruturais, dificultando o controle e a proteção eficaz dos dados no ambiente digital brasileiro (CGI.br, 2024).

A partir dessas fragilidades, observa-se a consolidação de um ecossistema cibercriminoso altamente organizado, no qual dados vazados são tratados como ativos econômicos. Nesse cenário, a exfiltração de dados representa uma etapa crítica, sendo responsável pela transferência das informações comprometidas para ambientes externos aos sistemas invadidos. Posteriormente, esses dados são distribuídos e comercializados em espaços digitais anônimos, como a *Dark Web*, onde são utilizados para diversas práticas ilícitas, incluindo fraudes, roubo de identidade e novos ataques cibernéticos (IBM Security, 2024).

Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo principal analisar a rota do vazamento de dados, buscando compreender de forma sistemática o fluxo percorrido pelas informações desde sua coleta ilegal até sua efetiva comercialização em ambientes da *Dark Web*. Para isso, investigam-se as etapas que compõem esse processo, incluindo a obtenção indevida dos dados, sua exfiltração de sistemas comprometidos, a distribuição inicial em fóruns restritos, a negociação em *marketplaces* clandestinos e, por fim, sua utilização em práticas ilícitas, como fraudes e novos ataques cibernéticos. Ao estruturar essa cadeia de eventos, pretende-se evidenciar os principais pontos de vulnerabilidade ao longo do percurso dos dados,

contribuindo para a ampliação do entendimento sobre o fenômeno e subsidiando estratégias mais eficazes de prevenção e mitigação.

2 METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza aplicada, com abordagem qualitativa e objetivo exploratório-descritivo, tendo em vista a intenção de compreender, interpretar e sistematizar o fenômeno do vazamento de dados no contexto da transformação digital e da segurança da informação no Brasil. Segundo Gil (2010), pesquisas exploratórias têm como finalidade proporcionar maior familiaridade com o problema investigado, enquanto estudos descritivos buscam observar, registrar e analisar características de determinado fenômeno, sem necessariamente manipulá-lo. Nesse sentido, a investigação foi orientada para a identificação das etapas que compõem a rota do vazamento de dados, desde sua coleta indevida até sua circulação e exploração em ambientes digitais clandestinos.

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, o estudo foi desenvolvido por meio de pesquisa bibliográfica e documental. A pesquisa bibliográfica fundamentou-se na análise de artigos científicos, livros, relatórios técnicos e publicações institucionais relacionados à segurança da informação, exfiltração de dados, cibercrime, Dark Web, governança digital e proteção de dados pessoais.

Complementarmente, a pesquisa documental foi empregada na análise de relatórios de mercado, documentos institucionais e estatísticas recentes produzidas por organizações especializadas, tais como o CGI.br(2024), IBM Security(2024) Kaspersky(2016) e órgãos públicos brasileiros, por se tratarem de fontes relevantes para a compreensão atualizada da problemática estudada.

A coleta de dados foi conduzida a partir de um levantamento sistemático da literatura e de evidências secundárias, com seleção de materiais publicados prioritariamente entre 2020 e 2025, em razão da rápida evolução dos cenários tecnológicos e das ameaças cibernéticas. Foram consultadas bases acadêmicas e fontes institucionais reconhecidas, incluindo Google Scholar, Scopus, SciELO, Web of Science, além de relatórios especializados de segurança cibernética.

Para a organização e interpretação dos dados, adotou-se a análise de conteúdo temática, conforme proposta por Bardin (2016), permitindo classificar e agrupar os achados em categorias analíticas compatíveis com o objetivo do estudo. A

partir desse procedimento, o fenômeno foi estruturado em cinco eixos principais: (i) coleta indevida de dados, (ii) exfiltração de informações, (iii) distribuição inicial em ambientes restritos, (iv) comercialização em fóruns e marketplaces clandestinos e (v) utilização final em fraudes, extorsões e novos ataques cibernéticos. Essa categorização possibilitou visualizar a rota do vazamento de dados como um fluxo contínuo e organizado, favorecendo a identificação dos principais pontos de vulnerabilidade técnica, processual e organizacional.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 VAZAMENTOS DE DADOS E EXPOSIÇÃO DE INFORMAÇÕES NO BRASIL

Vazamentos de dados podem ser compreendidos como incidentes de segurança em que informações pessoais ou sensíveis são acessadas, divulgadas ou transferidas a terceiros sem autorização do titular, gerando impactos sociais, econômicos e jurídicos relevantes (Galvão, 2024).

De acordo com Webber (2024), a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) estabelece que organizações responsáveis pelo tratamento de dados devem garantir a segurança das informações, sendo responsabilizadas quando falhas de proteção resultam em vazamentos ou danos aos titulares dos dados

Segundo Oliveira (2024), no contexto brasileiro, a discussão sobre vazamentos de dados ganhou maior relevância com a implementação da LGPD, que passou a estabelecer diretrizes para o tratamento de dados pessoais e para a responsabilização das instituições em casos de exposição indevida dessas informações.

A crescente digitalização de serviços públicos e privados ampliou a quantidade de dados armazenados por instituições, tornando mais frequentes os incidentes de segurança e os vazamentos de dados pessoais sensíveis em diferentes setores da administração pública e da iniciativa privada (Silva; Nazareno; Pinheiro, 2024).

3.2 VULNERABILIDADES DA ARQUITETURA DE SISTEMAS E INFRAESTRUTURA TECNOLÓGICA

A arquitetura de sistemas de informação envolve a organização e a integração de componentes de hardware, software e redes, de modo que falhas em sua

configuração ou na articulação entre esses elementos podem resultar em vulnerabilidades capazes de facilitar ataques cibernéticos e o acesso não autorizado a dados sensíveis, conforme apontam Laudon e Laudon (2021).

Nessa mesma perspectiva, Stallings (2018a) destaca que sistemas computacionais mal projetados ou sustentados por políticas inadequadas de segurança tendem a apresentar fragilidades exploráveis por agentes maliciosos, especialmente quando não são adotadas práticas adequadas de atualização de software, controle de acesso e manutenção preventiva.

Além disso, a crescente dependência de infraestruturas digitais e redes interconectadas ampliou de forma significativa a superfície de ataque das organizações, tornando indispensável a implementação de arquiteturas seguras e de mecanismos de proteção voltados à mitigação de riscos relacionados a invasões e vazamentos de dados, como observam Goodrich e Tamassia (2015).

Nesse cenário, a proteção da informação em ambientes corporativos depende diretamente da adoção de controles técnicos e estruturais que fortaleçam a segurança dos sistemas, incluindo recursos como autenticação, criptografia e monitoramento contínuo da infraestrutura tecnológica, conforme ressaltam Whitman e Mattord (2018).

3.3 MERCADO DE DADOS E ATIVIDADES CRIMINOSAS NA *Dark Web*

Os vazamentos de dados podem ser compreendidos como incidentes de segurança nos quais informações pessoais ou sensíveis são acessadas, divulgadas ou transferidas a terceiros sem a devida autorização do titular, gerando impactos significativos de ordem social, econômica e jurídica, conforme define Galvão (2024).

Nessa perspectiva, a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) estabelece que as organizações responsáveis pelo tratamento dessas informações devem adotar medidas adequadas para assegurar sua proteção, podendo ser responsabilizadas sempre que falhas de segurança resultarem em exposição indevida ou danos aos titulares, como destaca Webber (2024).

No contexto brasileiro, a discussão acerca dos vazamentos de dados tornou-se ainda mais relevante com a implementação da LGPD, que passou a estabelecer diretrizes específicas para o tratamento de dados pessoais e para a responsabilização institucional em situações de comprometimento dessas informações, conforme observa Oliveira (2024).

Paralelamente, a intensificação da digitalização de serviços públicos e privados ampliou de maneira expressiva o volume de dados armazenados por diferentes instituições, tornando mais recorrentes os incidentes de segurança e os vazamentos de dados pessoais sensíveis em diversos setores da administração pública e da iniciativa privada, como apontam Silva, Nazareno e Pinheiro (2024).

3.4 SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO E LEI GERAL DE PROTEÇÃO DE DADOS (LGPD)

A segurança da informação envolve a implementação de políticas, tecnologias e práticas destinadas a proteger dados contra acessos não autorizados, garantindo a confidencialidade, integridade e disponibilidade das informações nas organizações (Stallings, 2018a).

A Lei Geral de Proteção de Dados(LGPD) estabelece diretrizes para o tratamento de dados pessoais no Brasil, impondo às organizações a responsabilidade de adotar medidas técnicas e administrativas capazes de proteger essas informações contra acessos indevidos ou incidentes de segurança (Doneda, 2020).

A LGPD representa um avanço no cenário jurídico brasileiro ao estabelecer princípios e regras para o tratamento de dados pessoais, reforçando a importância da segurança da informação e da privacidade dos usuários no ambiente digital (Bioni, 2019).

A implementação de mecanismos de segurança da informação é essencial para a conformidade com a LGPD, pois a legislação exige que empresas e instituições adotem práticas adequadas de proteção de dados para evitar vazamentos e garantir os direitos dos titulares das informações (Pinheiro, 2021).

4 ANÁLISE DE DADOS

Nesta seção, apresentam-se análises sobre vazamento e a exploração ilegal de dados, com foco na compreensão do fluxo da informação desde sua obtenção até sua comercialização na *Dark Web*. Busca-se demonstrar, de forma objetiva, as etapas desse processo, incluindo coleta, exfiltração, distribuição e venda dos dados. A análise permite situar a pesquisa no contexto atual, identificando vulnerabilidades, convergências e lacunas relevantes.

4.1 ANÁLISE DAS ETAPAS DA ROTA DO VAZAMENTO DE DADOS

O vazamento de dados constitui uma das principais ameaças à segurança da informação no contexto da transformação digital, especialmente em razão da crescente dependência de sistemas informatizados por organizações públicas e privadas. Esse tipo de incidente pode ocasionar prejuízos financeiros, danos à reputação institucional, comprometimento da privacidade dos titulares dos dados e impactos operacionais relevantes. Nesse sentido, compreender as etapas do vazamento de dados torna-se fundamental para a identificação de vulnerabilidades, a mitigação de riscos e o fortalecimento das medidas de prevenção, detecção e resposta a incidentes de segurança (Kim; Solomon, 2016).

A análise da rota do vazamento de dados permite compreender o fluxo percorrido pelas informações desde sua obtenção indevida até sua utilização final em práticas ilícitas. Em termos gerais, esse processo pode ser entendido como uma cadeia estruturada de eventos, na qual os dados são coletados de forma ilegal, extraídos dos sistemas comprometidos, compartilhados em ambientes restritos, comercializados em mercados clandestinos e posteriormente utilizados em fraudes ou em novos ataques cibernéticos. Dessa forma, o vazamento de dados não deve ser interpretado como um evento isolado, mas como parte de um processo organizado e contínuo, característico do ecossistema do cibercrime contemporâneo (Holt; Bossler, 2014a).

A primeira etapa dessa rota corresponde à coleta ilegal de dados, momento em que agentes maliciosos obtêm acesso não autorizado a informações sensíveis por meio de diferentes técnicas de ataque. Entre os métodos mais recorrentes, destacam-se o *phishing*, a engenharia social, a exploração de vulnerabilidades em sistemas, a utilização de *malwares e spywares*, bem como o comprometimento de credenciais de acesso. Nessa fase, o objetivo principal é a obtenção de informações valiosas, como dados pessoais, credenciais de autenticação, informações financeiras, registros corporativos e documentos estratégicos. A efetividade dessa etapa está diretamente relacionada ao nível de maturidade dos controles de segurança adotados pela organização e ao grau de conscientização dos usuários quanto às boas práticas de segurança digital (Stallings, 2018a).

Após a obtenção indevida das informações, ocorre a etapa de exfiltração dos dados, que consiste na transferência não autorizada do conteúdo coletado para ambientes externos controlados pelos agentes maliciosos. Essa fase representa a materialização do vazamento propriamente dito, uma vez que os dados deixam o ambiente comprometido e passam a circular fora do domínio da organização afetada. Em muitos casos, a exfiltração é realizada de forma silenciosa, utilizando mecanismos de evasão, como criptografia, fragmentação dos arquivos, automação da transferência e canais ocultos de comunicação, com o objetivo de reduzir a probabilidade de detecção pelos sistemas de monitoramento e resposta (Stallings, 2018a).

Na sequência, os dados exfiltrados costumam ser submetidos a uma etapa de distribuição inicial em fóruns privados ou comunidades restritas, frequentemente acessíveis apenas a membros autorizados do meio cibercriminoso. Esses ambientes funcionam como espaços de validação e triagem, nos quais as informações são analisadas quanto à sua autenticidade, relevância, atualidade e potencial de exploração. Em muitos casos, amostras dos dados comprometidos são compartilhadas para comprovar sua legitimidade e despertar o interesse de possíveis compradores. Tal prática contribui para a construção de confiança entre os participantes dessas redes ilícitas e prepara o material para sua posterior monetização (Holt; Bossler, 2014a).

Posteriormente, os dados são direcionados para a etapa de comercialização em *marketplaces* da chamada *Dark Web*, ambiente amplamente utilizado para a negociação de ativos ilícitos em razão do emprego de tecnologias de anonimização e criptografia. Nesses mercados clandestinos, as informações podem ser ofertadas de diversas formas, incluindo bases completas, credenciais individuais, acessos específicos a sistemas comprometidos e pacotes segmentados conforme o tipo de dado. O valor atribuído a essas informações varia de acordo com fatores como sensibilidade, volume, atualidade, exclusividade e potencial de uso fraudulento, sendo dados financeiros, credenciais de acesso e registros corporativos estratégicos geralmente mais valorizados (Holt; Bossler, 2014b).

Na etapa final da rota, os dados adquiridos passam a ser utilizados para a realização de fraudes ou para a execução de novos ataques cibernéticos. Entre os principais usos observados, destacam-se o roubo de identidade, as fraudes financeiras, os acessos indevidos a contas e sistemas, a aplicação de golpes de engenharia social e a condução de campanhas de *phishing* mais direcionadas e

sofisticadas. Além disso, as informações vazadas podem ser reutilizadas em ataques futuros, o que contribui para a manutenção de um ciclo contínuo de exploração criminosa. Esse cenário demonstra que o vazamento de dados alimenta uma cadeia de valor do cibercrime, na qual as informações comprometidas são continuamente reaproveitadas para fins econômicos e operacionais (Kim; Solomon, 2016). A Figura 1 apresenta o modelo conceitual que destaca a rota de vazamento de dados.

Figura 1 – Modelo conceitual da rota de vazamento de dados



Fonte: Adaptado de Stallings (2018a), Holt e Bossler (2014b) e Kim e Solomon (2016)

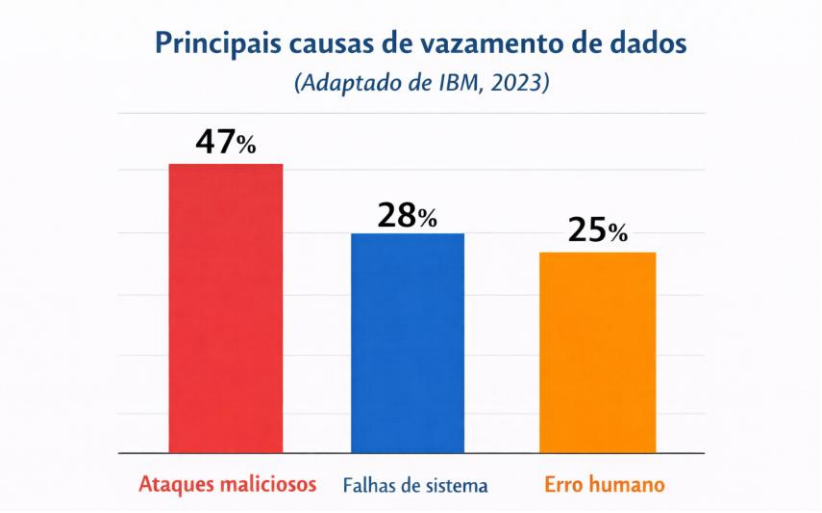
Dessa forma, a análise das etapas do vazamento de dados evidencia que os incidentes de segurança da informação seguem uma lógica operacional estruturada, composta por fases interdependentes que vão desde a obtenção indevida das informações até sua exploração final. A compreensão desse fluxo é essencial para o desenvolvimento de estratégias mais eficazes de prevenção e resposta, permitindo que organizações identifiquem pontos críticos de vulnerabilidade e fortaleçam seus mecanismos de proteção. Além disso, a representação desse processo por meio de modelos conceituais ou diagramas de fluxo pode contribuir significativamente para a visualização das relações entre as etapas, facilitando a sistematização do conhecimento e a elaboração de políticas de segurança mais consistentes (Stallings, 2018b).

4.2 VAZAMENTO DE DADOS NO CENÁRIO GOVERNAMENTAL.

O vazamento de dados no setor governamental brasileiro tem apresentado crescimento significativo nos últimos anos, evidenciando fragilidades estruturais na segurança da informação. Dados do Centro de Prevenção, Tratamento e Resposta a Incidentes Cibernéticos do Governo (CTIR Gov, 2025) indicam que o governo federal registrou quase 58 mil incidentes cibernéticos, sendo mais de 9 mil relacionados a vazamentos de dados. Além disso, observa-se um crescimento expressivo desses incidentes, com aumento superior a 20 vezes desde 2020, período que coincide com a implementação da LGPD no Brasil. Esses dados evidenciam que, apesar dos avanços legais, a maturidade em segurança da informação ainda apresenta lacunas no setor público.

Do ponto de vista técnico, estudos baseados em relatórios da IBM (2023) apontam que os vazamentos de dados são predominantemente causados por ataques maliciosos (47%), seguidos por falhas de sistema (28%) e erro humano (25%). Como visto no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Vazamento de dados

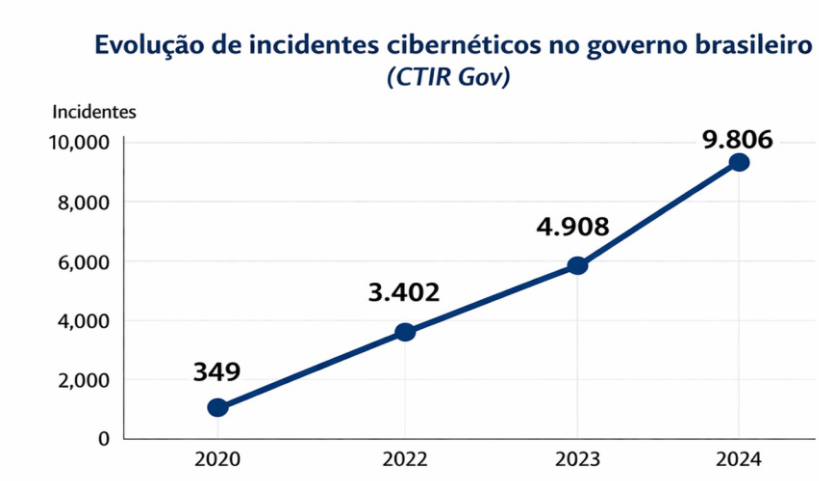


Fonte: Adaptado de IBM (2023).

Esses resultados indicam que as vulnerabilidades não estão apenas na infraestrutura tecnológica, mas também na gestão da informação e no fator humano. No contexto governamental, isso se torna ainda mais crítico devido à complexidade e à escala dos sistemas utilizados, que integram múltiplas bases de dados e serviços digitais.

Outro ponto relevante refere-se à magnitude dos vazamentos no Brasil. Um dos casos mais emblemáticos segundo CTIR Gov (2025) ocorreu em 2021, quando foram expostos dados de mais de 223 milhões de brasileiros, incluindo informações como CPF, nome e telefone como observado na Figura 2. Esse episódio evidenciou não apenas falhas na proteção de dados, mas também a existência de um ecossistema cibercriminoso capaz de explorar e comercializar essas informações em larga escala.

Gráfico 2 - Evolução de Incidentes Cibernéticos no Governo Brasileiro



Fonte: Adaptado de CTIR Gov (2025).

Complementarmente, estudos indicam que cerca de 43% dos dados vazados globalmente possuem origem no Brasil, demonstrando a relevância do país no cenário internacional de cibersegurança. Adicionalmente, observa-se que o crescimento dos ataques também está relacionado à ampliação da digitalização dos serviços públicos. Entre 2022 e 2025, os registros de invasões a sistemas governamentais aumentaram quase 190%, com milhares de ocorrências envolvendo exposição indevida de dados. Esse cenário reforça a ideia de que a expansão da infraestrutura digital, quando não acompanhada de investimentos equivalentes em segurança, tende a ampliar significativamente os riscos de vazamento.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O vazamento de dados no contexto brasileiro apresenta crescimento significativo, consolidando-se como uma das principais ameaças à segurança da informação. Esse processo ocorre de forma estruturada, conforme sintetizado na Tabela 1, iniciando-se pela coleta ilegal de dados sensíveis, seguida pela exfiltração de grandes volumes de informação, o que amplia os impactos operacionais e financeiros. Na sequência, há a validação e distribuição em ambientes restritos, a comercialização em mercados clandestinos e, por fim, o uso dessas informações em fraudes e novos ataques, caracterizando um ciclo contínuo de exploração.

Tabela 1: Análise atual da rota do vazamento de dados (2024–2025)

Etapa da rota	Descrição analítica	Dados atuais / estatísticas	Implicações
Coleta ilegal	Obtenção inicial por exploração técnica ou humana	94% dos ataques cibernéticos em 2024 envolveram roubo de dados	Demonstra que o foco do cibercrime é a captura de dados sensíveis
Exfiltração	Transferência dos dados para fora do sistema comprometido	Média de 592 GB de dados exfiltrados por ataque	Alto volume aumenta impacto financeiro e operacional
Validação e distribuição inicial	Compartilhamento em fóruns restritos para verificação	44,59% das atividades na *Dark Web* envolvem divulgação de vazamentos	Fóruns funcionam como “triagem” antes da venda
Comercialização	Venda em *marketplaces* clandestinos	41,15% dos conteúdos da *Dark Web* estão relacionados à venda de dados	Indica forte estrutura de mercado ilegal

Valor econômico dos dados	Precificação conforme volume e sensibilidade	Caso real: 2,9 bilhões de registros vendidos por US$ 3,5 milhões	Dados pessoais possuem alto valor comercial
Uso final	Aplicação em fraudes e novos ataques	Mais de 1 milhão de credenciais e milhares de cartões foram expostos em 2024	Ampliação do impacto e retroalimentação do ciclo
Impacto financeiro	Consequências econômicas dos vazamentos	Custo médio de US$ 5,21 milhões por incidente	Pressiona organizações a investir em segurança

Fonte: Adaptado de CTIR Gov (2025).

Com base na análise dos dados apresentados, observa-se que o vazamento de dados no contexto brasileiro, especialmente no setor governamental, apresenta crescimento significativo nos últimos anos, consolidando-se como uma das principais ameaças à segurança da informação (Brasil, 2025). Esse fenômeno ocorre de forma estruturada, conforme sintetizado na Tabela 1, evidenciando um processo contínuo que envolve coleta ilegal, exfiltração, distribuição, comercialização e uso indevido das informações.

A análise do Gráfico 2 indica uma tendência de crescimento contínuo dos incidentes, especialmente após 2020, associada à expansão da digitalização e ao aumento da superfície de ataque. Embora existam avanços regulatórios, como a LGPD, observa-se que as práticas de segurança ainda não evoluem na mesma proporção, uma vez que muitas organizações ainda enfrentam dificuldades na implementação efetiva de políticas de proteção de dados, monitoramento de riscos e mecanismos preventivos de segurança digital (Stallings, 2018b).

No que se refere às causas, os dados do Gráfico 1 mostram a predominância de ataques maliciosos (47%), seguidos por falhas de sistema (28%) e erros humanos (25%) (IBM, 2023). Esse cenário evidencia que o cibercrime atua de forma estratégica, priorizando dados de alto valor, ao mesmo tempo em que revela fragilidades internas relacionadas à gestão da segurança e à capacitação dos usuários. Além disso, casos de grande magnitude reforçam a gravidade dos vazamentos e sua exploração em larga escala. O aumento das invasões, impulsionado pela expansão dos serviços digitais, demonstra que a transformação digital amplia os riscos quando não acompanhada por investimentos adequados em segurança (Brasil, 2025). Nesse contexto, os impactos financeiros e operacionais evidenciam a necessidade de fortalecimento das práticas de governança, monitoramento e resposta a incidentes.

Dessa forma, os resultados confirmam que o vazamento de dados é um processo estruturado, influenciado por fatores técnicos, humanos e organizacionais. Por fim, apesar dos avanços normativos, ainda há lacunas na maturidade da segurança da informação no Brasil, o que reforça a necessidade de uma abordagem integrada para mitigação dos riscos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise desenvolvida neste estudo permite afirmar que o avanço da transformação digital no Brasil, embora indispensável para a modernização institucional, tem sido acompanhado por um crescimento proporcional — e preocupante — dos vazamentos de dados. Esse cenário evidencia uma contradição estrutural: ao mesmo tempo em que os dados se consolidam como ativos estratégicos, sua proteção não evolui na mesma intensidade. A ampliação da superfície de ataque, impulsionada pela conectividade e pela digitalização acelerada, expõe fragilidades que são exploradas de forma sistemática por agentes cibercriminosos.

Nesse sentido, torna-se evidente que os vazamentos de dados não decorrem exclusivamente de falhas tecnológicas, mas de um conjunto articulado de vulnerabilidades que envolvem arquitetura de sistemas, gestão da informação e comportamento humano. A predominância de ataques maliciosos, aliada à expressiva participação de erros humanos e falhas técnicas, reforça que a segurança da informação ainda é tratada de forma fragmentada em muitas organizações. Além disso, embora a LGPD represente um avanço normativo relevante, sua efetividade é limitada quando não acompanhada por práticas concretas de governança e cultura organizacional voltadas à proteção de dados.

Outro aspecto central identificado é a consolidação de um ecossistema cibercriminoso estruturado, no qual os dados vazados são inseridos em uma lógica de mercado. A compreensão da rota do vazamento — desde a coleta ilegal até a comercialização e uso indevido — evidencia que esses incidentes não são eventos isolados, mas parte de uma cadeia contínua de exploração econômica. Essa dinâmica reforça a gravidade do problema, pois amplia o impacto dos vazamentos e contribui para a retroalimentação do cibercrime, tornando os dados comprometidos insumos para novas violações.

Diante disso, sustenta-se que a mitigação desse problema exige uma mudança de abordagem: não basta investir apenas em tecnologias de proteção, sendo necessário integrar políticas de governança, monitoramento contínuo e capacitação dos usuários. A segurança da informação deve ser compreendida como um elemento estratégico e transversal, capaz de acompanhar o ritmo da transformação digital. Assim, conclui-se que o fortalecimento de práticas preventivas e a adoção de estratégias integradas são condições essenciais para reduzir vulnerabilidades e limitar os impactos dos vazamentos de dados no contexto brasileiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA LUPA**. Sem proteção, dados vazados alimentam indústria de golpes no país.** 2025. Disponível em: <https://www.agencialupa.org/jornalismo/2025/05/26/sem-protecao-dados-vazados-alimentam-industria-de-golpes-no-pais/>. Acesso em: 27 mar. 2026.

ASSOLINI, Fábio**. Brasil é o maior alvo de ataques na América Latina.** Kaspersky, 16 nov. 2022. Disponível em: <https://www.kaspersky.com.br/blog/panorama-ameacas-latam-2022/20311/>. Acesso em: 27 mar. 2026.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016.

BIONI, Bruno Ricardo**. Proteção de dados pessoais: a função e os limites do consentimento.** Rio de Janeiro: Forense, 2019.

BRASIL. Centro de Prevenção, Tratamento e Resposta a Incidentes Cibernéticos de Governo (CTIR Gov)**. Relatório de incidentes cibernéticos no governo federal.** Brasília, 2025**.**

COMITÊ GESTOR DA INTERNET NO BRASIL (CGI.br)**. Nota pública sobre o atual debate regulatório em torno da segurança cibernética no Brasil.** São Paulo: CGI.br, 2024. Disponível em: <https://www.cgi.br/esclarecimento/nota-publica-sobre-o-atual-debate-regulatorio-em-torno-da-seguranca-cibernetica-no-brasil/>. Acesso em: 27 mar. 2026.

DIÁRIO DO GRANDE ABC**. Reclamações de uso ou vazamentos de dados crescem em 175%.** 2026. Disponível em: <https://www.dgabc.com.br/Noticia/4286492>. Acesso em: 27 mar. 2026.

EUAX**. Vazamento de dados: guia completo para proteger sua empresa em 2025.** 2024. Disponível em: <https://www.euax.com.br/2024/01/vazamento-de-dados/>. Acesso em: 27 mar. 2026.

GALVÃO, Heideivirlandia Leite et al. **Incidentes de segurança: regulação e prática de vazamento de dados pessoais frente à LGPD.** ID on Line: Revista de Psicologia, v. 18, n. 72, p. 179-197, 2024. Disponível em: <https://idonline.emnuvens.com.br/id/article/view/4042>. Acesso em: 13 maio 2026.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GOODRICH, Michael T.; TAMASSIA, Roberto. **Introdução à segurança de computadores.** Porto Alegre: Bookman, 2015**.**

HARDWARE.COM.BR. **Vazamentos de dados: Brasil registra aumento de contas violadas.** 2025. Disponível em: <https://www.hardware.com.br/noticias/vazamento-dados-brasil/>. Acesso em: 27 mar. 2026.

HOLT, Thomas J.; BOSSLER, Adam**. An assessment of the current state of cybercrime scholarship.** Deviant Behavior, [s.l.], v. 35, n. 1, p. 20-40, 2014.

HOLT, Thomas J.; BOSSLER, Adam**. Cybercrime in progress: theory and prevention of technology-enabled offenses.** New York: Routledge, 2014.

IBM SECURITY**. Cost of a Data Breach Report 2023.** Armonk: IBM Corporation, 2023.

IBM SECURITY. **Resumo de 2024: principais histórias de violações de dados e tendências de segurança.** IBM Brasil, 18 dez. 2024. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/think/insights/2024-roundup-top-data-breach-stories-and-industry-trends>. Acesso em: 27 mar. 2026.

KASPERSKY**. Brasil é o maior alvo de ataques na América Latina.** São Paulo: Kaspersky, 2022. Disponível em: <https://www.kaspersky.com.br/blog/panorama-ameacas-latam-2022/20311/>. Acesso em: 27 mar. 2026.

KIM, David; SOLOMON, Michael G**. Fundamentals of information systems security.** 3. ed. Burlington: Jones & Bartlett Learning**,** 2016.

LAUDON, Kenneth C.; LAUDON, Jane P**. Sistemas de informação gerenciais.** 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2021.

NAHAPETYAN, Aleksandr et al. **Characterizing phishing pages by JavaScript capabilities.** arXiv preprint arXiv:2509.13186, 2025. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2509.13186>. Acesso em: 27 mar. 2026.

OLIVEIRA, R**. A implementação da LGPD e a responsabilidade civil das instituições.** Brasília: Revista de Direito Digital, 2024.

OWASP FOUNDATION**. OWASP Top 10: 2024.** 2024. Disponível em: <https://owasp.org/www-project-top-ten/>. Acesso em: 11 mar. 2026.

PDCA TI. **Maturidade Digital no Brasil 2025: panorama de segurança e vazamento de dados.** 2025. Disponível em: <https://www.pdcati.com.br/dados-ti-brasil/>. Acesso em: 27 mar. 2026.

PINHEIRO, Patricia Peck. **Proteção de dados pessoais: comentários à Lei n. 13.709/2018 (LGPD)**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2021.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de**. Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico.** 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

ROSE, Scott et al. **Zero Trust Architecture.** Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology (NIST)**,** 2020. (NIST Special Publication 800-207). Disponível em: <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-207>. Acesso em: 11 mar. 2026.

SILVA, J.; NAZARENO, M.; PINHEIRO, R**. Digitalização e incidentes de segurança na administração pública**. Rio de Janeiro: Tecnologia & Sociedade, 2024.

STALLINGS, William. **Criptografia e segurança de redes: princípios e práticas**. 7. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2018a.

STALLINGS, William. **Effective cybersecurity: a guide to using best practices and standards**. Boston: Pearson, 2018b.

WEBBER, L**. Segurança da informação e conformidade legal.** Porto Alegre: Editora Acadêmica, 2024.

WHITMAN, Michael E.; MATTORD, Herbert J**. Principles of Information Security.** 6. ed. Boston: Cengage Learning, 2018.

DECLÍNIO NAS EXPORTAÇÕES DE SUCO DE LARANJA BRASILEIRO (2023–2025): IMPACTOS E DESAFIOS PARA O COMÉRCIO EXTERIOR
DECLINE IN BRAZILIAN ORANGE JUICE EXPORTS (2023–2025): IMPACTS AND CHALLENGES FOR FOREIGN TRADE

Bruno Barboza de Abreu[1]
Silvia Roberta de Jesus Garcia[2]

RESUMO: O presente estudo analisa o declínio das exportações brasileiras de suco de laranja no período de 2023 a 2025, com o objetivo de identificar os principais fatores responsáveis pela redução do volume exportado e avaliar seus impactos no comércio exterior. A pesquisa caracteriza-se como descritiva e exploratória, com abordagem qualitativa e quantitativa, utilizando dados secundários provenientes de fontes como CITRUSBR, CEPEA, Ministério da Agricultura e publicações especializadas. Foram analisados indicadores como volume exportado, receita e principais mercados de destino. Os resultados evidenciam uma queda significativa no volume das exportações, associada à redução da produção nacional, influenciada por fatores climáticos adversos e pelo avanço de doenças fitossanitárias, como o greening. Em contrapartida, observou-se aumento da receita em 2024, decorrente da valorização dos preços internacionais, seguido de retração em 2025, indicando ajuste de mercado. Verificou-se ainda elevada concentração das exportações em poucos destinos, especialmente União Europeia e Estados Unidos, além de redução da participação de mercados asiáticos, como China e Japão. Conclui-se que o declínio das exportações resulta da combinação entre restrição da oferta, elevação dos preços e contração da demanda global. Esse cenário gera impactos como aumento da volatilidade da receita exportadora, maior dependência de mercados tradicionais e desafios à competitividade do setor. Dessa forma, destaca-se a necessidade de estratégias voltadas à diversificação de mercados, aumento da produtividade e mitigação de riscos no setor citrícola brasileiro.
Palavras-chave: Citrícola; Citricultura; Mercado internacional; Redução.

ABSTRACT: This study analyzed the decline in Brazilian orange juice exports between 2023 and 2025, aiming to identify the main factors responsible for the reduction in export volume and to assess its impacts on foreign trade. The research is characterized as descriptive and exploratory, with both qualitative and quantitative approaches, using secondary data from sources such as CITRUSBR, CEPEA, the Ministry of Agriculture, and specialized publications. Key indicators analyzed include export volume, revenue, and main destination markets. The results revealed a significant decrease in export volume, mainly associated with reduced national production due to adverse climatic conditions and the spread of phytosanitary diseases such as greening. In contrast, export revenues increased in 2024 due to rising international prices, followed by a decline in 2025, indicating a market adjustment process. The study also highlights a high concentration of exports in a few markets, particularly the European Union and the United States, along with a reduction in Asian markets such as China and Japan. It was concluded that the decline in exports results from the combined effects of supply constraints, rising international prices, and decreasing global demand. This scenario leads to increased volatility in export revenues, greater dependence on traditional markets, and challenges to the sector's competitiveness. Therefore, strategies focused on market diversification, productivity

Comércio Exterior - Fatec Itapetininga - E-mail: bruno.abreu@fatecitapetininga.edu.br[1]
Profa. Coorientadora Mestre - Fatec Itapetininga - E-mail: silvia.garcia01@fatec.sp.gov.br [2]

improvement, and risk mitigation are essential for the sustainability of the Brazilian citrus sector.
Keywords: Citrus; Citrus industry; International market; Reduction.

1 INTRODUÇÃO

A citricultura brasileira possui elevada relevância para o comércio exterior nacional, especialmente no segmento de suco de laranja, no qual o Brasil ocupa posição de destaque como maior exportador mundial do produto. Essa competitividade está associada à elevada capacidade produtiva do cinturão citrícola brasileiro e à consolidação da indústria processadora voltada ao mercado internacional (BRASIL, 2019).

Entretanto, entre 2023 e 2025, o setor passou a enfrentar significativa retração no volume exportado, em decorrência da redução da oferta de frutas destinadas ao processamento industrial, influenciada principalmente por condições climáticas adversas e pelo avanço de doenças fitossanitárias, como o *greening* (CEPEA, 2024).

Além das limitações produtivas, fatores relacionados ao cenário internacional também contribuíram para a instabilidade do setor. A elevada dependência de mercados tradicionais, especialmente União Europeia e Estados Unidos, ampliou a vulnerabilidade das exportações brasileiras frente às oscilações da demanda, às barreiras comerciais e às variações nos preços internacionais do produto (CITRUSBR, 2024).

Nesse contexto, o comércio exterior brasileiro enfrenta desafios relacionados à manutenção da competitividade internacional, à diversificação de mercados consumidores e à redução da dependência de poucos destinos estratégicos. Como possíveis alternativas, destacam-se investimentos em inovação tecnológica, aumento da produtividade agrícola, ampliação da presença em mercados emergentes e fortalecimento de estratégias logísticas e comerciais voltadas ao setor citrícola.

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo analisar o declínio das exportações brasileiras de suco de laranja entre 2023 e 2025, identificando os fatores responsáveis pela redução do volume exportado e avaliando os impactos desse cenário no comércio exterior brasileiro.

2 METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como descritiva e exploratória, com abordagem qualitativa e quantitativa, fundamentada em pesquisa bibliográfica e documental.

Os dados analisados foram obtidos por meio de fontes secundárias oficiais e especializadas, selecionadas com base em critérios de confiabilidade, atualização e relevância para o setor citrícola e para o comércio exterior brasileiro. Entre as principais fontes utilizadas destacam-se a Associação Nacional dos Exportadores de Sucos Cítricos (CITRUSBR), o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA), o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), além de publicações da Food and Agriculture Organization (FAO), do United States Department of Agriculture (USDA) e de reportagens econômicas especializadas.

A coleta de dados concentrou-se em indicadores referentes ao período de 2023 a 2025, incluindo volume exportado, receita gerada pelas exportações, variações percentuais, níveis de estoque e principais mercados importadores do suco de laranja brasileiro.

Posteriormente, os dados foram organizados em tabelas e gráficos comparativos, possibilitando a identificação de tendências, oscilações e relações entre oferta, demanda e desempenho exportador ao longo do período analisado.

Para interpretação dos resultados, foram utilizados procedimentos estatísticos descritivos, como análise comparativa, variação percentual e análise temporal dos indicadores, com base na literatura econômica e nos estudos relacionados ao comércio internacional e ao agronegócio exportador.

Como limitação da pesquisa, destaca-se a utilização de dados secundários disponibilizados pelas instituições consultadas, bem como o uso de informações parciais referentes à safra 2025/2026, ainda em andamento no momento da elaboração do estudo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico deste estudo está organizado em eixos que permitem compreender, de forma integrada, os principais fatores relacionados ao desempenho das exportações brasileiras de suco de laranja. Inicialmente, discute-se a dinâmica da

oferta, da demanda e da formação de preços no mercado internacional, destacando a posição do Brasil nesse segmento. Em seguida, abordam-se os impactos da redução da demanda global e das mudanças no comportamento do consumidor, bem como os fatores estruturais da citricultura brasileira que afetam a competitividade do setor. Por fim, apresenta-se o papel da CITRUSBR e das principais empresas exportadoras na organização, monitoramento e interpretação dos dados estratégicos do comércio exterior citrícola.

3.1 DINÂMICA DA OFERTA, DEMANDA E FORMAÇÃO DE PREÇOS NO MERCADO INTERNACIONAL DE SUCO DE LARANJA

O Brasil ocupa posição de destaque no comércio internacional de suco de laranja, consolidando-se como o maior exportador mundial desse produto. Conforme aponta o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2019), essa liderança está diretamente relacionada à elevada capacidade produtiva nacional e à estrutura consolidada da indústria citrícola voltada à exportação.

A partir de 2023, entretanto, as exportações brasileiras de suco de laranja passaram a apresentar redução no volume embarcado em comparação às safras anteriores. Segundo o CEPEA (2024), esse movimento esteve associado, principalmente, à menor disponibilidade de frutas para o processamento industrial e à redução da oferta no cinturão citrícola brasileiro. Ainda assim, apesar da queda no volume exportado, observou-se aumento na receita, impulsionado pela valorização internacional do produto.

Outro aspecto relevante refere-se à elevada concentração das exportações brasileiras em poucos mercados consumidores, especialmente a União Europeia e os Estados Unidos. De acordo com a Forbes (2025), esses destinos absorvem grande parte das vendas externas do setor, o que torna a cadeia exportadora mais sensível a mudanças comerciais, políticas tarifárias e oscilações na demanda desses mercados.

Além dos fatores produtivos e comerciais, o desempenho das exportações brasileiras de suco de laranja também sofre influência das transformações no cenário internacional. Nesse sentido, a CITRUSBR (2024) destaca que variações na demanda dos principais países importadores, a imposição de barreiras comerciais e as

oscilações nos preços globais da commodity são elementos que contribuem para a instabilidade do volume exportado ao longo do tempo.

Sob a perspectiva metodológica, a análise desse tipo de fenômeno demanda instrumentos capazes de identificar padrões, relações e tendências. Conforme expõe Triola (2017), o uso de métodos estatísticos em pesquisas acadêmicas possibilita compreender com maior precisão a dinâmica de fenômenos econômicos, incluindo as variáveis que influenciam o desempenho exportador de um país.

3.2 IMPACTOS DA REDUÇÃO DA DEMANDA GLOBAL E MUDANÇAS NO COMPORTAMENTO DO CONSUMIDOR

A redução do consumo global de suco de laranja está relacionada, em grande medida, às transformações nos hábitos alimentares da população. Segundo a Euromonitor (2023), observa-se uma tendência crescente de substituição do produto por bebidas alternativas, frequentemente percebidas pelos consumidores como mais saudáveis ou com menor teor de açúcar.

Além disso, o aumento dos preços internacionais do suco de laranja também tem contribuído para a retração da demanda, sobretudo em mercados desenvolvidos. De acordo com o USDA (2024), consumidores desses países tendem a apresentar maior sensibilidade às variações de preço, o que impacta diretamente o comportamento de compra e o consumo do produto.

Esse cenário se torna ainda mais relevante quando se considera a dependência brasileira de mercados tradicionais, como Europa e Estados Unidos. Conforme destaca a CITRUSBR (2024), a queda no consumo nesses destinos tem afetado diretamente o volume exportado pelo Brasil, evidenciando a vulnerabilidade do setor diante da retração da demanda externa.

Adicionalmente, mudanças no perfil do consumidor contemporâneo também vêm influenciando o desempenho do produto no mercado internacional. Para a FAO (2022), fatores como a busca por conveniência, diversificação de bebidas e novas preferências de consumo têm reduzido a participação do suco de laranja no mercado global, afetando sua competitividade frente a outras opções disponíveis.

3.3 FATORES ESTRUTURAIS DA CITRICULTURA BRASILEIRA E SEUS IMPACTOS NAS EXPORTAÇÕES

A citricultura brasileira enfrenta desafios estruturais que impactam diretamente sua capacidade produtiva e, consequentemente, o desempenho exportador do setor. Entre esses fatores, destaca-se a incidência de doenças fitossanitárias, especialmente o greening. Conforme apontam Neves e Trombin (2017), essa doença compromete a produtividade dos pomares e reduz a oferta de matéria-prima destinada à indústria de suco.

As condições climáticas também exercem papel determinante nesse contexto. Segundo a CONAB (2023), eventos como secas prolongadas e extremos climáticos têm afetado negativamente a produção de laranja no Brasil, reduzindo o volume disponível tanto para o abastecimento interno quanto para a exportação.

Outro elemento de vulnerabilidade está relacionado à concentração geográfica da produção nacional, fortemente localizada no cinturão citrícola paulista. De acordo com o IBGE (2022), essa concentração territorial torna o setor mais suscetível a fatores regionais, o que pode provocar oscilações expressivas na produção e, por consequência, nas exportações.

Além disso, a elevação dos custos de produção representa um obstáculo adicional à competitividade internacional do setor. Conforme evidencia a CITRUSBR (2024), o aumento dos gastos com insumos agrícolas, mão de obra e logística tem reduzido a capacidade competitiva do suco de laranja brasileiro no mercado externo, influenciando o desempenho exportador ao longo dos anos.

3.4 ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS EXPORTADORES DE SUCOS CÍTRICOS

A CITRUSBR desempenha papel central na organização e na divulgação de informações estratégicas sobre o setor citrícola brasileiro. A entidade reúne as principais empresas exportadoras de suco de laranja do país — Citrosuco, Cutrale e Louis Dreyfus Company — e é responsável pela consolidação de dados estatísticos relacionados ao volume e à receita das exportações brasileiras.

De acordo com a CITRUSBR (2025), os dados compilados pela associação evidenciam que as exportações brasileiras de suco de laranja apresentaram queda em volume em períodos recentes, refletindo fatores como a redução da oferta de matéria-prima e as oscilações na demanda internacional. Além disso, a entidade destaca que essas três empresas exercem domínio significativo sobre o

processamento e a exportação do produto, concentrando grande parte dos estoques e da oferta global de suco de laranja.

Ainda nesse contexto, a CITRUSBR (2024) ressalta que variações na produção agrícola, como safras reduzidas e problemas climáticos, impactam diretamente o desempenho exportador das empresas do setor, influenciando tanto os volumes embarcados quanto os preços internacionais do produto.

Dessa forma, a análise das informações disponibilizadas pela CITRUSBR permite compreender com maior profundidade a estrutura e o funcionamento do setor exportador citrícola brasileiro. Observa-se que a concentração produtiva e comercial nas principais empresas exportadoras, aliada à influência de fatores estruturais como clima, produtividade e comportamento da demanda internacional, torna o acompanhamento estatístico promovido pela entidade essencial para a interpretação das tendências, desafios e perspectivas do comércio exterior brasileiro de suco de laranja.

4 ANÁLISE DE DADOS

Conforme estabelecido anteriormente, esta análise fundamenta-se em dados da CITRUSBR, entidade que representa as principais empresas exportadoras do setor (Citrosuco, Cutrale e Louis Dreyfus Company) e compila estatísticas oficiais da Secretaria de Comércio Exterior.

Os dados evidenciam que, entre 2023 e 2025, o setor passou por um processo de retração no volume exportado, acompanhado por elevação de preços internacionais e posterior redução da demanda global, caracterizando um ciclo típico de ajuste de mercado.

Tabela 1 – Exportações brasileiras de suco de laranja (FCOJ equivalente 66º Brix)

Indicador	2023/2024	2024/2025 (parcial)	2025 (tendência)
Volume exportado (toneladas)	961.270	430.078	≈ 394.000
Receita (US$)	2,5 bilhões	1,87 bilhões	≈ US$ 1,44 bilhões
Variação do volume	-9,33%	-19,7%	-8% (estimado)
Variação da receita	+21,29%	+42,66%	-23%

Estoques (toneladas)	463.940*	351.483	recuperação parcial

Fonte: CITRUSBR (2026).

A análise dos indicadores apresentados evidencia um cenário de forte ajuste no mercado brasileiro de exportação de suco de laranja entre as safras de 2023/2024 e 2025. Observa-se, inicialmente, uma queda acentuada no volume exportado, que passa de 961.270 toneladas em 2023/2024 para 430.078 toneladas em 2024/2025 (parcial), com tendência de atingir aproximadamente 394.000 toneladas em 2025. Esse movimento confirma uma retração consistente da oferta, associada principalmente à redução da produção agrícola. Em contrapartida, a receita apresentou comportamento distinto no curto prazo, alcançando crescimento expressivo de +21,29% em 2023/2024 e +42,66% em 2024/2025, mesmo diante da queda no volume exportado.

Esse fenômeno indica uma forte valorização dos preços internacionais do suco de laranja, decorrente da escassez de produto no mercado global. No entanto, a tendência para 2025 aponta uma queda de aproximadamente -23% na receita, sinalizando que o aumento de preços não se sustenta no médio prazo diante da retração da demanda. A variação do volume exportado reforça essa dinâmica, com quedas sucessivas de -9,33%, -19,7% e estimativa de -8%, evidenciando um processo contínuo de contração. Já em relação aos estoques, observa-se redução de 463.940 toneladas para 351.483 toneladas, atingindo níveis mais baixos, seguida de uma expectativa de recuperação parcial.

Esse comportamento sugere que o mercado passou por um período de escassez, com possível recomposição gradual dos estoques no período seguinte. De forma geral, os dados indicam um ciclo típico de ajuste de mercado, caracterizado pela queda da oferta, elevação dos preços e posterior retração da demanda. Esse cenário evidencia que, embora o aumento de preços tenha sustentado a receita no curto prazo, a continuidade da redução do volume exportado e a diminuição da demanda tendem a impactar negativamente o desempenho do setor no médio prazo, aumentando a volatilidade e os riscos no comércio exterior brasileiro.

Tabela 2 – Principais destinos das exportações

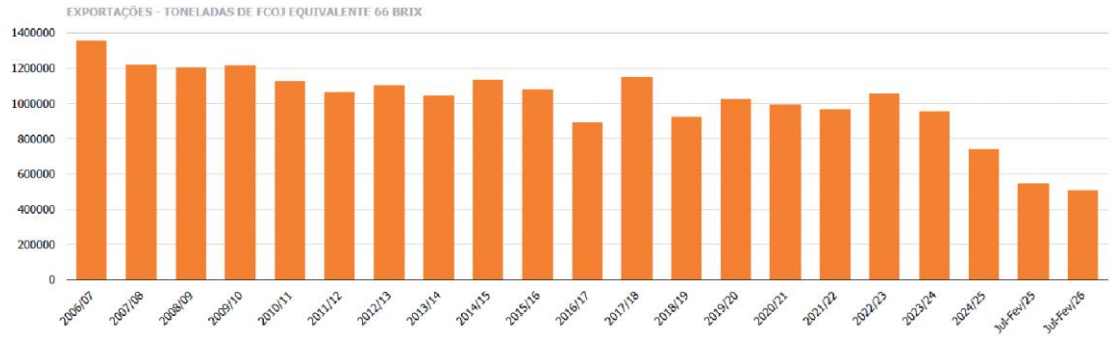
Mercado	2023/24	2024/25	Variação
União Europeia	42,7%	42,7%	-22,21% em volume
Estados Unidos	~30%	crescimento	-7,17% volume / +56% receita
Japão	13.313 t	11.441 t	-14,07%
China	35.651 t	19.223 t	-46,08%

Fonte: CITRUSBR (2026).

A tabela evidencia mudanças relevantes na distribuição geográfica das exportações brasileiras de suco de laranja entre as safras de 2023/2024 e 2024/2025. Observa-se, inicialmente, que a União Europeia manteve sua participação percentual estável em 42,7%, permanecendo como o principal destino das exportações. No entanto, a variação negativa de -22,21% no volume indica que, apesar da manutenção da representatividade, houve retração significativa na quantidade efetivamente exportada para esse mercado, possivelmente associada à redução da oferta e à elevação dos preços. No caso dos Estados Unidos, verifica-se um comportamento distinto, com crescimento na participação e aumento expressivo da receita (+56%), mesmo diante de uma leve queda no volume exportado (-7,17%). Esse cenário sugere maior valorização do produto no mercado norte-americano, indicando menor sensibilidade ao preço em comparação a outros destinos e reforçando sua importância estratégica para o Brasil.

Em relação aos mercados asiáticos, tanto o Japão quanto a China apresentaram quedas significativas no volume importado, com reduções de -14,07% e -46,08%, respectivamente. Destaca-se, especialmente, a forte retração chinesa, que evidencia uma perda relevante desse mercado, possivelmente relacionada à combinação de preços elevados, mudanças no padrão de consumo ou substituição por outros fornecedores. De forma geral, os dados demonstram uma alta concentração das exportações em poucos mercados, com predominância da União Europeia e dos Estados Unidos, ao mesmo tempo em que evidenciam uma redução da participação asiática. Esse cenário reforça a vulnerabilidade do setor exportador brasileiro, tornando-o mais dependente de mercados tradicionais e mais suscetível a oscilações econômicas, comerciais e de demanda nesses países.

Gráfico 1 – Evolução das exportações brasileiras de suco de laranja (FCOJ equivalente 66º Brix)

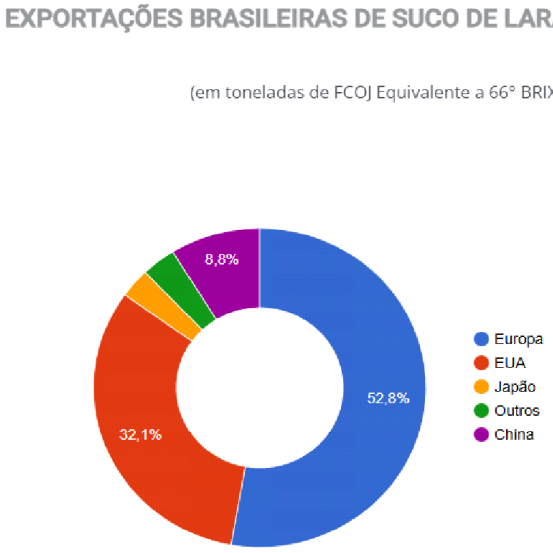


Fonte: CITRUSBR (2026).

O Gráfico 1 apresenta a evolução das exportações brasileiras de suco de laranja (FCOJ equivalente 66º Brix) ao longo das safras de 2006/07 até 2025/26 (parcial). Observa-se que, no início do período, as exportações mantinham níveis elevados, com destaque para a safra 2006/07, que ultrapassou 1,3 milhão de toneladas. Ao longo dos anos seguintes, há oscilações moderadas, mas com tendência geral de estabilidade entre aproximadamente 1,0 e 1,2 milhão de toneladas até meados da década de 2010.

A partir da safra 2016/17, percebe-se maior volatilidade, com quedas mais acentuadas intercaladas por recuperações pontuais, como em 2017/18 e 2022/23. Entretanto, o aspecto mais relevante do gráfico é a queda expressiva nas exportações a partir de 2023/24, intensificando-se em 2024/25 e mantendo níveis reduzidos em 2025/26 (dados parciais). Esse movimento indica uma retração significativa no volume exportado recente, possivelmente associada à redução da oferta, aumento de preços e enfraquecimento da demanda internacional.

Gráfico 2: Exportações brasileiras de suco de laranja por destino em setembro de 2024



Fonte: CITRUSBR (2026).

O Gráfico 2 apresenta a distribuição das exportações brasileiras de suco de laranja por destino em setembro de 2024, evidenciando forte concentração em poucos mercados. A Europa destaca-se como o principal destino, respondendo por 52,8% do total exportado, seguida pelos Estados Unidos, com 32,1%, consolidando-se como o segundo maior mercado consumidor. Em participação significativamente menor, aparece a China, com 8,8%, enquanto os demais destinos são diluídos entre Japão e a categoria outros, ambos com parcelas reduzidas. De modo geral, o gráfico demonstra uma alta dependência do mercado europeu e norte-americano, que juntos concentram mais de 80% das exportações brasileiras, indicando baixa diversificação geográfica e maior vulnerabilidade a oscilações nesses mercados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A queda nas exportações brasileiras de suco de laranja entre 2023 e 2025 está diretamente associada a fatores estruturais que envolvem tanto a oferta quanto a demanda no mercado internacional. Em primeiro lugar, observa-se uma redução significativa na produção nacional, decorrente de adversidades climáticas e problemas fitossanitários, como o greening (HLB), que comprometeram a produtividade dos pomares e limitaram a disponibilidade de matéria-prima para processamento. Esse

cenário resultou em menor volume exportável, impactando diretamente o desempenho do setor (CITRUSBR, 2024; REUTERS, 2025).

Paralelamente, o aumento expressivo dos preços internacionais do suco de laranja contribuiu para a elevação da receita exportadora em 2024, com crescimento de 42,66%. No entanto, esse encarecimento teve como efeito colateral a retração do consumo global, especialmente em mercados tradicionais, evidenciando a elasticidade da demanda frente à alta de preços (CITRUSBR, 2025). Além disso, verificou-se uma mudança na dinâmica dos mercados importadores: embora a União Europeia permaneça como principal destino das exportações brasileiras, houve redução relevante nas vendas para países asiáticos, como China e Japão, indicando uma possível reconfiguração do comércio internacional e alterações nos padrões de consumo (CITRUSBR, 2025).

Outro fator relevante foi a redução dos estoques globais, que atingiram níveis historicamente baixos em 2024. Essa escassez reforçou a pressão sobre os preços internacionais e contribuiu para o aumento da instabilidade no mercado. Dessa forma, conclui-se que o declínio das exportações não decorre exclusivamente da queda na demanda, mas da combinação entre restrição da oferta, elevação dos preços e contração do consumo global. Como consequência, o Brasil enfrenta desafios no comércio exterior, como a perda de participação em mercados estratégicos, maior dependência de poucos compradores — especialmente os Estados Unidos — e aumento da volatilidade da receita exportadora.

Além dos impactos produtivos e comerciais já observados, o declínio das exportações brasileiras de suco de laranja também representa um desafio estratégico para o comércio exterior nacional. A redução do volume exportado afeta diretamente a participação brasileira no mercado internacional e pode comprometer a competitividade do país em um setor no qual historicamente exerce liderança global. Esse cenário amplia os riscos relacionados à perda de mercados para concorrentes internacionais, especialmente diante do aumento das exigências sanitárias, ambientais e comerciais impostas pelos principais países importadores.

Outro aspecto relevante refere-se à elevada dependência das exportações brasileiras em relação à União Europeia e aos Estados Unidos. A concentração em poucos destinos torna o setor mais vulnerável às oscilações econômicas, barreiras tarifárias, mudanças regulatórias e retrações de demanda nesses mercados. Dessa forma, a diversificação comercial surge como uma das principais alternativas

estratégicas para reduzir riscos e ampliar a competitividade internacional do setor citrícola brasileiro.

Nesse contexto, produtores e empresas exportadoras podem buscar alternativas voltadas à ampliação da presença em mercados emergentes, especialmente na Ásia, Oriente Médio e América Latina, regiões que apresentam potencial de crescimento no consumo de bebidas industrializadas. Além disso, investimentos em inovação tecnológica, sustentabilidade, certificações ambientais e agregação de valor aos derivados da laranja podem fortalecer a inserção internacional do produto brasileiro e atender às novas exigências do comércio global.

Do ponto de vista governamental, políticas de incentivo à abertura de novos mercados, fortalecimento de acordos comerciais internacionais, ampliação do suporte fitossanitário e investimentos em infraestrutura logística tornam-se fundamentais para reduzir custos operacionais e aumentar a competitividade das exportações brasileiras. Assim, observa-se que os desafios enfrentados pelo setor citrícola ultrapassam a esfera produtiva, envolvendo também estratégias econômicas e comerciais essenciais para a manutenção da relevância do Brasil no comércio internacional de suco de laranja.

Além dos impactos produtivos, o declínio das exportações também gera consequências diretas para o comércio exterior brasileiro. A redução do volume exportado compromete a participação do Brasil no mercado internacional de suco de laranja e amplia a vulnerabilidade do setor diante da concentração em poucos compradores. Nesse cenário, torna-se necessário fortalecer estratégias de diversificação comercial, buscando ampliar a presença brasileira em mercados emergentes da Ásia, Oriente Médio e América Latina. Paralelamente, investimentos em acordos comerciais, inovação logística e agregação de valor aos produtos derivados da laranja podem contribuir para reduzir os impactos da retração exportadora e aumentar a competitividade internacional do setor citrícola brasileiro.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo analisou o declínio das exportações brasileiras de suco de laranja entre 2023 e 2025, identificando os principais fatores responsáveis pela retração do setor e seus impactos no comércio exterior brasileiro. Os resultados demonstraram que a redução do volume exportado esteve associada à combinação

entre restrições produtivas, avanço do greening (HLB), condições climáticas adversas e mudanças no comportamento da demanda internacional.

Observou-se também elevada concentração das exportações em mercados tradicionais, especialmente União Europeia e Estados Unidos, fator que amplia a vulnerabilidade do setor diante de oscilações econômicas e comerciais. Paralelamente, a valorização internacional do produto contribuiu para o aumento temporário da receita exportadora, embora não tenha sido suficiente para impedir a retração do consumo global no médio prazo.

Nesse contexto, torna-se fundamental a adoção de estratégias voltadas à diversificação de mercados, ao investimento em tecnologia e manejo agrícola para aumento da produtividade, bem como ao fortalecimento de políticas de mitigação de riscos climáticos e fitossanitários. Além disso, verifica-se que a manutenção da liderança brasileira no mercado internacional dependerá da capacidade do país em ampliar sua diversificação comercial, fortalecer acordos internacionais e adaptar-se às novas exigências econômicas e sanitárias do comércio exterior contemporâneo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do agronegócio: Brasil 2018/2019 a 2028/2029**. Brasília: MAPA, 2019. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2018-2019-2028-2029/. Acesso em: 11 mar. 2026.

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Citros: exportações seguem em queda em 2023/24 e devem cair também em 2024/25**. Sociedade Nacional de Agricultura, 2024. Disponível em: https://sna.agr.br/citros-exportacoes-seguem-em-queda-em-2023-24-e-devem-cair-tambem-em-2024-25/. Acesso em: 11 mar. 2026.

CITRUSBR – Associação Nacional dos Exportadores de Sucos Cítricos. **Estatísticas de exportação**. Disponível em: https://citrusbr.com/estatisticas/exportacoes/. Acesso em: 18 mar. 2026.

CITRUSBR – Associação Nacional dos Exportadores de Sucos Cítricos. **Estatísticas do setor citrícola brasileiro**. São Paulo: CitrusBR, 2024. Disponível em: https://citrusbr.com/estatisticas. Acesso em: 11 mar. 2026.

CITRUSBR – Associação Nacional dos Exportadores de Sucos Cítricos. **Relatório anual 2024**. São Paulo: CitrusBR, 2024. Disponível em: https://www.citrusbr.com. Acesso em: 18 mar. 2026.

CITRUSBR. **Com queda de volume e aumento da receita, exportações de suco de laranja chegam aos seis meses da safra 2024/25**. 2025. Disponível em: https://citrusbr.com/noticias/com-queda-de-volume-e-aumento-da-receita-exportacoes-de-suco-de-laranja-chegam-aos-seis-meses-da-safra-2024-25/. Acesso em: 25 mar. 2026.

CITRUSBR. **Impactadas pela redução na oferta de fruta, exportações de suco de laranja registram queda no primeiro semestre da safra 2023/2024**. 2024. Disponível em: https://citrusbr.com/noticias/impactadas-pela-reducao-na-oferta-de-fruta-exportacoes-de-suco-de-laranja-registram-queda-no-primeiro-semestre-da-safra-2023-2024/. Acesso em: 25 mar. 2026.

CNN BRASIL. **Estoques de suco de laranja fecham 2024 em mínima histórica, diz CitrusBR**. 2025. Disponível em: https://www.cnnbrasil.com.br. Acesso em: 25 mar. 2026.

CNN BRASIL. **Estoques de suco de laranja crescem em 2025**. 2026. Disponível em: https://www.cnnbrasil.com.br/agro/. Acesso em: 18 mar. 2026.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de laranja em 2023**. Brasília: CONAB, 2023. Disponível em: https://www.conab.gov.br. Acesso em: 18 mar. 2026.

EUROMONITOR INTERNATIONAL. **Juice in the world: market report 2023**. Londres: Euromonitor, 2023.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Citrus Fruit Fresh and Processed Statistical Bulletin 2022**. Roma: FAO, 2022. Disponível em: https://www.fao.org. Acesso em: 18 mar. 2026.

FORBES. **Indústria de suco de laranja pode ter prejuízo de R$ 4,3 bilhões com tarifa de 50%**. *Forbes Brasil*, 2025. Disponível em: https://forbes.com.br/forbes-"https://forbes.com.br/forbes-money/2025/07/industria-de-suco-de-laranja-pode-ter-prej Acesso em: 11 mar. 2026.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br. Acesso em: 18 mar. 2026.

INFOMONEY. **A receita das exportações brasileiras de suco de laranja cresceu em período recente**. Disponível em: https://www.infomoney.com.br. Acesso em: 18 mar. 2026.

NEVES, Marcos Fava; TROMBIN, Vinicius Gustavo. **Anuário da citricultura brasileira 2017**. Ribeirão Preto: Markestrat, 2017.

REUTERS. **Brazil orange juice exports volume falls 20% from July to December**. 2025. Disponível em:

https://www.reuters.com/markets/commodities/brazil-orange-juice-exports-volume-falls-20-july-december-2025-01-15/. Acesso em: 25 mar. 2026.

TRIOLA, Mario F. **Elementary statistics**. 13. ed. Boston: Pearson, 2017
.

UOL ECONOMIA. **Receita com exportação de suco de laranja é recorde na safra 2023/24**. 2024. Disponível em: https://noticias.uol.com.br. Acesso em: 25 mar. 2026.

USDA – United States Department of Agriculture. **Citrus: World Markets and trade**. Washington, DC: USDA, 2024. Disponível em: https://www.usda.gov. Acesso em: 18 mar. 2026.

AVALIAÇÃO HEURÍSTICA EM SISTEMAS DE VÍDEO SOB DEMANDA (VOD): UMA ANÁLISE COMPARATIVA DE USABILIDADE NAS PLATAFORMAS DE *STREAMING*

HEURISTIC EVALUATION IN VIDEO-ON-DEMAND (VOD) SYSTEMS: A COMPARATIVE USABILITY ANALYSIS OF STREAMING PLATFORMS

Gabriel Augusto Ferreira Silva[1]
Silvia Roberta de Jesus Garcia[2]

RESUMO: O presente estudo tem como objetivo avaliar comparativamente a usabilidade em sistemas de Vídeo sob Demanda (VoD), considerando a influência de elementos técnicos como Redes de Distribuição de Conteúdo (CDNs), algoritmos de taxa adaptativa (ABR) e métricas de Qualidade de Experiência (QoE) na percepção do usuário. A metodologia adotada caracteriza-se como qualitativa, de natureza exploratória, descritiva e documental, utilizando a Avaliação Heurística como método principal. A coleta de dados foi realizada por meio da inspeção sistemática das interfaces de plataformas de *streaming* em diferentes dispositivos, com base em princípios consolidados de usabilidade, permitindo identificar problemas e comparar soluções de *design*. Os resultados indicam que a experiência do usuário está diretamente relacionada ao desempenho técnico dos sistemas, destacando-se fatores como tempo de inicialização, estabilidade de reprodução e frequência de adaptações de qualidade. Observou-se que taxas reduzidas de *rebuffering* e tempos de *startup* mais baixos contribuem significativamente para a satisfação do usuário, enquanto mudanças excessivas de qualidade podem comprometer a percepção de estabilidade. Além disso, a eficiência das CDNs, evidenciada por altas taxas de cache e redução de latência, mostrou-se essencial para garantir uma entrega de conteúdo mais rápida e confiável. Conclui-se que a qualidade percebida em plataformas de *streaming* resulta da integração entre infraestrutura tecnológica eficiente e interfaces bem projetadas, sendo fundamental o equilíbrio entre adaptação dinâmica e estabilidade da reprodução para a otimização da experiência do usuário.
Palavras-chave: Algoritmos Adaptativos; Computação de Borda; Distribuição de Conteúdo; Experiência do Usuário; Métricas de Qualidade.

ABSTRACT: This study aims to comparatively evaluate the usability of Video on Demand (VoD) systems, considering the influence of technical elements such as Content Delivery Networks (CDNs), adaptive rate algorithms (ABR), and Quality of Experience (QoE) metrics on user perception. The methodology adopted is qualitative, exploratory, descriptive, and documentary in nature, using Heuristic Evaluation as the main method. Data collection was carried out through the systematic inspection of streaming platform interfaces on different devices, based on consolidated usability principles, allowing the identification of problems and the comparison of design solutions. The results indicate that user experience is directly related to the technical performance of the systems, highlighting factors such as startup time, playback stability, and frequency of quality adaptations. It was observed that reduced rebuffering rates and lower startup times contribute significantly to user satisfaction, while excessive quality changes can compromise the perception of stability. Furthermore, the efficiency of CDNs, evidenced by high cache rates and reduced latency, proved essential to ensure faster and more reliable content delivery. It is concluded that the perceived quality in streaming platforms results from the integration between efficient

Análise e Desenvolvimento de Sistemas - Fatec Itapetininga - E-mail: gabriel.silva269@fatec.sp.gov.br [1]
Prof.ª Orientadora Mestre - Fatec Itapetininga – E-mail: silvia.garcia01@fatec.sp.gov.br [2]

technological infrastructure and well-designed interfaces, with the balance between dynamic adaptation and playback stability being fundamental for optimizing the user experience.
Keywords: Adaptive Algorithms; Edge Computing; Content Distribution; User Experience; Quality Metrics.

1 INTRODUÇÃO

A arquitetura tecnológica que sustenta os serviços de Vídeo sob Demanda (VoD) compreende uma estrutura complexa que se estende desde a captura do conteúdo por dispositivos equipados com câmeras até sua reprodução final pelo usuário, englobando as etapas de captação, inserção, processamento e distribuição. Dentro dessa estrutura, as Redes de Distribuição de Conteúdo (CDNs) disseminam vídeos a partir de servidores de borda com baixa latência e elevada Qualidade de Experiência (QoE), enquanto algoritmos de *BitRate* adaptável (ABR) executados no reprodutor do cliente lidam com a diversidade e variabilidade das condições de rede entre servidores e usuários, constituindo os aspectos que mais atraem esforços de pesquisa no estágio de distribuição (Peroni; Gorinsky, 2025).

Os arquivos de vídeo em sistemas VoD são particionados em múltiplas partes que dividem o tempo total de reprodução, sendo que cada segmento pode ser codificado em diferentes níveis de qualidade (resoluções como 720p, 1080p e 4K). Existe uma troca fundamental entre qualidade do vídeo e diversidade de conteúdo armazenado em cache: se ele armazena arquivos de alta qualidade, não é possível armazenar muitos tipos de vídeos; se armazena arquivos de baixa qualidade, aumenta-se a diversidade de conteúdos e a taxa de acerto de cache (*cache hit rate*), otimizando a entrega e reduzindo a latência (Kim, 2024).

A entrega de conteúdos em resoluções variadas, como 720p, 1080p e 4K, é viabilizada pela aplicação de algoritmos de ABR, que ajusta dinamicamente a qualidade da imagem para compensar a instabilidade nas condições de tráfego da rede entre o servidor e o usuário final (Peroni; Gorinsky, 2025). A Interação Homem-Computador (IHC) constitui campo de conhecimento que demanda investigações capazes de apreender aspectos subjetivos da relação entre usuários e sistemas, considerando que todo sistema de informação será utilizado por seres humanos que buscam alcançar suas metas de maneira rápida, eficaz e satisfatória. (Lima et al., 2016).

O ecossistema global de CDNs é dominado por *players* estabelecidos que respondem pela maior parte do tráfego de conteúdo da internet. Estudos recentes indicam que a *Akamai Technologies*, um dos pioneiros do setor, gerencia entre 20% e 30% de todo o tráfego *web* mundial, operando uma infraestrutura massiva de servidores distribuídos geograficamente. Adicionalmente, provedores de nuvem como a *Amazon Web Services*, por meio do *Amazon CloudFront*, mantêm mais de 100 locais de borda globalmente, enquanto *players* emergentes como a *BelugaCDN* vêm rapidamente estabelecendo presença significativa em 28 localidades ao redor do mundo, demonstrando a diversidade e a capilaridade das infraestruturas de entrega de conteúdo na atualidade (Ali et al., 2025).

Diante dos elementos apresentados, o presente artigo desenvolve uma análise orientada à avaliação heurística de sistemas de VoD, com foco na investigação do comportamento das CDNs, da QoE e dos algoritmos ABR no contexto da entrega adaptativa de conteúdo. O objetivo consiste em compreender como tais mecanismos técnicos se traduzem em atributos de usabilidade e qualidade percebida, considerando métricas como latência, estabilidade de reprodução e adaptação dinâmica de resolução. Assim, a pesquisa articula uma perspectiva técnico-analítica com a experiência do usuário, permitindo identificar relações entre a arquitetura de distribuição e a eficiência das interfaces de *streaming*. Os resultados apontam a articulação entre CDNs, ABR, QoE e soluções baseadas em computação de borda revelam-se essenciais para a construção de plataformas mais eficientes, escaláveis e responsivas. Assim, este estudo reforça a relevância de compreender tais elementos de forma sistêmica, fornecendo base teórica e técnica para o desenvolvimento e aprimoramento de serviços de *streaming* orientados à qualidade da experiência do usuário.

2 METODOLOGIA

A trajetória metodológica delineada para esta investigação foi estruturada com o propósito de atender aos objetivos propostos, garantindo o rigor científico necessário para uma análise comparativa de usabilidade em plataformas de *streaming*, com ênfase na compreensão das tecnologias subjacentes de entrega de conteúdo. Diante dos elementos apresentados na introdução, o artigo desenvolve uma análise comparativa orientada à avaliação heurística de sistemas de VoD, com foco na

investigação do comportamento das CDNs, da QoE e dos algoritmos ABR no contexto da entrega adaptativa de conteúdo. O objetivo consiste em compreender como tais mecanismos técnicos se traduzem em atributos de usabilidade e qualidade percebida, considerando métricas como latência, estabilidade de reprodução e adaptação dinâmica de resolução. Assim, a pesquisa articula uma perspectiva técnico-analítica com a experiência do usuário, permitindo identificar relações entre a arquitetura de distribuição e a eficiência das interfaces de *streaming*.

Quanto aos procedimentos técnicos, a pesquisa caracteriza-se como documental e descritiva. É documental porque se debruça sobre materiais que não receberam tratamento analítico aprofundado, especificamente as interfaces das plataformas de *streaming*, bem como a documentação técnica que descreve suas arquiteturas de distribuição de conteúdo. Segundo a sistematização metodológica proposta por Sá-Silva, Almeida e Guindani (2009), a pesquisa documental utiliza fontes primárias ainda não organizadas ou que não receberam tratamento analítico, sendo especialmente útil quando se deseja compreender fenômenos a partir de materiais institucionais ou técnicos. Paralelamente, assume um caráter descritivo na medida em que objetiva caracterizar minuciosamente o fenômeno da usabilidade nessas plataformas, descrevendo as funcionalidades, os fluxos de navegação e os elementos de interface que compõem a experiência do usuário. A pesquisa descritiva, conforme Gil (2008), tem como finalidade primordial descrever características de determinada população ou fenômeno, estabelecendo relações entre variáveis e utilizando técnicas padronizadas de coleta de dados.

No que concerne aos objetivos, esta investigação enquadra-se como pesquisa exploratória. Conforme a literatura especializada, a pesquisa exploratória tem como finalidade precípua proporcionar maior familiaridade com o problema de pesquisa, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses, sendo especialmente adequada quando o tema é pouco explorado ou quando se busca uma aproximação inicial com o objeto de estudo (Gil, 2008). Essa abordagem revela-se adequada ao presente estudo, uma vez que, embora existam investigações isoladas sobre usabilidade em *streaming*, a análise comparativa específica entre as três plataformas selecionadas — considerando suas particularidades no mercado brasileiro e suas distintas arquiteturas de distribuição — demanda um esforço inicial de aproximação com o objeto. Estudos que investigaram a usabilidade em plataformas de *streaming* sob uma perspectiva exploratória demonstraram que esse tipo de abordagem permite

identificar categorias de análise e orientar a aplicação sistemática de métodos avaliativos, como a inspeção heurística, em contextos ainda pouco consolidados academicamente (Ribeiro, 2022; Salvador, 2021).

A abordagem qualitativa foi selecionada por sua adequação à natureza do objeto de estudo — a usabilidade de interfaces em sistemas de VoD e sua relação com as tecnologias de entrega (CDN, ABR, QoE) — que envolve nuances e subjetividades inerentes à experiência do usuário, as quais não seriam plenamente capturadas por métodos exclusivamente quantitativos. Nesse contexto, a avaliação qualitativa por meio de inspeção heurística permite identificar barreiras de usabilidade que comprometem a interação entre usuário e sistema, sendo particularmente útil para comparar soluções de *design* concorrentes no mercado de *streaming*. Estudos que aplicaram o método de avaliação heurística em sistemas de informação confirmam sua eficácia na identificação de problemas de usabilidade quando conduzidos por avaliadores especialistas (Lima et al., 2016).

Para operacionalizar a análise, adotou-se como método principal a Avaliação Heurística, conforme proposta por Nielsen (1994), que consiste na inspeção sistemática da interface por avaliadores especialistas, baseada em princípios consagrados de usabilidade. Este método é amplamente reconhecido na literatura de IHC como eficaz para identificar violações de *design* em sistemas interativos, incluindo plataformas digitais de entretenimento. A coleta de dados foi realizada por meio da interação direta com as três plataformas em dois dispositivos (*desktop* e dispositivos móveis), permitindo a observação in loco dos fluxos de navegação, das funcionalidades disponíveis e dos possíveis pontos de fricção. Os dados obtidos foram registrados em protocolos de avaliação estruturados, possibilitando a comparação sistemática entre as plataformas e a identificação das violações mais recorrentes às heurísticas de Nielsen. A pesquisa bibliográfica complementar foi conduzida em bases científicas como *SciELO*, *IEEE Xplore*, *ScienceDirect*, *ACM Digital Library*, *SpringerLink* e *Scopus*, além de repositórios institucionais de universidades brasileiras, visando à fundamentação teórica sobre arquiteturas de CDN, algoritmos *Adaptive Bitrate* (ABR), métricas de Qualidade de Experiência (QoE), computação de borda e usabilidade em sistemas de Vídeo sob Demanda (VoD). Para a realização das buscas, foram utilizados descritores em português e inglês, tais como: “HTTP *Adaptive Streaming*”, “*Quality of Experience*”, “*Adaptive Bitrate*”, “*Content Delivery Network*”, “*Edge Computing*”, “*Video on Demand*”, “*Streaming Usability*”, “*Heuristic*

Evaluation", "*QoE in Streaming Services*" e "*CDN-assisted HAS*". O recorte temporal adotado priorizou publicações entre 2014 e 2025, período selecionado devido à consolidação das arquiteturas modernas de streaming adaptativo baseadas em HTTP, bem como à intensificação das pesquisas relacionadas à integração entre CDNs, MEC, SDN e algoritmos inteligentes de adaptação de bitrate. Além disso, foram incluídas obras clássicas anteriores ao período delimitado, como Nielsen (1994) e Gil (2008), em razão de sua relevância teórica consolidada nas áreas de usabilidade e metodologia científica. A seleção das referências considerou critérios de relevância temática, quantidade de citações, aderência ao escopo da pesquisa e disponibilidade de acesso livre aos conteúdos científicos, permitindo a construção de uma base teórica consistente para subsidiar a análise comparativa proposta.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A fundamentação teórica deste artigo está estruturada em três eixos principais que se complementam para fornecer a base conceitual necessária à análise comparativa de usabilidade em plataformas de *streaming*, com ênfase na compreensão das tecnologias subjacentes de entrega de conteúdo. Primeiramente, aborda-se a arquitetura tecnológica dos sistemas de VoD sob uma perspectiva integrada de ponta a ponta, contemplando as etapas de captura, processamento e distribuição de conteúdo. Em seguida, aprofunda-se a discussão sobre a evolução do mercado de *streaming* no Brasil e o cenário competitivo atual, destacando as particularidades das plataformas analisadas. Por fim, apresenta-se o referencial teórico sobre QoE, algoritmos de ABR e o comportamento dinâmico dos usuários, elementos fundamentais para compreender a experiência percebida em sistemas de vídeo sob demanda.

3.1 ARQUITETURA DE PONTA A PONTA EM VOD E CDNS

A compreensão dos sistemas de VoD exige uma visão integrada do *pipeline* de *streaming*, que abrange desde a captura do conteúdo até a sua reprodução final. Este fluxo é estruturado em três estágios fundamentais: ingestão, onde o conteúdo bruto é codificado; processamento, que envolve a segmentação e transcodificação em

múltiplas resoluções; e distribuição, responsável pela entrega escalável via CDNs (Peroni; Gorinsky, 2025).

Abordagens puramente *client-side,* destacado por Huang et al. (2014), apresentam limitações relacionadas à ausência de visão global do estado da rede, ocasionando decisões instáveis de *bitrate* e maior ocorrência de *rebuffering*. Em resposta a essas limitações, modelos de *Network-Assisted Video Streaming* (NAVS) passaram a incorporar componentes da própria rede no processo decisório do streaming adaptativo, fornecendo informações sobre congestionamento, latência e disponibilidade de banda em tempo real. Segundo Seufert et al. (2021), essa abordagem permite maior previsibilidade no controle de qualidade, reduzindo oscilações excessivas e melhorando a estabilidade da reprodução em ambientes heterogêneos e de alta concorrência de tráfego.

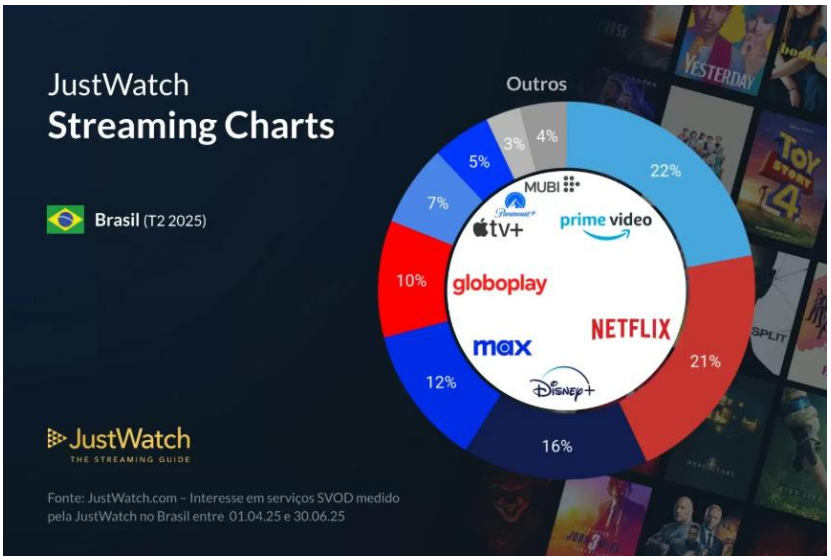
A evolução das arquiteturas de distribuição de conteúdo passou a incorporar paradigmas como *Software-Defined Networking* (SDN), *Network Function Virtualization* (NFV) e *Multi-access Edge Computing* (MEC), promovendo maior flexibilidade operacional e capacidade de adaptação dinâmica das redes de streaming. Xiao et al. (2018) afirmam que a utilização integrada dessas tecnologias possibilita a implementação de *frameworks* assistidos, nos quais funções tradicionalmente centralizadas são deslocadas para servidores de borda próximos ao usuário final. Os autores demonstram que estruturas baseadas em MEC conseguem reduzir significativamente a latência de entrega e otimizar o consumo de banda ao executar transcodificação, cache e gerenciamento de tráfego diretamente na borda da rede. Complementarmente, Yao et al. (2019) ressaltam que arquiteturas assistidas por SDN permitem o monitoramento centralizado do tráfego e a realocação dinâmica de recursos conforme a demanda, contribuindo para maior eficiência operacional. Em experimentos realizados em ambientes de nuvem e *edge computing*, observou-se melhora significativa na QoE e redução expressiva no consumo de banda em comparação com arquiteturas tradicionais centradas exclusivamente no cliente.

3.2 DINÂMICA DO MERCADO DE *STREAMING* E CENÁRIO COMPETITIVO DE CDNS

A experiência do usuário em serviços de VoD é diretamente influenciada pela interação entre elementos técnicos — como CDNs, algoritmos de ABR e métricas de QoE — e aspectos de usabilidade percebida nas interfaces. O Gráfico 1 apresenta a

participação das principais plataformas de *streaming* no Brasil em 2025, com base em dados do *JustWatch.*

Gráfico 1 - Participação de mercado das plataformas de *streaming* no Brasil em 2025



Fonte: JustWatch(2025)

De acordo com os dados, plataformas como *Netflix* e *Amazon Prime Video* mantêm liderança no mercado, seguidas por serviços regionais como *Globoplay*. Essa distribuição reflete não apenas estratégias comerciais, mas também diferenças nas arquiteturas tecnológicas e na qualidade de entrega de conteúdo.

A rede global de CDNs apresenta uma diversidade de arquiteturas adaptadas a diferentes requisitos operacionais, incluindo tipologias híbridas P2P, móveis, baseadas em nuvem, multi-CDN, além de modelos emergentes fundamentados em *blockchain* e *fog computing*. O mercado é dominado por grandes provedores como *Akamai Technologies*, que gerencia entre 20% e 30% do tráfego *web* mundial, além de *Amazon Web Services* (*CloudFront*) e *Cloudflare* (Ali et al., 2025).

O gerenciamento dessa infraestrutura impõe aos provedores o desafio de equilibrar custos operacionais entre armazenamento e transcodificação em sistemas VoD multi-versão. A otimização envolve armazenar versões populares em múltiplos *datacenters* enquanto versões menos requisitadas são transcodificadas sob demanda, um problema de alta complexidade frequentemente tratado por técnicas heurísticas de otimização iterativa (Zhang et al., 2016).

Adicionalmente, a exploração conjunta de MEC com CDNs tradicionais permite mitigar os atrasos imprevisíveis de redes de longa distância. Ao posicionar

infraestruturas de cache e transcodificação em tempo real em maior proximidade ao usuário final, esses modelos híbridos conseguem satisfazer demandas arbitrárias de múltiplas taxas de *bits* com eficiência superior, impactando diretamente a estabilidade da reprodução (Kim, 2024).

3.3 QUALIDADE DE EXPERIÊNCIA, ALGORITMOS ADAPTATIVOS E COMPORTAMENTO DINÂMICO DO USUÁRIO

A QoE tem se consolidado como métrica central para avaliação de serviços de *streaming*, superando as tradicionais métricas de Qualidade de Serviço (QoS) na predição da satisfação do usuário. Pesquisas que avaliam algoritmos ABR heurísticos demonstram que o modelo ITU-T P.1203 (modo 1) permite a predição algorítmica de um *Mean Opinion Score* (MOS) subjetivo por meio da combinação de múltiplos fatores técnicos – incluindo tempo de carregamento inicial, duração de pausas, mudanças de qualidade e resolução exibida – alcançando correlações superiores a 0,80 com testes subjetivos reais (Taraghi et al., 2021).

Interações dinâmicas do usuário, como avanços rápidos (*seeking*), pausas e abandono de vídeo, impactam significativamente os padrões de tráfego utilizados como entrada para modelos de estimação de desempenho de *streaming*. Estudos avaliam o desempenho de modelos de classificação de *Key Performance Indicators* (KPIs) treinados em conjuntos de dados sem interações, revelando que para aplicações em sessões de *streaming* realistas é necessário incluir diferentes tipos de interações no procedimento de treinamento para que as estimativas reflitam adequadamente a experiência percebida (Bartolec et al., 2025).

A personalização da experiência do usuário tem se tornado um eixo central no desenvolvimento de algoritmos ABR. Pesquisas em larga escala realizadas em plataformas de produção demonstram que estratégias de otimização personalizada, baseadas em aprendizado por reforço e adaptadas às preferências individuais de cada usuário, superam significativamente os métodos tradicionais, alcançando melhorias consistentes na QoE medida por métricas como MOS, tempo de *rebuffering* e estabilidade de qualidade (Jia et al., 2025).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação da QoE em sistemas VoD tornou-se um dos principais parâmetros para mensurar o desempenho percebido pelo usuário durante a reprodução de conteúdo multimídia. Diferentemente das abordagens tradicionais focadas exclusivamente em métricas de rede, como QoS, *throughput* e latência, os modelos atuais de QoE consideram fatores diretamente relacionados à percepção humana, incluindo tempo de *startup*, duração de interrupções *(rebuffering*), estabilidade de *bitrate* e frequência de mudanças de resolução. Em estudo experimental conduzido por Mehr, Jogalekar e Medhi (2021), os autores identificaram que variações abruptas de qualidade impactam negativamente a percepção de estabilidade do serviço, mesmo em cenários com largura de banda suficiente para manter a reprodução contínua. Esses resultados demonstram que a experiência do usuário em plataformas de streaming depende não apenas da capacidade de transmissão da rede, mas também da consistência visual e da fluidez da reprodução ao longo da sessão em diversas localidades.

No contexto dos algoritmos de ABR, a literatura demonstra que os mecanismos de adaptação dinâmica desempenham papel central no equilíbrio entre qualidade visual e continuidade da reprodução. Os sistemas HAS (HTTP *Adaptive Streaming*) utilizam múltiplas versões do mesmo conteúdo codificadas em diferentes *bitrates*, permitindo que o cliente selecione automaticamente a qualidade mais adequada conforme as condições instantâneas da rede. Entretanto, pesquisas recentes apontam que algoritmos excessivamente reativos podem provocar instabilidade perceptiva devido à alta frequência de trocas de resolução. Lyko et al. (2024) observaram que algoritmos agressivos de adaptação reduziram a estabilidade do streaming em cenários de baixa latência, aumentando oscilações perceptíveis de qualidade durante a reprodução. Em contrapartida, abordagens baseadas em aprendizado por reforço e otimização preditiva apresentaram melhor equilíbrio entre *bitrate* médio, redução de *buffering* e estabilidade visual. Kang e Chung (2022) demonstraram que modelos de *reinforcement learning* aplicados ao DASH conseguiram melhorar simultaneamente QoE e eficiência de adaptação ao prever condições futuras da rede antes da seleção de segmentos. Esses resultados evidenciam que a eficiência dos algoritmos ABR depende da capacidade de evitar decisões abruptas de troca de qualidade, priorizando estabilidade perceptiva em vez de maximização instantânea de resolução.

Além dos mecanismos de adaptação, a infraestrutura de distribuição exerce influência decisiva sobre o desempenho geral das plataformas de streaming.

Estratégias modernas de CDN associadas à computação de borda (*edge computing*) têm sido empregadas para reduzir latência, minimizar congestionamentos e melhorar a eficiência do cache em ambientes de alta demanda. Estudos sobre MEC-*assisted streaming* demonstram que a proximidade entre servidores de borda e usuários finais reduz significativamente o tempo de resposta da rede e melhora a estabilidade do *throughput* durante sessões de vídeo adaptativo. Rahman et al. (2021) verificaram que arquiteturas MEC-*assisted* apresentaram ganhos superiores de QoE em comparação aos modelos tradicionais *client-based* HAS, principalmente em cenários com múltiplos usuários concorrentes e oscilações frequentes de banda. Paralelamente, Liotou et al. (2023) identificaram que mecanismos inteligentes de cache integrados às arquiteturas DASH aumentaram a eficiência da distribuição de conteúdo e reduziram atrasos de carregamento em ambientes heterogêneos. Esses dados demonstram que a qualidade percebida em serviços de *streaming* resulta da integração entre algoritmos adaptativos eficientes e infraestruturas de distribuição otimizadas, capazes de responder dinamicamente às condições variáveis de rede e ao comportamento dos usuários.

Os algoritmos de *Adaptive Bitrate* (ABR) constituem um dos principais mecanismos responsáveis pela estabilidade da reprodução em plataformas modernas de *streaming*. Seu funcionamento baseia-se na seleção dinâmica de segmentos codificados em diferentes níveis de qualidade conforme as condições instantâneas da rede, ocupação do buffer e capacidade do dispositivo cliente. Em sistemas DASH, os *bitrates* podem variar de valores inferiores a 300 kbps até transmissões superiores a 25 Mbps em conteúdos de alta resolução, permitindo adaptação contínua às oscilações de conectividade. Entretanto, pesquisas recentes demonstram que o aumento excessivo da frequência de mudanças de qualidade pode gerar degradação perceptiva (redução de qualidade) mesmo quando não há interrupções na reprodução. Estudos realizados por Uddin et al. (2025) evidenciaram que algoritmos de baixa latência altamente reativos apresentaram maior número de oscilações de resolução por sessão, reduzindo significativamente a estabilidade visual percebida pelos usuários. Os autores observaram que usuários tendem a tolerar pequenas reduções de qualidade desde que a reprodução permaneça contínua, enquanto alterações frequentes de resolução afetam negativamente a sensação de fluidez do serviço.

Outro aspecto relevante refere-se ao comportamento competitivo entre múltiplos clientes compartilhando os mesmos recursos de rede. Em ambientes

congestionados, algoritmos *client-based* HAS frequentemente tomam decisões independentes sem conhecimento global das condições da infraestrutura, ocasionando competição por largura de banda, oscilações abruptas de *bitrate* e aumento do *buffering*. Para mitigar esse problema, abordagens recentes incorporam estratégias MEC-*assisted* e modelos baseados em inteligência artificial capazes de utilizar informações coletadas diretamente na borda da rede. Rahman et al. (2021) demonstraram que arquiteturas MEC-*assisted* melhoraram simultaneamente o equilíbrio entre usuários, estabilidade de *bitrate* e eficiência na utilização da banda disponível em comparação aos métodos convencionais de adaptação local. Além disso, modelos de aprendizado profundo aplicados ao ABR vêm sendo desenvolvidos para prever degradações futuras de *throughput* e reduzir decisões abruptas de troca de qualidade. Essas abordagens representam uma evolução dos sistemas tradicionais, deixando de priorizar exclusivamente *bitrate* máximo para considerar métricas compostas de QoE associadas à estabilidade da experiência percebida pelo usuário.

Complementarmente, pesquisas conduzidas por Yin et al. (2015) demonstram que algoritmos ABR tradicionais, baseados exclusivamente na largura de banda instantânea, apresentam oscilações frequentes de qualidade em cenários de rede heterogêneos. Em testes realizados com diferentes condições de tráfego, os autores identificaram que algoritmos sem mecanismos preditivos podem realizar entre 10 e 15 trocas de qualidade por sessão, gerando instabilidade perceptível ao usuário. Em contrapartida, abordagens mais modernas baseadas em *buffer occupancy* conseguiram reduzir em até 60% o número de mudanças de *bitrate* e diminuir significativamente o *rebuffering*, mantendo níveis mais estáveis de QoE. Os resultados evidenciam que a eficiência dos algoritmos adaptativos não depende apenas da capacidade de elevar a qualidade visual, mas principalmente da manutenção de estabilidade durante a reprodução, especialmente em dispositivos móveis e redes com alta variabilidade de latência.

Com base na literatura científica recente, é possível identificar intervalos típicos de desempenho para sistemas de *streaming*, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Métricas técnicas de QoE, ABR e CDN em sistemas VoD

Aspecto	Métricas Afetadas	Funcionalidade	Valores observados na	Impacto na experiência

			literatura	
QoE	Tempo de *startup; Rebuffering;*	Avalia a qualidade de uso do usuário com base em sua satisfação na experiência.	Maior que 5 s	Afeta percepção inicial
ABR	Trocas de qualidade; *Bitrate; throughput;*		–	Aumenta abandono e insatisfação (MOS)
CDN	*Cache hit rate*;	Trocas de qualidade	10 a 15 por sessão	Reduz QoE
ABR		*Bitrate*	300 kbps – 25 Mbps	Define resolução e fluidez

Fonte: Elaboração pelo autor (2026).

A análise dos dados apresentados, evidencia que a QoE em sistemas de VoD está diretamente associada ao desempenho inicial e à continuidade da reprodução. O tempo de *startup*, até 5 segundos, revela-se um fator crítico para a primeira impressão do usuário, influenciando sua permanência na plataforma. Da mesma forma, a taxa de *rebuffering*, ainda que em níveis baixos, impacta negativamente a fluidez do consumo, demonstrando que a ausência de interrupções é um dos principais elementos para garantir uma experiência satisfatória.

No que se refere aos mecanismos de adaptação, os algoritmos de ABR apresentam papel essencial na manutenção do equilíbrio entre qualidade visual e estabilidade. A variação entre 10 e 15 trocas de qualidade por sessão indica que o sistema responde constantemente às condições da rede, porém, quando essas mudanças ocorrem de forma excessiva, podem gerar desconforto perceptivo. Além disso, a ampla faixa de *bitrate* observada (de 300 kbps a 25 Mbps) evidencia a flexibilidade dos sistemas em atender diferentes cenários de conectividade, ao mesmo tempo em que reforça a necessidade de estratégias que evitem oscilações bruscas de qualidade.

Por fim, os resultados destacam a importância da infraestrutura de distribuição no desempenho geral dos serviços de *streaming*. As taxas elevadas de cache *hit* indicam eficiência na entrega de conteúdo, contribuindo para a redução da latência e melhoria do tempo de resposta. Somado a isso, a utilização de computação de borda potencializa esses benefícios ao aproximar os recursos do usuário final, possibilitando ganhos expressivos na qualidade percebida. Dessa forma, observa-se que a

experiência do usuário é resultado da integração entre adaptação inteligente e uma infraestrutura de distribuição otimizada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu compreender que a experiência do usuário em serviços de VoD é resultado de uma combinação complexa entre arquitetura tecnológica e aspectos de usabilidade. A análise evidenciou que elementos como CDNs, algoritmos de ABR e métricas de QoE não atuam de forma isolada, mas sim de maneira integrada, influenciando diretamente a percepção de qualidade durante o consumo de conteúdo. Dessa forma, a eficiência técnica da infraestrutura se mostra determinante para garantir uma reprodução estável, com baixa latência e adequada adaptação às condições de rede.

A investigação também demonstrou que o equilíbrio entre qualidade de vídeo e estabilidade da reprodução é um dos principais desafios enfrentados pelas plataformas de *streaming*. Embora os algoritmos ABR permitam ajustar dinamicamente a qualidade conforme a variação da rede, a ocorrência excessiva de mudanças pode comprometer a experiência do usuário. Paralelamente, a utilização eficiente de mecanismos de cache em CDNs e a adoção de tecnologias como computação de borda contribuem significativamente para a redução de atrasos e melhoria do desempenho geral, reforçando a importância de arquiteturas distribuídas e escaláveis. A análise dos dados evidencia que a qualidade percebida não depende apenas de fatores técnicos, mas também da forma como esses recursos são implementados e integrados à interface do usuário. A usabilidade, associada à eficiência da entrega de conteúdo, desempenha papel fundamental na consolidação das plataformas no mercado.

Destaca-se que o avanço contínuo das tecnologias de *streaming*, aliado ao aumento da demanda por conteúdos em alta resolução, impõe a necessidade de soluções cada vez mais inteligentes e adaptativas. Como perspectivas futuras, recomenda-se o aprofundamento de estudos que integrem análise técnica com comportamento do usuário em cenários reais, bem como a investigação de novas abordagens baseadas em serviços vinculados com inteligência artificial e otimização em tempo real. Tais iniciativas podem contribuir para o desenvolvimento de sistemas

mais eficientes, capazes de oferecer experiências cada vez mais personalizadas e de alta qualidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, Waris; FANG, Chao; KHAN, Akmal. **A survey on the state-of-the-art CDN architectures and future directions.** 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1084804525000037>. Acesso em: 19 mar. 2026.

BARTOLEC, Ivan; SKORIN-KAPOV, Lea. **Modeling of user interactions for adaptive video streaming services on smartphone devices.** 2025. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/11197362>. Acesso em: 24 mar. 2026.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 2008.

JUSTWATCH**. Prime Video é streaming líder no Brasil em ranking da JustWatch.** 2025. Disponível em: <https://telaviva.com.br/22/07/2025/prime-video-e-lider-no-mercado-de-streaming-brasileiro-pela-primeira-vez-segundo-o-justwatch/>. Acesso em: 24 mar. 2026.

KIM, Junghwan. **Caching, transcoding, delivery and learning for advanced video streaming services**. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959524000626>. Acesso em: 18 mar. 2026.

LIMA, João Marcos; MENDONÇA, Simone Queiroz; BRITO, Maria Lúcia Alves; FONSECA, Gustavo Freire. **Avaliação da usabilidade segundo as heurísticas de Nielsen: teste de usuários do Portal de Periódicos da CAPES.** Revista Espacios, v. 37, n. 31, 2016. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a16v37n31/16373131.html>. Acesso em: 23 mar. 2026.

PERONI, Lorenzo; GORINSKY, Sergey**. An end-to-end pipeline perspective on video streaming in best-effort networks: a survey and tutorial.** 2025. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3742472>. Acesso em: 18 mar. 2026.

NIELSEN, Jakob; MACK, Robert L. **Usability inspection methods.** New York: John Wiley & Sons, 1994.

RIBEIRO, Edvaldo Ferreira. **Um conjunto de melhorias nos serviços de streaming de vídeo: Netflix, Globoplay e Amazon Prime Vídeo baseadas na percepção de seus usuários.** 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/25203>. Acesso em: 23 mar. 2026.

SÁ-SILVA, Jackson Ronie; ALMEIDA, Cristóvão Domingos de; GUINDANI, Joel Felipe. **Pesquisa documental: pistas teóricas e metodológicas.** Revista Brasileira

de História & Ciências Sociais, v. 1, n. 1, 2009. Disponível em: <https://www.rbhcs.com/index_arquivos/Artigo.Pesquisa.documental.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2026.

SALVADOR, Luiz Miguel. **Conjunto de heurísticas para avaliação de usabilidade nas plataformas de streaming de vídeos em dispositivos móveis com foco para as habilidades dos usuários idosos.** 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/23399>. Acesso em: 23 mar. 2026.

SEUFERT, Michael; EGGER, Sebastian; SLAHOVIC, Amela; ZINNER, Thomas; HOßFELD, Tobias. **A survey on quality of experience of HTTP adaptive streaming.** Multimedia Systems, v. 27, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00530-021-00754-8>. Acesso em: 25 mar. 2026.

TARAGHI,Babak**. End-to-end Quality of experience evaluation for HTTP adaptive streaming.** Sensors, v. 21, n. 7, 2021. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/epdf/10.1145/3474085.3481025>. Acesso em: 25 mar. 2026.

TARAGHI, Babak; BENTALEB, Abdelhak; TIMMERER, Christian; ZIMMERMANN, Roger; HELLWAGNER, Hermann**. Understanding quality of experience of heuristic-based HTTP adaptive bitrate algorithms.** ACM Multimedia Systems Conference. New York: ACM, 2021. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/epdf/10.1145/3458306.3458875>. Acesso em: 24 mar. 2026.

ZHANG, Yu; ZHANG, Jian; FENG, Yong; JIANG, Wei; HU, Zhijun; SHEN, Kai. **Storage and transcoding trade-off for multi-version VoD systems in the cloud.** IEEE Transactions on Multimedia, v. 18, n. 12, 2016. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7549397>. Acesso em: 24 mar. 2026.

KANG, Jeongho; CHUNG, Kwangsue. **HTTP Adaptive Streaming Framework with Online Reinforcement Learning.** Applied Sciences, Basel, v. 12, n. 15, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/15/7423>. Acesso em: 13 maio 2026.

LIOTOU, Eirini; PASSAS, Nikos; MERAKOS, Lazaros; PAPANIKOLAOU, Vasileios. **Cache-Enabled Adaptive Video Streaming: A QoE-Based Evaluation Study.** Future Internet, Basel, v. 15, n. 7, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-5903/15/7/221>. Acesso em: 13 maio 2026.

LYKO, Tomasz; JANOWSKI, Lukasz; LESZCZUK, Mariusz; ROMANIUK, Ryszard. **Improving quality of experience in adaptive low latency live streaming.** Multimedia Tools and Applications, v. 83, 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11042-023-15895-9>. Acesso em: 13 maio 2026.

MEHR, Sheyda Kiani; JOGALEKAR, Prasad; MEDHI, Deep. **Moving QoE for monitoring DASH video streaming: models and a study of multiple mobile clients.** Journal of Internet Services and Applications, v. 12, 2021. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1186/s13174-021-00133-y>. Acesso em: 13 maio 2026.

RAHMAN, Waqas ur; CHEN, Liang; LI, Xiaofei; AHMAD, Jamil; KHAN, Muhammad Awais**. QoE optimization for HTTP adaptive streaming: performance evaluation of MEC-assisted and client-based methods**. Journal of Visual Communication and Image Representation, v. 82, 2021. Disponível em: <https://www.open-access.bcu.ac.uk/12616/>. Acesso em: 13 maio 2026.

UDDIN, Syed; AHMED, Tanvir; HOSSAIN, Mohammad; RAHMAN, Ashiqur. **Evaluating HAS and Low-Latency Streaming Algorithms for Enhanced QoE.** Electronics, Basel, v. 14, n. 13, 2025. Disponível em: <https://www.open-access.bcu.ac.uk/16485/>. Acesso em: 13 maio 2026.

YIN, Xiaoqi; SEKAR, Vyas; SINHA, Ramesh; WANG, Hui. **A control-theoretic approach for dynamic adaptive video streaming over HTTP.** ACM SIGCOMM Computer Communication Review, New York, v. 45, n. 4, p. 325-338, 2015. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2829988.2787486>. Acesso em: 13 maio 2026.

HUANG, Te-Yuan; JOHARI, Ramesh; MCKEOWN, Nick; TRUNNELL, Matthew; WATSON, Mark. A buffer-based approach to rate adaptation: evidence from a large video streaming service. In: ACM SIGCOMM 2014 Conference. Chicago: ACM, 2014. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/2619239.2626296>. Acesso em: 18 maio 2026.

XIAO, Meng; ZHOU, Jiayi; LIU, Yong; WANG, Ming. **Edge computing for video streaming: opportunities and challenges.** Future Internet, Basel, v. 10, n. 8, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-5903/10/8/72/pdf>. Acesso em: 18 maio 2026.

YAO, Huaxin; BAI, Chao; ZHANG, Peng; ZHANG, Xianbin. **Joint optimization of caching and routing in software-defined networking enabled information-centric networking.** IEEE Access, v. 7, 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8613880>. Acesso em: 18 maio 2026.

JIA, Lianchen; ZHOU, Chao; LI, Chaoyang; LIU, Jiangchuan; SUN, Lifeng. **Towards User-level QoE: Large-scale Practice in Personalized Optimization of Adaptive Video Streaming.** ACM SIGCOMM 2025 Conference, New York: ACM, 2025. Disponível em: <https://arxiv.org/html/2508.16454v1>. Acesso em: 24 mar. 2026.

DESIGN DE INTERFACE PARA IDOSOS: CONTRIBUIÇÕES DA INTERAÇÃO HUMANO-COMPUTADOR PARA A SAÚDE E AUTONOMIA NA TERCEIRA IDADE
INTERFACE DESIGN FOR THE ELDERLY: CONTRIBUTIONS OF HUMAN-COMPUTER INTERACTION TO HEALTH AND AUTONOMY IN OLD AGE

Henrique Tobias Ribeiro Domingues[1]
Gilberto Trindade Junior[2]
Silvia Roberta de Jesus Garcia[3]

RESUMO: O envelhecimento populacional, aliado à crescente digitalização dos serviços de saúde, evidencia a necessidade de interfaces digitais inclusivas e acessíveis. Nesse contexto, este artigo analisa as contribuições da Interação Humano-Computador (IHC) para o *design* de interfaces capazes de promover saúde, autonomia e segurança para pessoas idosas, integrando princípios de *User Experience* (UX) e *User Interface* (UI). O objetivo consiste em identificar barreiras de interação enfrentadas por esse público e sistematizar diretrizes de acessibilidade aplicáveis ao desenvolvimento de sistemas digitais. A metodologia adotada baseia-se em uma revisão sistemática de publicações entre 2010 e 2025, complementada por análise qualitativa de elementos presentes em sites e aplicativos digitais. Os resultados indicam que práticas como tipografia ampliada, áreas de clique generosas, *feedback* multimodal e navegação simplificada contribuem para a mitigação de barreiras sensoriais e cognitivas, aumentando a percepção de segurança e autonomia do usuário idoso. Conclui-se que a integração sistemática dos princípios de IHC, UX e UI é fundamental para promover a inclusão digital e potencializar a eficácia de tecnologias voltadas à terceira idade.
Palavras-chave: Acessibilidade; Ergonomia; Gerontotecnologia; Inclusão; Usabilidade; UX/UI.

ABSTRACT: Population aging, combined with the increasing digitalization of health services, highlights the need for inclusive and accessible digital interfaces. In this context, this article analyzes the contributions of Human-Computer Interaction (HCI) to the design of interfaces capable of promoting health, autonomy, and safety for older adults, integrating principles of User Experience (UX) and User Interface (UI). The objective is to identify interaction barriers faced by this population and to systematize accessibility guidelines applicable to the development of digital systems. The methodology is based on Systematic Review of publications between 2010 and 2025, complemented by qualitative analysis of elements present in websites and digital applications. The results indicate that practices such as enlarged typography, generous click areas, multimodal feedback, and simplified navigation help reduce sensory and cognitive barriers, increasing user safety and autonomy. It is concluded that the systematic integration of HCI, UX, and UI principles is essential to promote digital inclusion and improve the effectiveness of technologies aimed at older adults.
Keywords: Accessibility; Ergonomics; Gerontechnology; Inclusion; Usability; UX/UI.

Análise e Desenvolvimento de Sistemas - Fatec Itapetininga - henrique.domingues@fatec.sp.gov.br[1]
Análise e Desenvolvimento de Sistemas - Fatec Itapetininga - gilberto.trindade@fatec.sp.gov.br[2]
Prof.ª Orientadora Mestre - Fatec Itapetininga - Email: silvia.garcia01@fatec.sp.gov.br

1 INTRODUÇÃO

O aumento da longevidade humana representa uma das principais conquistas sociais das últimas décadas, reposicionando a velhice como uma fase de participação ativa na sociedade (IBGE, 2022). Entretanto, o avanço acelerado das tecnologias digitais também evidencia novas formas de exclusão, especialmente quando sistemas e interfaces são desenvolvidos sem considerar as necessidades específicas da população idosa (Silva et al., 2020).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2022), a proporção de pessoas com mais de 60 anos deverá atingir aproximadamente 22% da população mundial até 2050. Esse cenário intensifica a demanda por tecnologias acessíveis, sobretudo em serviços digitais relacionados à saúde, como plataformas de telemedicina, aplicativos de monitoramento de doenças e sistemas de gestão de cuidados (Sales; Souza, 2019).

Apesar dessas possibilidades, o design inadequado de interfaces pode transformar tecnologias potencialmente inclusivas em barreiras de acesso (Ahmad; Mozelius, 2022). Alterações naturais do envelhecimento, como a presbiopia, a redução da sensibilidade ao contraste, a diminuição da destreza motora fina e mudanças cognitivas relacionadas à memória e ao processamento de informações, podem dificultar a interação com sistemas digitais (Cybis; Betiol; Faust, 2015). Quando tais fatores não são considerados no desenvolvimento de interfaces, aumentam-se os níveis de frustração, insegurança e dependência do usuário idoso (Silva et al., 2020).

Nesse contexto, a área de Interação Humano-Computador (IHC) oferece o suporte teórico necessário para compreender as relações entre usuários e sistemas digitais (Nielsen, 1993). Paralelamente, os conceitos de *User Experience* (UX) e *User Interface* (UI) fornecem abordagens práticas para o desenvolvimento de interfaces mais intuitivas, eficientes e acessíveis. Interfaces que priorizam clareza visual, organização da informação e redução da carga cognitiva tendem a favorecer a autonomia e a segurança na utilização de tecnologias por pessoas idosas (Diniz, 2023).

Além disso, diretrizes internacionais de acessibilidade digital, como as *Web Content Accessibility Guidelines* (WCAG) desenvolvidas pelo *World Wide Web Consortium* (W3C), reforçam a importância de tornar conteúdos digitais perceptíveis, operáveis e compreensíveis para diferentes perfis de usuários (W3C, 2018). Essas diretrizes

destacam práticas como tipografia legível, contraste adequado e simplificação da navegação, elementos fundamentais para a inclusão digital de pessoas idosas (Lira; Rodrigues, 2025).

Diante desse contexto, o presente artigo analisa as contribuições do design de interface — considerando os princípios de IHC, UX e UI — para a promoção da saúde, da autonomia e da inclusão digital da população idosa, identificando barreiras de interação e sistematizando diretrizes de acessibilidade aplicáveis ao desenvolvimento de sistemas digitais.

2 METODOLOGIA

A fundamentação metodológica deste estudo sustenta-se, inicialmente, na pesquisa documental e descritiva. Segundo Lakatos e Marconi (2001), a pesquisa documental permite a coleta de dados em fontes primárias que ainda não receberam tratamento analítico, como prontuários ou registros institucionais, enquanto para Gil (2008), a pesquisa descritiva tem como objetivo principal o delineamento das características de um fenômeno ou população, estabelecendo relações entre variáveis sem a interferência direta do pesquisador. Tais modalidades são fundamentais para mapear as diretrizes atuais de acessibilidade e o perfil sociodemográfico do envelhecimento.

Adicionalmente, adotou-se a pesquisa exploratória para o aprofundamento das questões subjetivas inerentes ao uso da tecnologia. Conforme Gil (2010), este tipo de pesquisa visa conferir maior familiaridade com o problema, tornando-o mais explícito ou auxiliando na construção de hipóteses para estudos posteriores, caracterizando-se por um planejamento flexível que prioriza uma visão aproximativa do objeto. Segundo Lakatos e Marconi (2003), essa abordagem permite explorar as nuances da realidade de forma mais ampla antes da consolidação de modelos teóricos rígidos.

No contexto deste artigo, a aplicação dessas pesquisas permite ajustar o foco do design de interface às demandas reais de saúde e autonomia na terceira idade. A pesquisa documental auxilia na análise de resoluções de ética em saúde, enquanto a pesquisa descritiva cataloga as dificuldades de usabilidade que comprometem a independência do idoso no gerenciamento de tratamentos. A pesquisa exploratória, por sua vez, possibilita investigar novos paradigmas de Interação Humano-Computador (IHC), como interfaces por voz ou sistemas assistivos, que buscam restaurar a autonomia relacional do paciente no ecossistema digital.

A base teórica é consolidada por meio de uma pesquisa bibliográfica sistemática, abrangendo artigos científicos indexados nas bases PubMed, Scopus, Web of Science e IEEE Xplore, com recorte temporal prioritário entre 2010 e 2025. Essa estratégia permitiu identificar o estado da arte em acessibilidade, Interação Humano-Computador (IHC) e *design* de interfaces para idosos a partir de estudos empíricos, revisões sistemáticas e revisões de escopo. Dados contextuais sobre as condições de saúde e o perfil sociodemográfico da população idosa foram complementados por fontes secundárias consolidadas, como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e relatórios de organizações internacionais (UNFPA, OMS), garantindo que as propostas de *design* estejam alinhadas às evidências científicas mais recentes sobre o envelhecimento ativo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 AVANÇOS EM INTERAÇÃO HUMANO-COMPUTADOR (IHC) APLICADOS À SAÚDE E BEM-ESTAR.

A IHC consolidou-se como campo interdisciplinar fundamental para compreender e aprimorar a relação entre usuários e sistemas digitais. No contexto da saúde, essa área assume relevância crescente diante da expansão dos serviços digitais de cuidado, como plataformas de telemedicina, aplicativos de monitoramento e sistemas de gestão de tratamentos (ZHAO et al., 2024).

De acordo com a pesquisa de Blandford (2019) foi possível observar que, apesar dos expressivos investimentos em tecnologias inovadoras em especial na análise de grandes volumes de dados e em dispositivos pessoais de monitoramento, a maioria das interfaces digitais já implantadas em larga escala ainda apresenta sérias dificuldades de uso, sendo que poucas inovações alcançam penetração significativa no mercado. O autor também destaca uma tendência de transição do modelo de cuidado centrado exclusivamente em profissionais de saúde para um modelo de participação ativa dos pacientes nas decisões sobre sua própria saúde, o que reforça a necessidade de interfaces mais inclusivas e centradas no usuário.

Nesse processo de transformação, a integração entre IHC e Inteligência Artificial (IA) tem se intensificado, com o objetivo de criar interfaces interativas e inteligentes que permitam ao usuário compreender e confiar nas decisões automatizadas. No campo da saúde, a chamada Inteligência Artificial Explicável (XAI) representa o ponto de convergência entre essas duas áreas, possibilitando maior

transparência nos sistemas clínicos de apoio à decisão. Contudo, Nazar *et al*. (2021) apontam que o campo da XAI aplicado à saúde ainda é incipiente e carece de aprofundamento em pesquisas futuras, evidenciando a necessidade de maior investimento no desenvolvimento de interfaces que traduzam algoritmos complexos em informações compreensíveis para diferentes perfis de usuários.

Do ponto de vista da evolução das interfaces clínicas, Langote *et al*. (2024) demonstram que a adoção de abordagens centradas no usuário contribui diretamente para aprimorar os mecanismos de retroalimentação, garantir consistência e melhorar a visibilidade das informações em ambientes médicos. Segundo os autores, interfaces interativas bem projetadas desempenham papel fundamental na otimização dos fluxos de trabalho clínicos e no apoio à tomada de decisões informadas, sendo o *design* centrado no usuário um fator determinante para a criação de sistemas práticos, utilizáveis e memoráveis.

Complementarmente, uma análise bibliométrica conduzida por Jiang *et al*. (2024) identificou crescimento acelerado das publicações sobre IHC na saúde a partir de 2019, impulsionado, entre outros fatores, pela pandemia de Covid-19, com destaque para temas emergentes como inteligência artificial, registros eletrônicos de saúde e segurança do paciente indicando que o campo caminha para uma agenda centrada na interação humano - IA como novo paradigma de cuidado digital.

3.2 INCLUSÃO DIGITAL E ACESSIBILIDADE PARA A POPULAÇÃO IDOSA

O crescimento acelerado da população idosa no Brasil e no mundo impõe desafios concretos à oferta de tecnologias digitais verdadeiramente inclusivas. Conforme os dados do IBGE (2022), o número de brasileiros com 60 anos ou mais cresce de forma contínua, enquanto a digitalização dos serviços de saúde avança em ritmo que nem sempre acompanha as necessidades desse grupo. Nesse cenário, a exclusão digital representa não apenas uma limitação técnica, mas uma barreira de acesso a direitos fundamentais, como saúde, mobilidade e autonomia. Kebede et al. (2022) reforçam essa perspectiva ao indicar que, embora existam atualmente 703 milhões de pessoas com 65 anos ou mais no mundo, número projetado para dobrar até 2050, uma parcela significativa desse grupo ainda possui acesso limitado ou nulo a tecnologias digitais. Além disso, quando há acesso, o uso tende a se restringir a funcionalidades básicas, como comunicação simples, sem aproveitamento pleno do potencial dessas ferramentas.

No que diz respeito à saúde, as tecnologias digitais apresentam potencial considerável para contribuir com a promoção do bem-estar e a prevenção de doenças entre os idosos. De Santis et al. (2023) identificaram, em uma revisão de escopo abrangente, que pequenos benefícios proporcionados por intervenções digitais em contextos não clínicos podem resultar em melhorias funcionais na vida cotidiana, prolongar a vida independente e facilitar o acesso a atividades anteriormente praticadas pelo idoso. Os autores, entretanto, ressaltam que as evidências ainda são limitadas para populações mais diversas em termos de nível socioeconômico, condição de saúde e capacidade cognitiva, o que aponta para a necessidade de investigações mais inclusivas e representativas.

A exclusão digital da população idosa é, contudo, um fenômeno multicausal e multidimensional, que não se resume ao acesso aos dispositivos. Gu et al. (2024) organizaram os fatores contribuintes em três domínios, características sociodemográficas, condições fisiológicas e estados psicológicos, identificando três atributos centrais dessa exclusão: a ausência de recursos materiais, a falta de habilidades digitais e a baixa motivação para o uso da tecnologia. Suas consequências incluem o agravamento da exclusão social e o desenvolvimento de ansiedade tecnológica, reforçando que o design de interfaces precisa considerar não apenas aspectos funcionais, mas também emocionais e contextuais. Nessa mesma direção, Liang et al. (2024) demonstraram, por meio de estudo longitudinal com adultos norte-americanos com 65 anos ou mais, que fatores como renda mais baixa, menor escolaridade, residência em zonas rurais e presença de limitações físicas ou cognitivas estão fortemente associados a menor acesso e uso de tecnologia, evidenciando que a divisão digital é também um marcador de iniquidade social com impacto direto sobre os desfechos em saúde.

3.3 *DESIGN* CENTRADO NO USUÁRIO IDOSO E ABORDAGENS EMERGENTES

Diante das barreiras de acesso e uso identificadas, o *Design* Centrado no Usuário (DCU) surge como abordagem metodológica fundamental para o desenvolvimento de interfaces digitais adequadas à população idosa. Compreender os fatores que influenciam a intenção dos idosos de adotar tecnologias digitais é, nesse sentido, um passo indispensável.

Schroeder et al. (2023) identificaram, em uma revisão de mapeamento, determinantes sociodemográficos, cognitivos, atitudinais, emocionais e ambientais

associados a essa intenção, concluindo que os modelos de aceitação tecnológicas existentes como o TAM (*Technology Acceptance Model*) e o UTAUT (*Unified Theory of Acceptance and Use of Technology*) apresentam limitações ao ignorar as especificidades do processo de envelhecimento. Os autores reforçam a necessidade de modelos e abordagens de *design* desenvolvidos especificamente para esse público, que considerem suas vivências, capacidades e expectativas de forma integral.

Uma das abordagens que melhor responde a essa demanda é o *Design* Participativo (DP), no qual os próprios idosos atuam como coautores do processo de criação das interfaces. Paluch et al. (2023) demonstraram, em estudo conduzido de forma remota durante a pandemia de Covid-19, que práticas de cuidado mútuo entre pesquisadores e participantes idosos constituem um elemento fundacional para uma abordagem genuinamente participativa. O estudo revelou ainda que a cocriação de ferramentas digitais como sites organizados pelos próprios participantes pode servir simultaneamente como produto da pesquisa e como instrumento de apoio comunitário, sendo o cuidado uma dimensão central tanto no processo de *design* quanto na resposta às necessidades coletivas dos idosos.

Paralelamente às abordagens participativas, os *nudges*, intervenções sutis que influenciam decisões e comportamentos de saúde de forma indireta e previsível, têm se mostrado uma estratégia promissora para promover hábitos saudáveis entre idosos por meio de interfaces digitais. Peng et al. (2024) identificaram, em revisão de escopo, que essas abordagens foram aplicadas em sete domínios distintos, incluindo a redução do uso excessivo de serviços de saúde, o aumento da adesão à vacinação e a melhora dos hábitos alimentares e de atividade física. Os autores recomendam que pesquisas futuras busquem adaptar os nudges às características individuais e culturais dos idosos e desenvolvam versões digitais amigáveis ao envelhecimento.

Por fim, Masotti et al. (2025) sintetizaram, em revisão sistemática de 132 artigos, que o *design* centrado no usuário está diretamente associado a maior satisfação dos idosos, sendo a simplicidade da interface, a navegação lógica e o *feedback* imediato os atributos mais determinantes para uma experiência de uso positiva. Os autores concluem que projetos que ignoram as necessidades cognitivas e fisiológicas específicas dos idosos tendem a apresentar resultados insatisfatórios, independentemente das funcionalidades oferecidas, o que reforça que a qualidade da interação é tão importante quanto a qualidade técnica do sistema desenvolvido.

3.4 HEURÍSTICAS DE NIELSEN E MARCOS NORMATIVOS DE ACESSIBILIDADE DIGITAL

As heurísticas de usabilidade de Nielsen (1993) constituem referencial consolidado para avaliação e *design* de interfaces, orientando a construção de sistemas que minimizem a carga cognitiva, promovam a visibilidade do estado do sistema e assegurem controle de navegação. No contexto do envelhecimento, esses princípios assumem relevância ampliada, pois as alterações sensoriais e cognitivas da terceira idade tornam crítica a necessidade de *feedback* imediato, linguagem familiar e navegação previsível. Chen et al. (2025), em revisão de 41 estudos sobre telemedicina para idosos, identificaram que a avaliação heurística recomenda assistência passo a passo e documentação de apoio, contribuindo para maior autonomia. Princípios como "reconhecimento em vez de lembrança" são igualmente fundamentais: ícones com referências reais e menus sempre visíveis reduzem erros de navegação e aumentam o engajamento do usuário idoso (*FRONTIERS IN COMMUNICATION*, 2026).

No plano normativo, as WCAG, desenvolvidas pelo W3C por meio da WAI, representam o principal padrão internacional de acessibilidade digital. Estruturadas nos princípios POUR — Perceptível, Operável, Compreensível e Robusto —, organizam-se em níveis A, AA e AAA. A versão 2.2, publicada em 2023 e reconhecida como norma ISO/IEC 40500:2025, acrescentou critérios voltados à população idosa, como contraste mínimo (1.4.3), visibilidade do foco de teclado (2.4.11) e autenticação sem dependência de memória (3.3.8) (W3C, 2023). A WCAG 3.0, em desenvolvimento, substitui o modelo binário de aprovação/reprovação por níveis Bronze, Prata e Ouro, reposicionando a acessibilidade como resultado vivenciado pelo usuário (W3C, 2025). No Brasil, essas diretrizes fundamentam o eMAG — Modelo de Acessibilidade em Governo Eletrônico, versão 3.1 —, instrumento obrigatório nos portais públicos federais, com recomendações sobre padronização visual, navegação e compatibilidade com tecnologias assistivas (BRASIL, 2014). Apesar de sua importância, a implementação do eMAG ainda é incipiente: menos de 1% dos sites brasileiros estão preparados para receber pessoas com deficiência, dado crítico em um país onde um quarto da população adulta apresenta algum tipo de limitação funcional (*USERWAY*, 2024; IBGE, 2022).

4. ANÁLISE DE DADOS

A análise de dados desta revisão foi conduzida por meio de levantamento sistemático da literatura científica indexada nas bases PubMed, Scopus, *Web of Science* e IEEE Xplore, com recorte temporal prioritário entre 2021 e 2025. Os critérios de inclusão abrangeram estudos empíricos, revisões sistemáticas e revisões de escopo que investigassem a interseção entre design de interface, IHC e saúde de idosos (≥ 60 anos). A análise contemplou 6 artigos científicos publicados, considerando dados como: Tipo de estudo, Amostra / Escopo, Metodologia de Design, Principais Barreiras Identificadas, Recomendações de Interface, Desfechos / Resultados e *link* de acesso ao artigo. Os dados foram organizados em perspectiva comparativa, permitindo identificar convergências, lacunas e tendências emergentes na produção científica do campo.

A Tabela 1 apresenta a análise comparativa dos estudos selecionados nesta revisão, organizada a partir de elementos centrais para a compreensão do design de interfaces voltadas à população idosa no contexto da saúde digital. Foram sistematizadas informações relevantes identificadas nos artigos selecionados. Essa organização permitiu estabelecer uma visão comparativa da produção científica analisada, evidenciando padrões recorrentes, contribuições relevantes e aspectos ainda pouco explorados na literatura.

Tabela 1 — Análise Comparativa de Estudos sobre Design de Interface para Idosos

Elementos ↓ / Referência	LIU *et al.* (2021)	NIMMANterdwong *et al.* (2022)	Gomez-Hernandez *et al.* (2023)	Zhang; Song (2024)	Masotti *et al.* (2025)	UNFPA (2024)
Tipo de Estudo	Revisão Sistemática (PRISMA)	Revisão Sistemática (Síntese Narrativa)	Revisão Sistemática (Análise Temática)	Estudo Empírico (Conjoint Analysis)	Revisão Sistemática	Relatório Demográfico
Amostra / Escopo	74 estudos; PubMed, Embase, PsycINFO,	8 estudos; IEEE, Medline, PubMed, Scopus	40 estudos; WoS, Scopus, IEEE; ≥60 anos	187 idosos (China)	132 artigos; PubMed, Scopus, WoS, IEEE	Global; projeções até 2074
Metodologia de Design	Diretrizes de interface e mHealth	HCD (ISO 9241-210)	Testes com usuários idosos	Preferências de design ePHR	Design centrado no usuário/participativo	Análise demográfica

Principais Barreiras Identificadas	Limitações visuais, motoras e cognitivas	Falta de metas e rigor metodológic o	Sobrecarga cognitiva; navegação complexa	Interfaces inadequadas ; desorganização	Barreiras cognitivas, motoras e letramento digital	—
Recomendações de Interface	Botões grandes; toque simples; voz; tipografia legível	Envolvimento do usuário; testes iterativos	Navegação guiada; simplificação	Interface limpa; ícones intuitivos; legibilidade	Simplicidade ; feedback; fontes maiores	—
Desfechos / Resultados	Baixa adesão sem design adequado	Resultados positivos com HCD (evidência limitada)	Melhor eficácia com usuários reais	Maior usabilidade e engajamento	Maior satisfação com design centrado no usuário	Envelhecimento acelerado da população
Link	Artigo 1	Artigo 2	Artigo 3	Artigo 4	Artigo 5	Artigo 6

Fonte: Autoria própria (2026).

De modo geral, os estudos reforçam a importância de abordagens centradas no usuário e da adaptação das interfaces às necessidades cognitivas, motoras e perceptivas dos idosos, destacando o *design* como elemento estratégico para a promoção da acessibilidade, da usabilidade e da inclusão digital em saúde.

A Tabela 2 apresenta uma síntese comparativa dos estudos analisados, organizada a partir de dimensões centrais relacionadas à interação humano-computador, acessibilidade digital e *design* de interfaces voltadas à população idosa no contexto da saúde. A sistematização evidencia convergências, lacunas, tendências emergentes e contribuições gerais identificadas na literatura, permitindo uma visão analítica mais ampla sobre o estado atual das pesquisas na área. De modo geral, os estudos apontam para a necessidade de soluções digitais mais inclusivas, intuitivas e centradas no usuário, ao mesmo tempo em que revelam limitações metodológicas e oportunidades para o aprofundamento de investigações futuras.

Tabela 2 — Síntese Comparativa dos Estudos Analisados

Dimensão de Análise	Síntese Comparativa	Interpretação Analítica
Perspectiva comparativa dos estudos	Os estudos analisados apresentam abordagens complementares, abrangendo revisões sistemáticas, estudo empírico e relatório demográfico, o que permitiu observar o fenômeno tanto sob a ótica metodológica quanto aplicada. Em conjunto, os trabalhos discutem a relação entre envelhecimento,	A diversidade metodológica fortalece a compreensão do campo, pois amplia a análise para além da interface em si, incorporando aspectos populacionais, cognitivos e contextuais que influenciam a interação do usuário idoso com tecnologias digitais.

	acessibilidade digital, usabilidade e design de interface em contextos de saúde.	
Convergências identificadas	Houve forte convergência entre os estudos quanto à necessidade de interfaces mais simples, legíveis, organizadas e intuitivas, além da valorização de princípios de design centrado no usuário. Também se observou consenso sobre a relevância de considerar limitações visuais, motoras, cognitivas e de letramento digital no desenvolvimento de soluções para idosos.	Os resultados indicam que a acessibilidade e a usabilidade não são apenas atributos técnicos, mas fatores essenciais para promover adesão, autonomia, engajamento e melhor experiência de uso em sistemas digitais de saúde voltados à população idosa.
Lacunas da produção científica	Apesar dos avanços, os estudos revelam limitações recorrentes, como amostras reduzidas, baixa padronização metodológica, escassez de estudos longitudinais e pouca validação em cenários reais de uso. Também se observou número ainda limitado de pesquisas que integrem simultaneamente IHC, UX, UI e saúde do idoso de forma aprofundada.	Essas lacunas demonstram que o campo ainda se encontra em consolidação, carecendo de maior robustez metodológica e de investigações que acompanhem os impactos das interfaces digitais sobre a autonomia e a saúde do usuário idoso em longo prazo.
Tendências emergentes	Entre as principais tendências identificadas, destacam-se o fortalecimento do design centrado no usuário, a ampliação de testes iterativos com idosos, o uso de abordagens participativas e a valorização de interfaces multimodais, personalizáveis e mais inclusivas.	A literatura aponta uma transição de modelos genéricos de interface para soluções mais adaptativas, humanizadas e sensíveis às necessidades do envelhecimento, sinalizando um avanço do campo em direção ao design inclusivo e à saúde digital acessível.
Contribuição geral para o campo	O conjunto dos estudos evidencia que o design de interface desempenha papel estratégico na mediação entre o usuário idoso e os sistemas digitais de saúde, influenciando diretamente a usabilidade, a compreensão, o engajamento e a autonomia.	A produção científica analisada reforça a importância de integrar princípios de IHC, UX e UI no desenvolvimento de tecnologias voltadas à terceira idade, consolidando o design como elemento central para a inclusão digital e o cuidado em saúde.

Fonte: Autoria própria (2026)

Casare, Moraes e Silva (2016; 2017) investigaram a acessibilidade digital

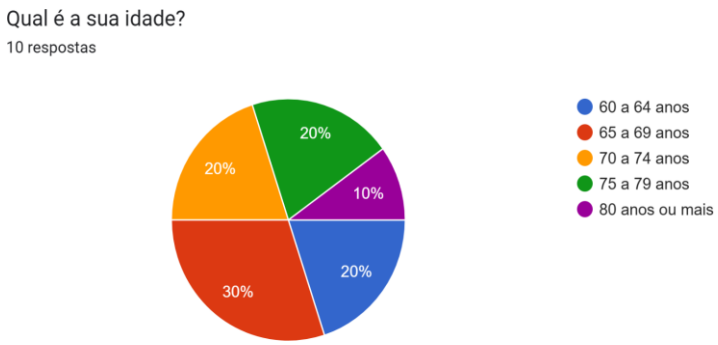
voltada à população idosa em dois estudos complementares. O primeiro identificou requisitos específicos relacionados às limitações cognitivas, motoras e visuais associadas ao envelhecimento, propondo adaptações às diretrizes WCAG para o uso de tablets. O segundo avaliou empiricamente essas adaptações, demonstrando que melhorias na legibilidade, na simplificação da navegação e na interação com dispositivos móveis contribuem significativamente para ampliar a usabilidade e a autonomia de usuários idosos.

Dessa forma, a análise comparativa evidencia que o avanço das tecnologias digitais em saúde para a população idosa depende não apenas de inovação técnica, mas também da incorporação de princípios de acessibilidade, usabilidade e *design* centrado no usuário, capazes de promover experiências mais inclusivas, eficazes e alinhadas às demandas do envelhecimento contemporâneo.

4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS COM USUÁRIO

Para maior eficiência na validação deste estudo, foi realizada uma pesquisa com 10 usuários finais com idade superior a 60 anos. Abaixo são apresentadas as informações coletadas. O Gráfico 1 apresenta a distribuição etária dos participantes: a maior concentração está entre 65 e 69 anos (30%), seguida pelas faixas de 60 a 64, 70 a 74 e 75 a 79 anos (20% cada), e pela faixa de 80 anos ou mais (10%).

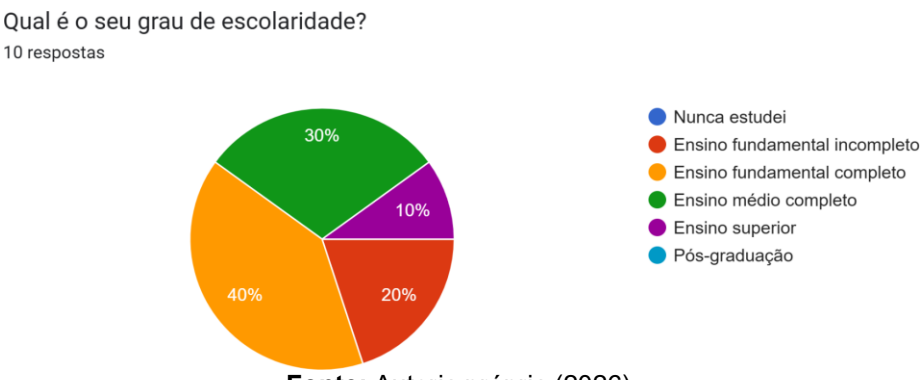
Gráfico 1 - Faixa etária dos participantes



Fonte: Autoria própria (2026).

O Gráfico 2 apresenta o nível de escolaridade dos participantes, com predominância do ensino fundamental completo (40%), seguido pelo ensino médio completo (30%), fundamental incompleto (20%) e ensino superior (10%). O perfil de escolaridade básico é relevante pois o letramento digital tende a ser diretamente influenciado pela escolaridade, conforme Gu et al. (2024).

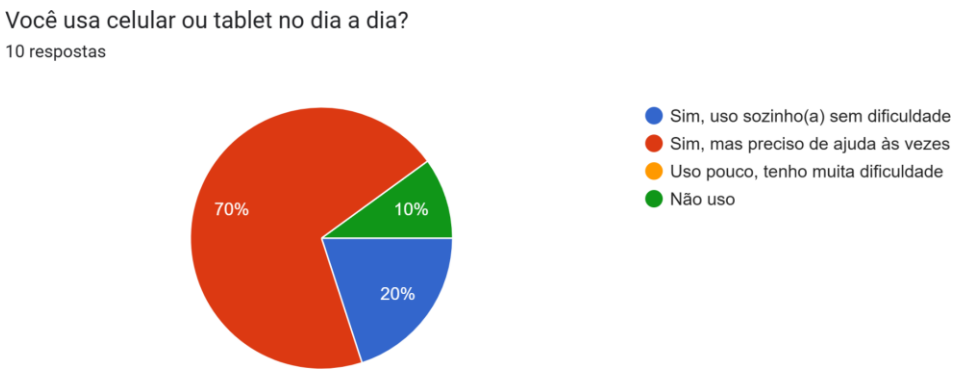
Gráfico 2- Grau de escolaridade dos participantes



Fonte: Autoria própria (2026).

O Gráfico 3 apresenta o uso do celular ou tablet no dia a dia: 70% utilizam o dispositivo com necessidade de ajuda eventual, 20% usam sozinhos sem dificuldade e 10% usam pouco por muita dificuldade. Embora o acesso esteja presente, a autonomia no uso ainda é limitada para a maior parte do grupo, corroborando Liu et al. (2021).

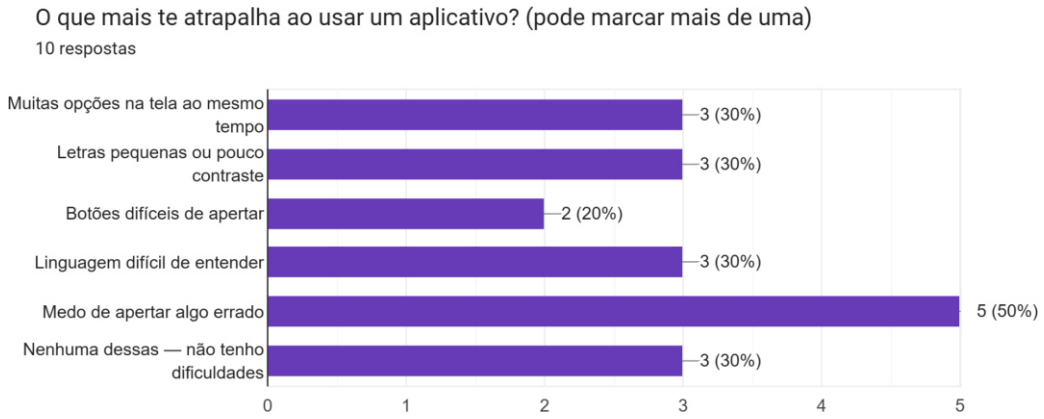
Gráfico 3- Uso de celular ou tablet no dia a dia



Fonte: Autoria própria (2026).

O Gráfico 4 apresenta os principais fatores que atrapalham o uso de aplicativos: o medo de apertar algo errado foi o mais citado (50%), seguido por muitas opções na tela, letras pequenas e linguagem difícil (30% cada) e botões difíceis de apertar (20%). Os resultados evidenciam barreiras emocionais além das técnicas, alinhando-se ao conceito de ansiedade tecnológica de Gu *et al*. (2024).

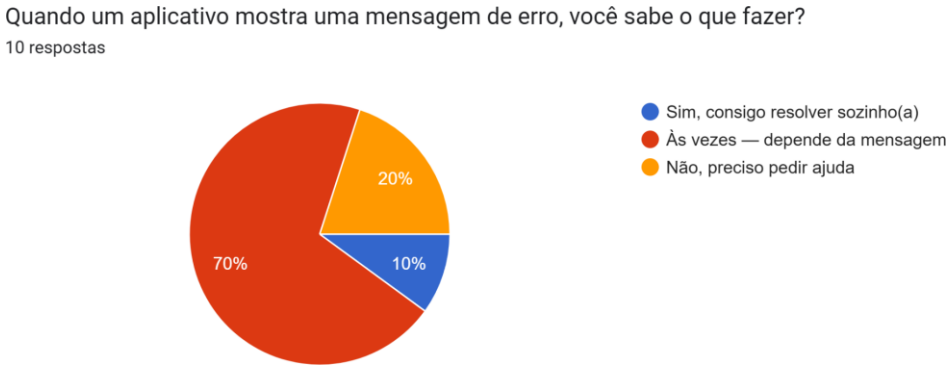
Gráfico 4- Principais fatores que atrapalham o uso de aplicativos



Fonte: Autoria própria (2026).

O Gráfico 5 apresenta o nível de autonomia diante de mensagens de erro: 70% declararam não saber o que fazer e precisam pedir ajuda , 20% conseguem resolver dependendo da mensagem e apenas 10% resolvem sozinhos. O dado reforça a necessidade de mensagens de erro claras, conforme a heurística de Nielsen (1993) e o critério 3.3.4 das WCAG.

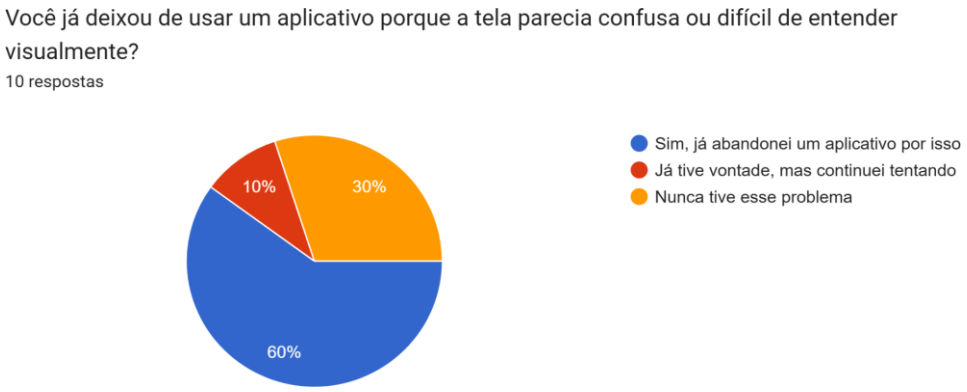
Gráfico 5- Autonomia diante de mensagens de erro



Fonte: Autoria própria (2026).

O Gráfico 6 apresenta os dados referentes ao abandono de aplicativos por interface visualmente confusa: 60% já abandonaram um aplicativo por esse motivo, 10% tiveram vontade mas continuaram e 30% nunca enfrentaram esse problema. O dado demonstra que falhas nos princípios de perceptibilidade das WCAG e na heurística de *design* estético de Nielsen (1993) resultam concretamente em abandono da tecnologia.

Gráfico 6- Abandono de aplicativo por interface visualmente confusa



Fonte: Autoria própria (2026).

A Questão 7 apresentou caráter aberto, convidando os participantes a expressarem livremente o que os aplicativos deveriam ter para facilitar o uso por pessoas da melhor idade. Das 7 respostas obtidas, destacam-se: "Ser simples e fácil"; "Palavras simples e tamanho maior nas letras"; "Letras maiores, termos simplificados"; e "Mais visibilidade e facilidade — acho que poderia ser um botão 'voltar' em vez do desenho de voltar". As sugestões convergem espontaneamente com as recomendações das WCAG e das heurísticas de Nielsen, demonstrando que as necessidades dos usuários idosos são consistentes, previsíveis e passíveis de sistematização normativa.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise sistemática dos seis estudos selecionados revela que a eficácia das interfaces digitais de saúde para idosos não reside na complexidade técnica, mas na capacidade de mediação entre as limitações sensoriais e a necessidade de autonomia.

Os dados sintetizados na Tabela 1 demonstram uma convergência robusta: a navegação simplificada e o *feedback* multimodal não são apenas preferências estéticas, mas requisitos críticos para a mitigação da sobrecarga cognitiva. Ao cruzar os achados de Liu *et al*. (2021) e Masotti *et al*. (2025), observa-se que o uso de tipografia ampliada e botões com áreas de clique generosas atua diretamente na compensação da presbiopia e da redução da destreza motora fina. No entanto, a discussão aprofundada sugere que o verdadeiro divisor de águas é a implementação de interfaces multimodais (voz e toque), que permitem ao usuário alternar o canal de

entrada de informação, reduzindo o esforço de processamento mental em momentos de fadiga.

Conforme interpretado na Tabela 2, a transição de modelos genéricos para o *Design* Centrado no Usuário (HCD) reflete uma mudança de paradigma: a saúde digital deixa de ser um sistema de "registro de dados" para se tornar um ecossistema de "cuidado assistido". A inclusão de nudges e sistemas de Inteligência Artificial Explicável (XAI), mencionados no referencial teórico, surge como uma tendência para resolver a "ansiedade tecnológica" identificada por Gu *et al*. (2024), transformando algoritmos complexos em diálogos compreensíveis que reforçam a segurança do paciente.

A lacuna identificada pela ausência de estudos longitudinais evidencia que, embora existam possibilidades concretas de desenvolvimento de interfaces acessíveis, ainda há escassez de evidências sobre os impactos dessas tecnologias na manutenção da autonomia relacional em longo prazo. Diante do acelerado envelhecimento populacional apontado pelo UNFPA (2024), o design de interfaces deve ser compreendido como uma estratégia vinculada à saúde pública, ultrapassando a dimensão exclusivamente tecnológica. Além disso, os resultados obtidos com usuários com idade igual ou superior a 60 anos reforçam a necessidade de adoção de estratégias e adaptações de design voltadas às demandas específicas desse público.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve por objetivo analisar as contribuições da IHC para a autonomia do idoso, sistematizando diretrizes que convertem barreiras de interação em oportunidades de inclusão digital. A revisão sistemática evidenciou que a integração dos princípios de UX e UI é o fator determinante para o sucesso de tecnologias voltadas à terceira idade, superando a visão puramente funcional do sistema. As evidências apontam que a simplicidade da interface, o *feedback* imediato e a legibilidade são os pilares que sustentam o engajamento e a segurança nos cuidados de saúde.

Conclui-se que o *design* para idosos não deve ser visto como um "nicho", mas como um padrão de excelência em usabilidade que beneficia a sociedade como um todo, promovendo o envelhecimento ativo em um mundo cada vez mais digitalizado.

Como limitação, ressalta-se o número reduzido de estudos com amostras diversas e a necessidade de pesquisas futuras que investiguem a personalização de interfaces via IA em tempo real.

Recomenda-se que desenvolvedores e gestores de saúde adotem metodologias participativas, inserindo o idoso como coautor do processo tecnológico para garantir que a ferramenta digital seja, de fato, um instrumento de emancipação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, A.; MOZELIUS, P. **Human-Computer Interaction for Older Adults: A Literature Review on Technology Acceptance and eHealth.** Journal of Engineering Research and Sciences, v. 1, n. 4, p. 119-126, 2022. Disponível em: <https://www.jenrs.com/v01/i04/p014>. Acesso em: 06 maio 2026.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **eMAG — Modelo de Acessibilidade em Governo Eletrônico**. Brasília: MP, 2014. Disponível em: <https://emag.governoeletronico.gov.br/>. Acesso em: 13 maio 2026.

CASARE, A. R.; MORAES, R. L. O.; SILVA, C. G. **Accessibility Guidelines for the Use of Tablets by Elderly: Evaluation of Proposed Changes to WCAG**. In: Simpósio Brasileiro sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais (IHC), 16., 2017. Anais [...]. Porto Alegre: SBC, 2017. Acesso em: 29 abril 2026.

CASARE, A. R.; MORAES, R. L. O.; SILVA, C. G. **Elicitação de Requisitos para Adaptação de Diretrizes de Acessibilidade de Conteúdo Web ao Uso de Tablets por Idosos**. In: Simpósio Brasileiro sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais (IHC), 15., 2016. Anais [...]. Porto Alegre: SBC, 2016. Acesso em: 15 maio 2026.

CHEN, X. et al. **A Systematic Review of the Usability of Telemedicine Interface Design for Older Adults**. Applied Sciences, v. 15, n. 10, p. 5458, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/10/5458>.Acesso em: 16 abril 2026.

CYBIS, W.; BETIOL, A. H.; FAUST, R. **Ergonomia e usabilidade: conhecimentos, métodos e aplicações.** 3. ed. São Paulo: Novatec, 2015. Disponível em: <https://www.novatec.com.br/livros/ergonomia-usabilidade-3ed/>. Acesso em: 13 maio 2026.

DINIZ, A. F. B. P. V. **Inclusão digital de idosos: utilização de elementos visuais do design de interface no desenvolvimento de aplicativo mobile para auxílio em compras de supermercado.** 2023. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/30834>. Acesso em: 17 abril 2026.

FRONTIERS IN COMMUNICATION. **Visual design and accessibility settings: an exploratory study on their role in technology adoption among older adults.** 2026. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/communication/articles/10.3389/fcomm.2026.1808537/full>. Acesso em: 18 maio 2026.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOMEZ-HERNANDEZ, M. et al. **Usability testing with older adults: A systematic review of methods and findings.** International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 20, n. 3, 2023. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10557006/>. Acesso em: 02 abril 2026.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Projeções da população do Brasil e das unidades da federação por sexo e grupos de idade: 2010–2060.** Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html>.Acesso em: 06 maio 2026.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy_of_historia-i/historia-ii/china-e-india/view>. Acesso em: 08 abril 2026.

LIRA, C. B. O.; RODRIGUES, K. R. H. **Desafios legais e éticos em pesquisas de interação humano-computador com idosos: uma abordagem multidisciplinar**. In: Simpósio Brasileiro sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais (IHC), 2025. Anais [...]. Porto Alegre: SBC, 2025. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/ihc/article/view/37695>.Acesso em: 12 maio 2026.

LIU, L. et al. **Mobile health applications for older adults: a systematic review of usability and accessibility guidelines**. JMIR mHealth and uHealth, v. 9, n. 8, 2021. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8510293/>. Acesso em: 05 maio 2026.

NIELSEN, J. **Usability engineering.** San Diego: Academic Press, 1993. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780125184069/usability-engineering>. Acesso em: 09 abril 2026.

NIMMANTERDWONG, P. et al. **Human-centered design for older adults: a systematic review of methodologies and outcomes**. Journal of Medical Internet Research, v. 24, n. 1, 2022. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8800094/>.Acesso em: 07 maio 2026.

SALES, M. B.; SOUZA, J. J.; SALES, A. B. **Idosos, aplicativos e smartphone: uma revisão integrativa.** Revista Kairós-Gerontologia, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 131-151, 2019. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/kairos/article/view/47150>. Acesso em: 10 maio 2026.

SILVA, E. et al. **Interação humano-computador e a autonomia do idoso.** Ciência & Saúde Coletiva, Rio de Janeiro, v. 25, n. 5, p. 1883-1892, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/YJXGNGpG43jfgHCg6q9zPZr/>. Acesso em: 10 maio

2026.

UNFPA – UNITED NATIONS POPULATION FUND. **World population ageing: highlights 2024**. Nova York: UNFPA, 2024. Disponível em: <https://www.unfpa.org/ageing>. Acesso em: 19 abril 2026.

USERWAY. **Como o eMAG transforma a acessibilidade digital no Brasil**. 2024. Disponível em: <https://userway.org/pt/blog/emag/>. Acesso em: 03 abril 2026.

WORLD WIDE WEB CONSORTIUM (W3C). **Developing websites for older people: how Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0 apply.** 2018. Disponível em: <https://www.w3.org/WAI/older-users/developing/>.Acesso em: 08 abril 2026.

WORLD WIDE WEB CONSORTIUM (W3C). **Diretrizes de acessibilidade para conteúdo web (WCAG) 2.2**. 2023. Disponível em: <https://www.w3c.br/traducoes/wcag/wcag22-pt-BR/>.Acesso em: 08 abril 2026.

WORLD WIDE WEB CONSORTIUM (W3C). **W3C accessibility guidelines (WCAG) 3.0.** 2025. Disponível em: <https://www.w3.org/TR/wcag-3.0/>.Acesso em: 08 abril 2026.

W3C – WEB ACCESSIBILITY INITIATIVE. **Accessibility of machine learning and generative AI.** 2026. Disponível em: <https://w3c.github.io/ai-accessibility/>.Acesso em: 29 abril 2026.

W3C – WEB ACCESSIBILITY INITIATIVE. **Introdução à acessibilidade web.** 2019. Disponível em: <https://www.w3.org/WAI/fundamentals/accessibility-intro/pt-BR>. Acesso em: 06 maio 2026.

W3C – WEB ACCESSIBILITY INITIATIVE. **Older users and web accessibility: meeting the needs of ageing web users.** 2018. Disponível em: <https://www.w3.org/WAI/older-users/>. Acesso em: 06 maio 2026.

W3C – WEB ACCESSIBILITY INITIATIVE. **W3C Web Accessibility Initiative: 2025 year in review.** 2025. Disponível em: <https://www.accessibility.org.au/w3c-web-accessibility-initiative-2025-year-in-review/>. Acesso em: 13 maio 2026.

ZHANG, Y.; SONG, W. **Older adults' preferences for electronic personal health record design: a conjoint analysis study**. BMC Medical Informatics and Decision Making, v. 24, 2024. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10859482/>. Acesso em: 13 maio 2026.

ZHAO, X.; ZHANG, S.; NAN, D.; HAN, J.; KIM, J. H. **Human–computer interaction in healthcare: a bibliometric analysis with CiteSpace.** Healthcare, v. 12, n. 23, p. 2467, 2024. Acesso em: 13 maio 2026.

UMA ABORDAGEM SISTÊMICA SOBRE A GAMIFICAÇÃO COMO ESTRATÉGIA DE ENGAJAMENTO E DESEMPENHO ACADÊMICO NO ENSINO MÉDIO
A SYSTEMIC APPROACH TO GAMIFICATION AS A STRATEGY FOR ENGAGEMENT AND ACADEMIC PERFORMANCE IN SECONDARY EDUCATION

Carlos Roberto Grande Venâncio[1]
Gabriel Vaz de Lima Correa[2]
Gustavo de Oliveira[3]
Silvia Roberta de Jesus Garcia[4]

RESUMO: Este artigo tem como objetivo propor uma plataforma tecnológica voltada ao contexto do ensino médio brasileiro, fundamentada na integração entre gamificação e recursos interativos como estratégia de apoio ao processo de ensino-aprendizagem. O estudo concentrou-se no desenvolvimento do aplicativo BrainXP, concebido para proporcionar aos estudantes uma experiência de aprendizagem mais dinâmica, atrativa e alinhada às demandas educacionais contemporâneas. Metodologicamente, a pesquisa baseou-se em levantamento bibliográfico e análise de estudos que evidenciam fragilidades no ensino médio, especialmente no que se refere ao baixo engajamento discente e às limitações dos métodos tradicionais de ensino. Os resultados indicam que a solução proposta apresenta potencial para favorecer o envolvimento dos alunos, estimular a participação ativa no processo educativo e contribuir para o avanço da aprendizagem.
Palavras-chave: Educação digital; Metodologias ativas; Tecnologias educacionais; Aplicativos educacionais; Aprendizagem interativa.

ABSTRACT: This article aims to propose a technological platform designed for the context of Brazilian secondary education, based on the integration of gamification and interactive resources as a strategy to support the teaching and learning process. The study focused on the development of the BrainXP application, conceived to provide students with a more dynamic, engaging, and educationally relevant learning experience aligned with contemporary educational demands. Methodologically, the research was based on a bibliographic review and the analysis of studies that highlight weaknesses in secondary education, especially regarding low student engagement and the limitations of traditional teaching methods. The results indicate that the proposed solution has the potential to enhance student involvement, encourage active participation in the educational process, and contribute to learning improvement.
Keywords: Digital education; Active methodologies; Educational technologies; Educational applications; Interactive learning.

1 INTRODUÇÃO

Pesquisas nacionais sobre a implementação do ensino médio no Brasil identificam essa etapa como a que apresenta os piores indicadores de desempenho,

Análise e Desenvolvimento de Sistemas - Fatec Itapetininga - E-mail: carlos.venancio@aluno.cps.sp.gov.br[1]
Análise e Desenvolvimento de Sistemas - Fatec Itapetininga - E-mail: gabriel.correa7@aluno.cps.sp.gov.br[2]
Análise e Desenvolvimento de Sistemas - Fatec Itapetininga - E-mail: gustavo.oliveira73@aluno.cps.sp.gov.br[3]
Profª. Orientadora Mestre - Fatec Itapetininga - E-mail: silvia.garcia01@ fatec.sp.gov.br[4]

com uma combinação de altos índices de evasão escolar e baixos níveis de conhecimento, conforme foi medido por avaliações nacionais e internacionais, deixando claro os desafios estruturais persistentes no sistema educacional brasileiro (UNESCO, 2024), enquanto outras pesquisas indicam que a integração de tecnologias e metodologias inovadoras, como a gamificação, possuem um potencial de potencializar o engajamento e a participação dos estudantes no processo de ensino-aprendizagem (Silva et al., 2024).

A incorporação de tecnologias digitais no ensino tem impulsionado transformações estruturais nos processos pedagógicos, exigindo que as instituições de educação reformulem práticas e estratégias para atender às demandas emergentes de ensino. Nesse cenário, novas ferramentas e plataformas passam a assumir papel essencial na promoção de experiências de aprendizagem mais personalizadas, interativas e alinhadas às dinâmicas educacionais contemporâneas (Farias-Gaytan et al., 2023).

Além disso, a adoção de metodologias ativas articuladas ao uso de tecnologias digitais no ensino apresenta relação direta com o aumento do engajamento acadêmico, uma vez que tais práticas favorecem o fortalecimento da autonomia discente, bem como estimulam uma participação mais crítica, reflexiva e participativa no processo de aprendizagem (Nunes et al., 2025).

Nesse contexto, a literatura também destaca a gamificação como uma abordagem pedagogicamente relevante, cuja adoção pode ser justificada tanto por sua capacidade de integrar ferramentas digitais às práticas educacionais quanto por seu potencial de fomentar a aprendizagem ativa, o desenvolvimento de competências sociais e a ampliação da participação estudantil. Dessa forma, a gamificação não se configura apenas como uma tendência tecnológica, mas como uma estratégia educacional sustentada por evidências e aplicabilidade no contexto formativo contemporâneo (Silva et al., 2024).

Diante desse cenário, este estudo tem como objetivo apresentar uma solução educacional acessível, materializada por meio do desenvolvimento de um sistema voltado ao Ensino Médio. A proposta fundamenta-se na concepção de uma ferramenta capaz de favorecer o engajamento discente, potencializar o processo de aprendizagem e apoiar as práticas de ensino no ambiente escolar, em consonância com as evidências e contribuições identificadas na literatura analisada ao longo desta pesquisa.

2 METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza aplicada, com abordagem qualitativa e caráter exploratório-descritivo, tendo como objetivo analisar a gamificação como estratégia de engajamento e seu impacto no desempenho acadêmico no contexto do ensino médio. A escolha da abordagem justifica-se pela necessidade de compreender, de forma interpretativa e contextualizada, como elementos gamificados podem contribuir para o fortalecimento do processo de ensino-aprendizagem.

A construção metodológica foi fundamentada nos estudos apresentados por Oliveira e Sichieri (2025), que discutem a aplicação estruturada da gamificação no contexto educacional e destacam a importância da utilização intencional de componentes como pontuação, desafios, recompensas simbólicas, níveis e *feedback* imediato.

De forma complementar, o delineamento da pesquisa também considerou o modelo conceitual apresentado por Ahmad (Almufarreh, 2026), elaborado a partir de revisão sistemática da literatura, este estudo evidencia a existência de relações significativas entre os elementos de design gamificado, os fatores motivacionais e o desempenho acadêmico, apontando o engajamento como variável mediadora entre a aplicação da gamificação e os resultados educacionais.

Além da revisão e análise teórica, o estudo também contemplou a observação e análise de aplicações educacionais semelhantes, com o objetivo de identificar funcionalidades recorrentes, elementos de interação, estratégias de engajamento e recursos gamificados já empregados em soluções voltadas ao contexto da aprendizagem digital.

Sob a perspectiva da Engenharia de Software, a pesquisa também incorporou procedimentos relacionados ao levantamento e à definição de requisitos do sistema proposto, considerando tanto requisitos funcionais quanto não funcionais, com base nas demandas educacionais identificadas ao longo da pesquisa. A partir desse processo, buscou-se estruturar os principais componentes da solução, suas funcionalidades essenciais, fluxos de navegação e possibilidades de interação, de modo a subsidiar a concepção de uma aplicação coerente com os objetivos pedagógicos e tecnológicos do estudo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção apresenta os principais referenciais teóricos que sustentam a pesquisa, abordando inicialmente os desafios relacionados ao baixo engajamento e ao desempenho acadêmico no ensino médio brasileiro. Em seguida, discute-se a gamificação como estratégia pedagógica capaz de favorecer a motivação, a participação e o envolvimento dos estudantes no processo de ensino-aprendizagem. Também são analisadas as contribuições dessa abordagem para o desenvolvimento de competências previstas na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), além da observação de aplicações educacionais semelhantes, que auxiliam na compreensão de recursos, dinâmicas e funcionalidades já utilizadas em contextos de aprendizagem gamificada.

3.1 PROBLEMAS DE DESEMPENHO ENFRENTADOS NO ENSINO MÉDIO BRASILEIRO DEVIDO AO BAIXO ENGAJAMENTO.

De acordo com Oliver(Olivier et al., 2018), estudantes com melhor desempenho acadêmico tendem a apresentar níveis mais elevados de engajamento cognitivo em relação às atividades escolares, outros estudos realizados por Neyfsom (Matias, 2023) os estudantes do ensino médio mostraram que o engajamento escolar atual está relacionado às expectativas educacionais e aos objetivos futuros dos alunos, os estudantes que possuem baixa perspectiva de continuidade dos estudos, possuem certa tendência a apresentar menor envolvimento nas atividades escolares e, consequentemente, menor desempenho acadêmico, o baixo engajamento dos estudantes pode também ser relacionado a dificuldades de aprendizagem e baixo desempenho em avaliações externas, sendo influenciado por fatores como contexto escolar, motivação e condições socioeconômicas (Souza, 2024).

Pesquisas indicam que baixos níveis de engajamento escolar estão associados a atitudes negativas em relação à aprendizagem, o que impacta diretamente o desempenho acadêmico dos estudantes do ensino médio, especialmente em avaliações como o ENEM (Santana; Sampaio, 2023).

3.2 GAMIFICAÇÃO COMO ESTRATÉGIA DE ENGAJAMENTO E MOTIVAÇÃO NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM.

A gamificação segundo o artigo publicado por Jaramillo et al. (2024) tem sido utilizada no contexto educacional como uma estratégia capaz de aumentar o engajamento e a motivação dos estudantes, especialmente quando elementos como pontuação, recompensas e feedback imediato são integrados às atividades de aprendizagem, um estudo realizado por Haq et al. (2025) a utilização de elementos de jogos no ensino contribui para ambientes de aprendizagem mais interativos e participativos, podendo favorecer o envolvimento ativo dos estudantes e a melhoria dos resultados educacionais.

A gamificação pode promover maior engajamento e retenção dos estudantes em ambientes educacionais, pois estabelece objetivos claros, fornece feedback imediato e cria uma sensação de conquista (Hamid, et al., 2024).

Segundo Sailer, et al. (2020) os efeitos positivos na motivação dos estudantes, podendo gerar impactos moderados no engajamento quando os elementos de jogos são alinhados às necessidades dos aprendizes e aos objetivos pedagógicos.

3.3 GAMIFICAÇÃO NO ENSINO MÉDIO E O DESENVOLVIMENTO DE COMPETÊNCIAS DA BNCC

Uma análise sobre a gamificação no ensino médio feita por Oliveira e Casagrande (2026) favorece o desenvolvimento de competências previstas na BNCC ao promover práticas pedagógicas ativas, alinhadas às habilidades do século XXI e à aprendizagem significativa dos estudantes, onde a gamificação se mostra benéfica para o desenvolvimento de competências cognitivas e socioemocionais segundo Curvo (2024), como autonomia, criatividade e cooperação, aspectos centrais na formação integral proposta pela BNCC.

A gamificação como estratégia de aprendizagem no ensino médio tem se mostrado eficaz para auxiliar a promover o engajamento e o desenvolvimento de competências alinhadas à BNCC, especialmente ao integrar metodologias ativas e tecnologias digitais no processo de aprendizagem (Almeida, et al., 2023).

Ambientes gamificados podem ser utilizados como estratégia pedagógica para enfrentar a desmotivação escolar, promovendo a participação ativa dos estudantes e contribuindo para o desenvolvimento das competências gerais estabelecidas pela BNCC (Santos et al., 2019).

3.4 APLICAÇÕES SEMELHANTES

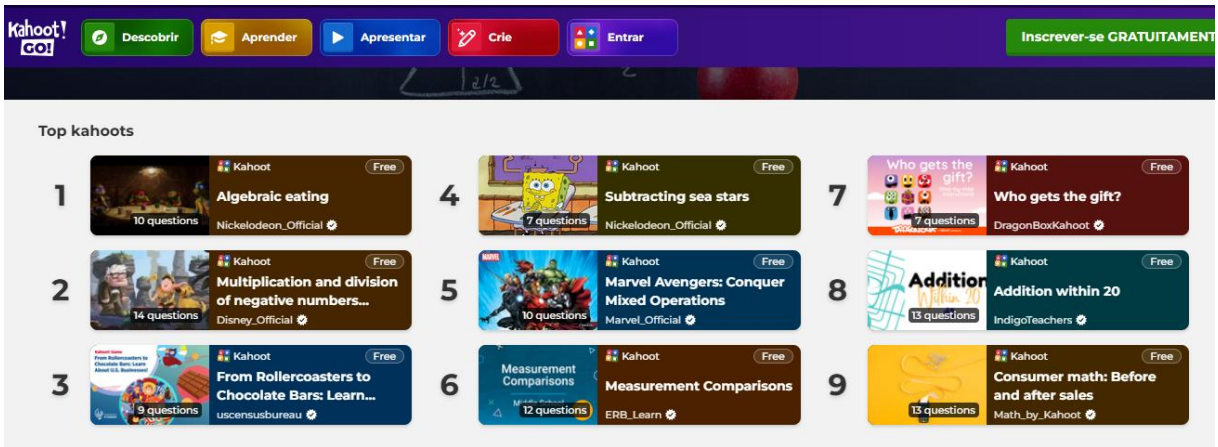
Nesta subseção, são apresentadas algumas aplicações educacionais que utilizam elementos de gamificação como estratégia para promover maior engajamento, motivação e participação dos usuários no processo de aprendizagem.

A análise de plataformas como Kahoot, Duolingo e Quizizz permite observar funcionalidades, mecânicas e recursos interativos que contribuem para tornar o ensino mais dinâmico, atrativo e alinhado às práticas educacionais mediadas por tecnologias digitais. Além disso, o estudo dessas aplicações oferece subsídios importantes para a compreensão de soluções já consolidadas no contexto da aprendizagem gamificada, servindo como referência para o desenvolvimento de novas propostas educacionais.

3.4.1 Kahoot

Na Figura 1 a tela inicial da plataforma apresenta um *hub* de temas que o usuário pode escolher para realizar as perguntas desafio, o usuário também pode pesquisar por temas ao clicar no botão “Descobrir” e digitar o que busca aprender.

Figura 1 - Página Inicial do Kahoot

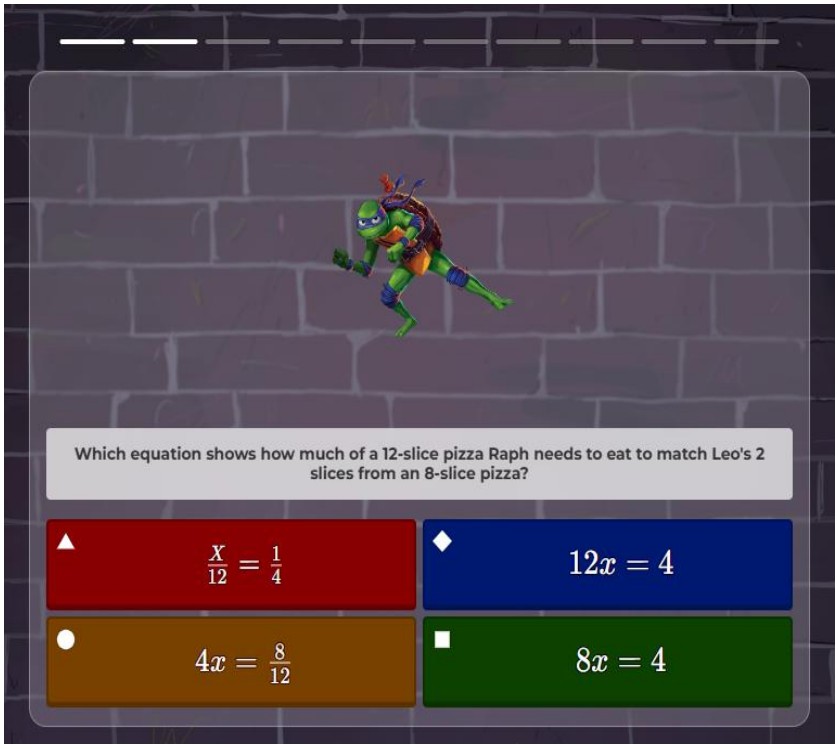


Fonte: Kahoot (2026)

Ao selecionar o tema desejado, o usuário pode convidar outros participantes para integrarem a atividade, promovendo uma dinâmica de competição saudável e interativa. A Figura 2 apresenta o modelo de questões relacionadas ao conteúdo escolhido. Essas questões podem ser disponibilizadas com limite de tempo para

resposta, atribuindo maior pontuação àquelas respondidas em menor intervalo de tempo, o que contribui para o estímulo à agilidade, à atenção e ao engajamento dos participantes.

Figura 2 - Modelo de Questões do Kahoot



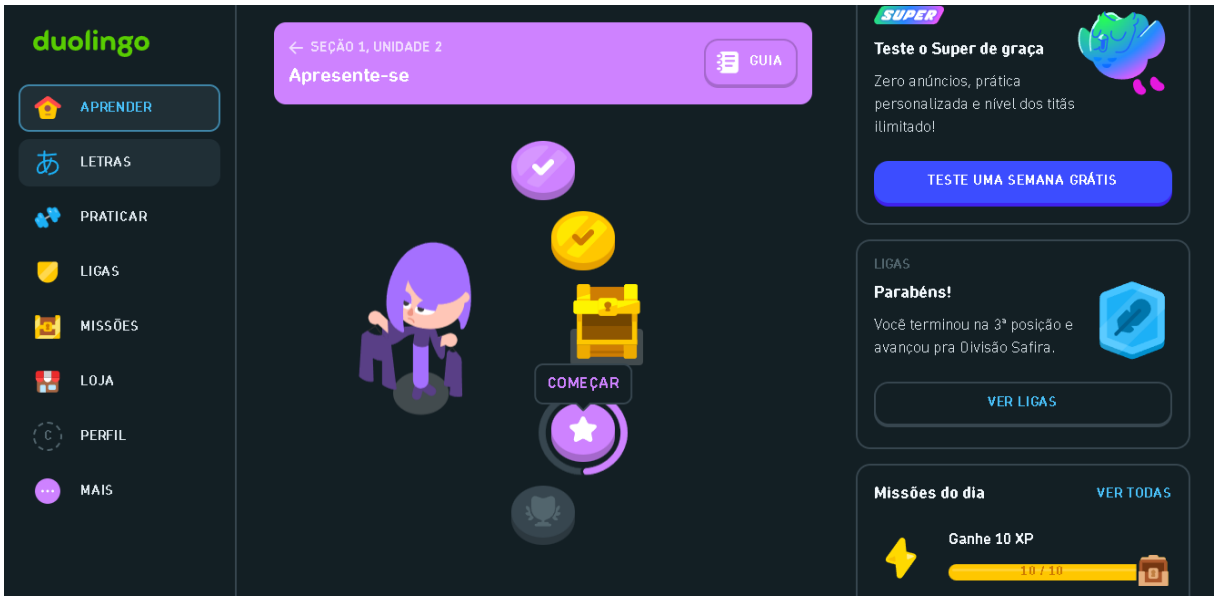
Fonte: Kahoot (2026)

3.4.2 Duolingo

A plataforma apresenta uma interface de navegação simples e organizada, favorecendo a usabilidade e a interação do usuário com os recursos disponíveis. Na lateral direita, encontram-se abas destinadas às diferentes formas de estudo e interação oferecidas pela aplicação, enquanto na lateral esquerda são exibidas notificações relacionadas às conquistas recentemente obtidas pelo usuário. Esse recurso contribui para a percepção de progresso ao longo da trajetória de aprendizagem, reforçando aspectos motivacionais no uso da plataforma.

A Figura 3 apresenta a tela principal da plataforma, na qual são visualizados elementos como níveis, grupos, conquistas e demais recursos associados à experiência de aprendizagem gamificada.

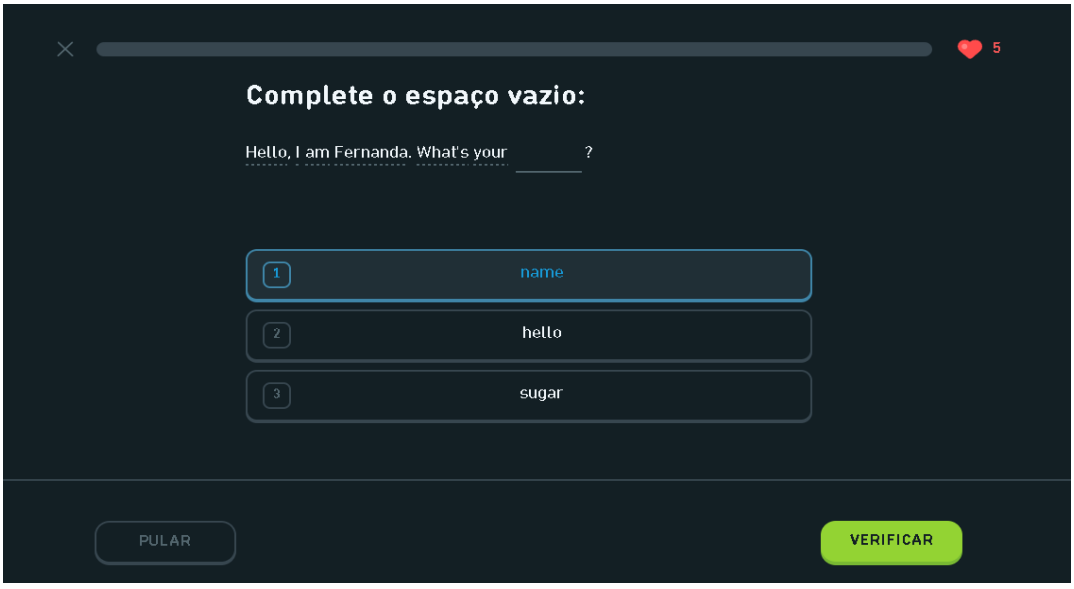
Figura 3 - Menu Principal do Duolingo



Fonte: Duolingo (2026)

A plataforma permite que o ensino seja rápido e divertido, trazendo recompensas e bonificações para os usuários, focando em mais de 40 linguagens da escolha do usuário, ela tem o ensino personalizado de acordo com o desempenho do usuário ajudando em seu desenvolvimento pessoal.

Figura 4 - Modelo de Questões do Duolingo



Fonte: Duolingo (2026)

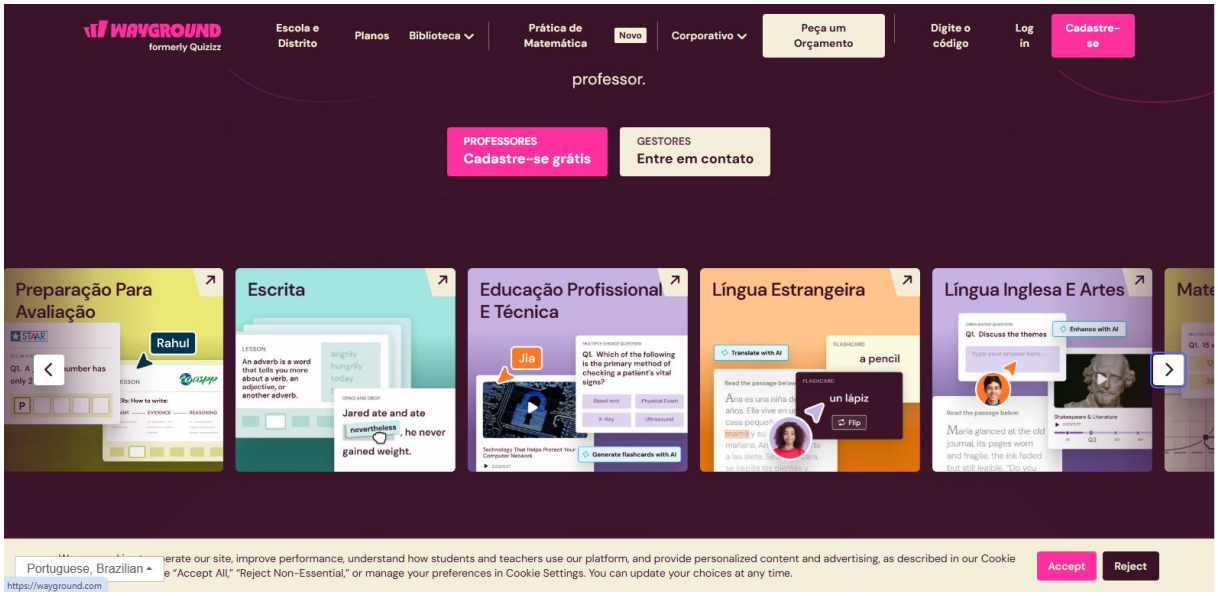
A forma como as questões se relacionam nas trilhas de aprendizado são diversificadas, podendo ser de múltipla escolha, dissertativas, entre outras.

3.4.3 Quizizz

A plataforma evidencia de maneira clara sua proposta educacional, ao destacar disciplinas consideradas essenciais para a formação básica do estudante. Essa organização é apresentada por meio de uma barra de rolagem que dispõe os conteúdos de forma visível e acessível, favorecendo a usabilidade, a navegação e a compreensão da interface pelo usuário.

A Figura 5 apresenta a tela inicial do aplicativo Quizizz, na qual é possível visualizar as opções de acesso à plataforma, como login e cadastro, bem como os temas e conteúdos disponibilizados para utilização.

Figura 5 - Menu Principal do Quizizz



Fonte: Quizizz (2026)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise dos desafios relacionados ao ensino médio no contexto brasileiro, especialmente no que se refere ao baixo engajamento e às dificuldades de desempenho escolar, a aplicação foi desenvolvida com a finalidade de contribuir para a minimização dessas problemáticas. A proposta elaborada consiste em uma plataforma de ensino gamificado, cujo principal objetivo é promover maior envolvimento dos estudantes com os conteúdos escolares, estimulando a

permanência, o foco e a motivação durante o processo de aprendizagem. Além disso, a plataforma foi concebida de modo a oferecer recompensas simbólicas pelas conquistas obtidas, reforçando aspectos motivacionais e incentivando a continuidade do uso.

O processo de concepção da aplicação também foi fundamentado no levantamento de requisitos funcionais e não funcionais, definidos a partir da análise bibliográfica e da observação de aplicações semelhantes. A revisão da literatura possibilitou identificar aspectos pedagógicos e tecnológicos relevantes para o desenvolvimento de uma solução voltada ao contexto educacional, especialmente no que se refere ao uso da gamificação como estratégia de engajamento e apoio ao desempenho acadêmico. Paralelamente, a análise das plataformas correlatas permitiu compreender funcionalidades, dinâmicas de interação e recursos de usabilidade amplamente empregados em ambientes de aprendizagem gamificada.

4.1 REQUISITOS FUNCIONAIS E NÃO FUNCIONAIS

4.1.1 Requisitos Funcionais

Tabela 1: Requisitos Funcionais da Aplicação

ID	Descrição do Requisito Funcional	Prioridade
RF01	Permitir login com e-mail e senha	Alta
RF02	Validar dados de login	Alta
RF03	Permitir cadastro de novos usuários	Alta
RF04	Validar dados de cadastro	Alta
RF05	Exibir menu principal após login	Alta
RF06	Apresentar perguntas de múltipla escolha	Alta
RF07	Permitir seleção de alternativa	Alta
RF08	Verificar se a resposta está correta	Alta
RF09	Exibir mensagem de acerto	Alta

RF010	Exibir mensagem de erro	Alta
RF011	Apresentar dica após erro	Média
RF012	Calcular e adicionar pontos	Alta
RF013	Calcular e adicionar XP	Alta
RF014	Exibir ganhos após acerto	Média
RF015	Permitir próxima pergunta	Alta
RF016	Permitir tentar novamente	Média
RF017	Permitir retorno ao menu principal	Alta
RF018	Exibir nível do usuário	Média
RF019	Exibir progresso do usuário	Média
RF020	Exibir pontuação total	Alta

Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

4.1.2 Requisitos Não Funcionais

Tabela 2: Requisitos Não Funcionais da Aplicação

ID	Descrição do Requisito Não Funcional	Prioridade
RNF01	O sistema deve responder às ações do usuário em até 2 segundos	Alta
RNF02	O sistema deve garantir a segurança dos dados (criptografia)	Alta
RNF03	O sistema deve possuir interface intuitiva e fácil de usar	Alta
RNF04	O sistema deve ser compatível com dispositivos móveis	Alta
RNF05	O sistema deve garantir disponibilidade e estabilidade	Média
RNF06	O sistema deve permitir fácil manutenção e atualização	Média

RNF07	O sistema deve suportar múltiplos usuários simultaneamente	Média

Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

4.2 APLICAÇÃO DESENVOLVIDA

A Figura 6 apresenta a tela de cadastro de usuário, uma das interfaces principais desenvolvidas para a aplicação, juntamente com seus respectivos componentes e funcionalidades. O processo de cadastro foi estruturado de forma a ser realizado por meio do preenchimento de e-mail e senha. Após a inserção dessas informações, um código de verificação é encaminhado ao endereço eletrônico informado, permitindo a validação da conta. Posteriormente, a autenticação biométrica é disponibilizada como recurso adicional, com o propósito de tornar o processo de login mais ágil, prático e seguro para o usuário.

Figura 6: Cadastro de Usuário, Digital e E-mail: Brain XP



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

A Figura 7 mostra a tela de carregamento do aplicativo quando aberto e apresenta os meios de acesso à plataforma pelo login ou novo cadastro do usuário.

O processo de login também pode ser realizado pelo e-mail e senha, por padrão, além da digital, após o login, o aluno poderá escolher a disciplina que deseja estudar, sendo assim inserido à trilha de perguntas da matéria escolhida.

Figura 7 - Login do usuário, Acesso de Matérias e Exercícios do Brain XP

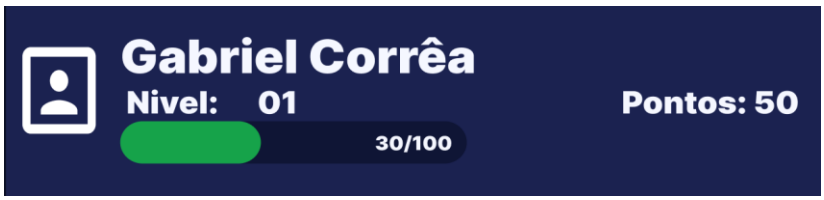


Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

A Figura 8 apresenta a interface com dados relevantes, tais como, nome do usuário, nível, quantidades de experiência e pontos alcançados. Ao concluir experiência máxima, o usuário evolui para o próximo nível.

O processo de experiência vem como recompensa para o usuário, como forma de incentivo a continuar estudando e se divertindo.

Figura 8: mostra a pontuação do usuário ao terminar as atividades: Brain XP



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

A Figura 9 apresenta a mecânica de resolução das questões, estruturada no formato de múltipla escolha. Nessa interface, o enunciado da pergunta é exibido abaixo da área destinada à pontuação do aluno, enquanto as alternativas de resposta são dispostas logo em seguida, de forma organizada e acessível.

O estudante deve selecionar a alternativa que considera correta e, após essa ação, o aplicativo fornece um retorno imediato sobre o resultado obtido. Em caso de acerto, são exibidas as recompensas atribuídas ao usuário pela conclusão correta da

questão. Em situações de erro, é apresentada a mensagem de incentivo “Não foi desta vez”, acompanhada de uma dica relacionada ao conteúdo abordado, oferecendo ao aluno suporte pedagógico e a possibilidade de realizar uma nova tentativa.

Figura 9 - Questões, Recompensas e Perdas de Pontuação do Brain XP



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

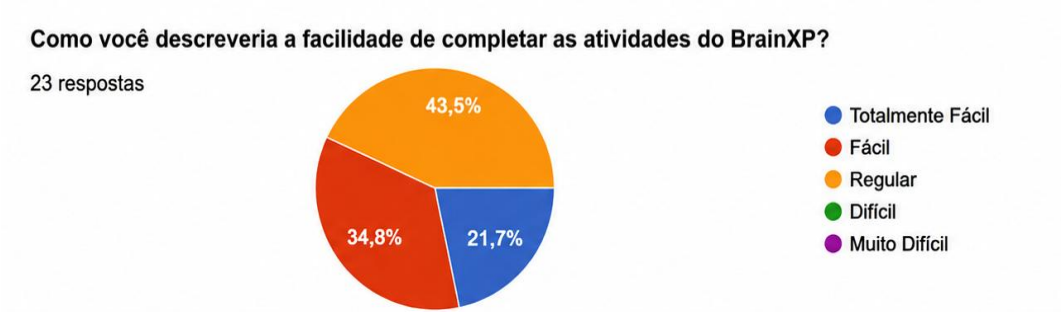
4.3 AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO

A avaliação realizada com 23 alunos demonstra resultados expressivos quanto à percepção de usabilidade, engajamento e potencial pedagógico da ferramenta no contexto educacional. Os dados obtidos indicam uma aceitação positiva da ferramenta pelos participantes, evidenciando sua relevância como estratégia inovadora de apoio ao ensino.

Em relação à facilidade de completar as atividades propostas pelo BrainXP, observa-se que a maioria dos estudantes avaliou a experiência de maneira positiva. Dos participantes, 43,5% classificaram as atividades como “regulares”, enquanto 34,8% consideraram “fácil” e 21,7% “totalmente fácil”. Não houve registros de respostas indicando dificuldades elevadas, como “difícil” ou “muito difícil”. Esses

resultados sugerem que o aplicativo apresenta uma interface acessível e uma dinâmica compreensível para os usuários, favorecendo a adaptação dos alunos à metodologia gamificada.

Gráfico 1: Usabilidade da aplicação



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

No que se refere ao interesse em utilizar o aplicativo em sala de aula, os dados demonstram nível de aceitação. A maioria dos alunos (60,9%) respondeu “com certeza”, indicando forte predisposição ao uso da ferramenta em contextos educacionais formais. Outros 26,1% afirmaram “acho que sim”, enquanto 8,7% responderam negativamente. Esses resultados revelam que a proposta gamificada foi bem recebida pelos estudantes, possivelmente devido à maior interatividade e ao caráter dinâmico proporcionado pelo aplicativo.

Gráfico 2: Interesse no uso da aplicação em Sala de Aula



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

Quanto à percepção sobre a contribuição do aplicativo para o aprendizado das matérias, os resultados também foram positivos. Mais da metade dos participantes (52,2%) afirmaram que o aplicativo pode facilitar o aprendizado, enquanto 34,8% responderam “acho que sim”. Apenas 13% indicaram “talvez”, sem registros de

respostas negativas. Esses dados demonstram que os estudantes percebem a gamificação como uma estratégia capaz de auxiliar na assimilação de conteúdos, tornando o processo de aprendizagem mais atrativo e estimulante.

Gráfico 3: Contribuição da aplicação para o aprendizado



Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

De modo geral, os resultados obtidos evidenciam que a aplicação proposta apresentou boa aceitação entre os alunos participantes, tanto em relação à usabilidade quanto ao potencial educacional da ferramenta. A percepção positiva dos estudantes reforça a relevância da gamificação como estratégia de apoio ao ensino, especialmente no contexto das tecnologias educacionais voltadas ao aumento do engajamento e do desempenho acadêmico.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na análise bibliográfica realizada, foi possível compreender que o baixo engajamento escolar constitui um dos fatores que impactam diretamente o desempenho acadêmico e o processo de aprendizagem dos estudantes do ensino médio. Os estudos examinados evidenciaram que aspectos como desmotivação, dificuldades de concentração, baixa perspectiva em relação ao futuro educacional e metodologias pouco atrativas podem comprometer a participação dos alunos nas atividades escolares. Nesse contexto, a presente pesquisa buscou propor uma alternativa tecnológica e pedagógica capaz de contribuir para a minimização dessas dificuldades, por meio da prototipação de uma aplicação educacional gamificada.

A proposta desenvolvida, denominada BrainXP, foi concebida com o objetivo de auxiliar o processo de ensino-aprendizagem de estudantes do ensino médio da rede pública brasileira, oferecendo uma plataforma acessível, interativa e voltada ao

fortalecimento do engajamento com os conteúdos escolares. A utilização da gamificação como estratégia central mostrou-se pertinente por favorecer uma experiência de aprendizagem mais dinâmica, motivadora e próxima da realidade dos jovens, ao incorporar elementos como desafios, recompensas, progressão e *feedback* imediato. Dessa forma, a aplicação busca não apenas ampliar o interesse pelos estudos, mas também estimular a permanência, a participação ativa e a construção de perspectivas mais positivas em relação ao percurso educacional dos estudantes.

Conclui-se que a proposta apresenta potencial para atuar como recurso complementar ao ensino, promovendo maior envolvimento dos estudantes e favorecendo a retenção do conhecimento de forma inovadora, tanto no ambiente escolar quanto fora. Como perspectiva para trabalhos futuros, sugere-se a realização de testes práticos com estudantes do ensino médio, a fim de avaliar sua usabilidade, aceitação e impactos no engajamento e no desempenho acadêmico. Além disso, recomenda-se a ampliação de funcionalidades e recursos pedagógicos, de modo a tornar a plataforma ainda mais aderente às necessidades educacionais contemporâneas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMUFARREH, Ahmad. ***Gamification in Education and Its Impact on Student Academic Performance: A Conceptual Model Based on Systematic Literature Review and PLS-SEM Analysis. Algorithms***, Basel, v. 19, n. 2, p. 143, 10 fev. 2026. DOI: 10.3390/a19020143. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4893/19/2/143>. Acesso em: 4 mar. 2026.

CURVO, E. F. **A gamificação como estratégia de ensino para a educação financeira.** CoInspirAção, 2024. Disponível em: <https://sbemmatogrosso.com.br/publicacoes/index.php/coinspiracao/article/view/177 >. Acesso em: 18 mar. 2026.

DE OLIVEIRA, Victor Hugo; SICHIERI, Danilo Antônio. **Gamificação na educação.** Revista Interface Tecnológica, Taquaritinga, SP, v. 21, n. 1, p. 88–99, 2025. DOI: 10.31510/infa.v21i1.1883. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/1883>. Acesso em: 4 mar. 2026.

DUOLINGO, Inc. ***Duolingo.*** Pittsburgh, 2011. Disponível em: Acessar Duolingo. Acesso em: 25 mar. 2026.

FARIAS-GAYTAN, S.; AGUADED, I.; RAMIREZ-MONTOYA, M.-S. ***Digital transformation and digital literacy in the context of complexity within higher education institutions: a systematic literature review. Humanities and Social***

Sciences Communications, v. 10, art. 386, 07 jul. 2023. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41599-023-01875-9>. Acesso em: 1 mar. 2026.

HAMID, Riza; BARZENJI, Zaid. ***Evaluating the effectiveness of gamification in online education: strategies for promoting active learning and student retention. International Journal of Post Axial: Futuristic Teaching and Learning***, v. 2, n. 2, 2024. Disponível em: <https://journal.amorfati.id/index.php/postaxial/article/view/302>. Acesso em: 11 mar. 2026.

HAQ, Salsabila Thifal Nabil et al. ***The power of play: a review of gamification design trends and their impact on learning outcomes. Edunesia: Jurnal Ilmiah Pendidikan***, v. 6, n. 3, 2025. Disponível em: <https://www.edunesia.org/index.php/edu/article/view/1340>. Acesso em: 11 mar. 2026.

JARAMILLO-MEDIAVILLA, Lorena et al. ***Impact of gamification on motivation and academic performance: a systematic review. Education Sciences***, v. 14, n. 6, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/educsci14060639>. Acesso em: 11 mar. 2026.

KAHOOT! ASA. ***Kahoot!.*** Oslo, 2012. Disponível em: Acessar Kahoot. Acesso em: 25 mar. 2026.

MATIAS, Neyfsom Carlos Fernandes. **Perspectiva de futuro e engajamento escolar de estudantes de escolas públicas e privadas.** Cadernos de Educação, 2023. Disponível em:<https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/caduc/article/view/26033>. Acesso em: 11 mar. 2026.

NUNES, S. M. L.; PINHEIRO, M. L. P.; CARVALHO, A. A. A. **Metodologias ativas mediadas por tecnologias digitais no ensino superior: uma revisão de escopo.** ARACÊ, v. 7, n. 11, art. e9931, 2025. Disponível em:

<https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/9931>. Acesso em: 1 mar. 2026.

OLIVEIRA, Dalcifran Taveira de; CASAGRANDE, Cledes Antonio. **Gamificação e Língua Portuguesa no Amazonas: práticas pedagógicas e educação integral.** Revista Cocar, 2026. Disponível em: <https://periodicos.uepa.br/index.php/cocar/article/view/11079>. Acesso em: 18 mar. 2026.

OLIVIER, E.; ARCHAMBAULT, I.; DE CLERCQ, M.; GALAND, B. ***Student self-efficacy, classroom engagement, and academic achievement: Comparing three theoretical frameworks. Journal of Youth and Adolescence***, v. 48, n. 2, p. 326–340, 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30421327/>. Acesso em: 25 mar. 2026.

SAILER, Michael; HOMNER, Lisa. ***The gamification of learning: a meta-analysis. Educational Psychology Review***, v. 32, p. 77–112, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09498-w>. Acesso em: 11 mar. 2026.

SANTOS, J. G. et al. **A gamificação como metodologia para o desenvolvimento de competências gerais da BNCC.** Anais do Workshop de Informática na Escola, 2019. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wie/article/view/13230>. Acesso em: 30 mar. 2026.

SILVA, Tatiane Oliveira da et al. **Desafios e perspectivas na integração de tecnologias e metodologias inovadoras no ensino.** RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber, 2024. Disponível em: <https://submissoesrevistarcmos.com.br/index.php/rcmos/article/view/483>. Acesso em: 04 mar. 2026.

SILVA, T et al. **Gamificação na educação: contribuição para estratégias de ensino e aprendizagem.** Revista Interface Tecnológica, 2024. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/1883>. Acesso em: 01 mar. 2026.

SOUZA. **O baixo desempenho nas avaliações externas: uma análise do desempenho dos alunos do 3º ano do ensino médio.** 2024. Dissertação – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufjf.br/jspui/handle/ufjf/18869>. Acesso em: 11 mar. 2026.

UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura). **Pesquisa Novo Ensino Médio: Relatório 2 – Percepção de gestores, docentes e estudantes de escolas públicas estaduais do Brasil.** 2024. Disponível em: <https://articles.unesco.org/sites/default/files/medias/fichiers/2024/08/brz_ed_PesquisunescoaEnsinoMedio_rel2_por_2024_final.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2026.

A INFLUÊNCIA DOS ALGORITMOS DE REDES SOCIAIS NO COMPORTAMENTO DOS USUÁRIOS: PADRÕES DE ENGAJAMENTO E CONSUMO DIGITAL
THE INFLUENCE OF SOCIAL MEDIA ALGORITHMS ON USER BEHAVIOR: PATTERNS OF DIGITAL ENGAGEMENT AND CONSUMPTION

Isabela Machado Oliveira[1]
Maria Luiza de Almeida Oliveira[2]
Rafael Camargo Rachid[3]
Verônica das Dores Bicudo da Silva[4]
Silvia Roberta de Jesus Garcia[5]

RESUMO: Este artigo analisa a influência dos algoritmos de recomendação de redes sociais no comportamento dos usuários, com foco nos padrões de engajamento e consumo digital, especificamente tempo de tela, estímulos de compra e impulsividade. O objetivo principal é investigar como os sistemas algorítmicos das plataformas TikTok, Instagram e Facebook prolongam a retenção do usuário e articulam estratégias de personalização para intensificar práticas de consumo impulsivo. A metodologia adotada é qualitativa, de caráter documental e descritivo, apoiada na análise de conteúdo temática de artigos científicos, relatórios institucionais e estudos de caso publicados entre 2018 e 2025. O referencial teórico aborda os mecanismos neurobiológicos de retenção, o fenômeno do *social commerce*, a vulnerabilidade de jovens e adolescentes à impulsividade digital e os limites impostos pela Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD). Os resultados indicam que os algoritmos operam como ferramentas de engenharia de persuasão, explorando o sistema de recompensa cerebral por meio de recompensas variáveis e rolagem infinita, enquanto integram dinâmicas de consumo diretamente ao *feed* do usuário. Conclui-se que a arquitetura algorítmica das redes sociais contribui para a formação de hábitos compulsivos e para a expansão do materialismo na contemporaneidade, demandando maior transparência das plataformas e observância dos marcos regulatórios de proteção de dados.
Palavras-chave: Circuito de Recompensa; Economia da Atenção; Personalização Preditiva; *Social Commerce*; Vulnerabilidade Digital.

ABSTRACT: This article analyzes the influence of social media recommendation algorithms on user behavior, focusing on patterns of digital engagement and consumption, specifically screen time, purchase stimuli, and impulsivity. The main objective is to investigate how the algorithmic systems of TikTok, Instagram, and Facebook prolong user retention and articulate personalization strategies to intensify impulsive consumption practices. The methodology adopted is qualitative, documentary, and descriptive, supported by thematic content analysis of scientific articles, institutional reports, and case studies published between 2018 and 2025. The

Análise e Desenvolvimento de Sistemas - Fatec Itapetininga -E-mail: isabela.oliveira6@aluno.cps.sp.gov.br[1]
Análise e Desenvolvimento de Sistemas - Fatec Itapetininga -E-mail: maria.oliveira40@aluno.cps.sp.gov.br[2]
Análise e Desenvolvimento de Sistemas - Fatec Itapetininga -E-mail: rafael.rachid@aluno.cps.sp.gov.br[3]
Análise e Desenvolvimento de Sistemas - Fatec Itapetininga -E-mail: veronica.silva17@aluno.cps.sp.gov.br[4]
Prof.ª Orientadora Mestre - Fatec Itapetininga - E-mail: silvia.garcia01@fatec.sp.gov.br[5]

theoretical framework addresses the neurobiological mechanisms of retention, the phenomenon of social commerce, the vulnerability of young people and adolescents to digital impulsivity, and the limits imposed by the Brazilian General Data Protection Law (LGPD). The results indicate that algorithms operate as persuasion engineering tools, exploiting the brain's reward system through variable rewards and infinite scrolling, while integrating consumption dynamics directly into the user's feed. It is concluded that the algorithmic architecture of social media contributes to the formation of compulsive habits and the expansion of materialism in contemporary society, demanding greater platform transparency and compliance with data protection regulatory frameworks.
Keywords: Reward System; Attention Economy; Predictive Personalization; Social Commerce; Digital Vulnerability.

1 INTRODUÇÃO

A ascensão das plataformas digitais, como TikTok, Instagram e Facebook, reconfigurou a circulação de informações, o entretenimento e as práticas de consumo na sociedade contemporânea. Nesse contexto, os sistemas de recomendação, baseados em personalização algorítmica e análise de dados, deixaram de atuar apenas como organizadores de conteúdo e passaram a ocupar papel central na chamada economia da atenção, na qual o engajamento e o tempo de permanência dos usuários são convertidos em valor econômico (Bhaegava; Velasquez, 2021).

Os mecanismos de personalização utilizados pelas plataformas digitais, como notificações constantes, reprodução automática e rolagem infinita, favorecem o uso contínuo e ampliam a retenção dos usuários nos ambientes virtuais, segundo Montag, Yang, Jon (2021), a dinâmica das recompensas imediatas e da constante renovação de conteúdos aproxima essas plataformas dos mecanismos de reforço presentes nos jogos digitais, estimulando padrões de uso frequente e dificultando processos de autorregulação, especialmente entre jovens usuários.

Paralelamente, a infraestrutura algorítmica também sustenta estratégias de marketing altamente personalizadas. O uso de dados comportamentais e ferramentas de publicidade direcionada permite aproximar entretenimento, publicidade e comércio digital, reduzindo a distância entre o interesse e o ato de compra (Zuboff, 2021). Dessa forma, as plataformas ampliam sua capacidade de influenciar decisões individuais e estimular práticas de consumo impulsivo, além dos impactos econômicos e comportamentais, a crescente dependência das redes sociais levanta discussões sobre questões éticas relacionadas ao uso de dados pessoais, à manipulação da atenção e aos efeitos psicossociais associados ao uso excessivo dessas plataformas.

Diante desse cenário, o presente artigo tem como objetivo analisar a influência dos algoritmos de recomendação no comportamento dos usuários em redes sociais, com foco nos padrões de engajamento e consumo em plataformas como TikTok, Instagram e Facebook. Busca-se compreender de que maneira esses sistemas contribuem para o prolongamento do tempo de tela e para a intensificação de práticas de consumo impulsivo no ambiente digital. Os resultados apontam que os algoritmos de recomendação assumem papel central na mediação das experiências digitais contemporâneas, influenciando tanto a circulação de conteúdos quanto os padrões de consumo e interação dos usuários.

2 METODOLOGIA

A metodologia deste estudo foi estruturada para investigar de que maneira os algoritmos de recomendação das redes sociais influenciam o tempo de tela, a impulsividade e os estímulos de consumo em plataformas como TikTok, Instagram e Facebook. Considerando que esses sistemas atuam na personalização do conteúdo e na manutenção da atenção do usuário, optou-se por uma abordagem qualitativa, voltada à interpretação crítica de documentos e estudos que exploram o papel dessas tecnologias na formação de hábitos digitais e decisões de compra.

A pesquisa foi delineada como documental e descritiva, uma vez que se baseia na análise de produções acadêmicas, relatórios institucionais e dados públicos sobre o funcionamento de algoritmos e seus efeitos comportamentais. Segundo Gil (2017), a pesquisa documental se apoia em fontes secundárias, como artigos, relatórios e publicações oficiais, para extrair informações relevantes e reinterpretá-las à luz de um novo contexto. Já a pesquisa descritiva busca expor características de um fenômeno e entender suas relações, sem tentar modificá-lo. Essa abordagem permite compreender, de modo sistemático, como os algoritmos moldam a exposição dos usuários a conteúdos, anúncios e experiências de compra.

Além do caráter descritivo, o estudo também é exploratório, por tratar de uma temática contemporânea e em constante transformação, que integra dimensões tecnológicas, psicológicas e sociais. De acordo com (Andrade, 2020), a pesquisa exploratória busca tornar um problema mais explícito, oferecendo subsídios para análises mais aprofundadas e formulação de novas hipóteses. Essa perspectiva é fundamental para compreender fenômenos emergentes, como o aumento da

impulsividade e do materialismo gerado por sistemas de recomendação otimizados para engajamento. O corpus de análise incluiu artigos científicos recentes, relatórios de mercado, estudos de caso sobre o TikTok e documentos institucionais das plataformas. A seleção priorizou obras publicadas entre 2018 e 2025, período em que as discussões sobre curadoria algorítmica, vício de atenção e consumo digital se intensificaram. Esses materiais foram organizados em três eixos temáticos.

(1) prolongamento do tempo de tela, (2) estímulos de compra e (3) impulsividade digital, que nortearam a análise das dinâmicas de recomendação e engajamento.

Para o tratamento do material documental, aplicou-se a análise de conteúdo temática, conforme orienta (Bardin, 2011), com foco na identificação de padrões discursivos e conceituais sobre o papel dos algoritmos no comportamento dos usuários. Essa técnica permitiu aproximar evidências teóricas e empíricas de diferentes campos, revelando como a estrutura algorítmica das redes sociais contribui simultaneamente para o aumento do tempo de uso e para o fortalecimento de práticas de consumo impulsivo e personalizado.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica necessária para compreender como as redes sociais deixaram de ser apenas espaços de interação para se tornarem plataformas complexas de consumo e retenção. Para isso, a pesquisa foi estruturada em quatro pilares principais que se conectam diretamente.

Primeiramente, analisou-se o funcionamento do circuito de recompensa cerebral, buscando entender como a dopamina e os gatilhos biológicos são usados para manter o usuário conectado. Em seguida, discutiu-se o fenômeno do *Social Commerce*, focando em como os algoritmos do Facebook, Instagram e TikTok transformam o engajamento em vendas diretas.

Avançando na análise, abordou-se a impulsividade e o materialismo no público jovem, que é o grupo mais vulnerável a essas estratégias devido ao desenvolvimento cognitivo. Por fim, encerra-se o capítulo com o respaldo jurídico da LGPD, examinando como a lei busca proteger os dados e a privacidade dos usuários diante desse cenário digital.

3.1 MECANISMOS DE RETENÇÃO E O CIRCUITO DE RECOMPENSA CEREBRAL

A retenção de usuários em plataformas como Facebook, Instagram e TikTok fundamenta-se na exploração neurobiológica do sistema de recompensa mesolímbico. Este sistema é ativado primordialmente pela liberação de dopamina no núcleo *accumbens*, uma estrutura central no cérebro que processa o prazer, o que reforça comportamentos de busca e cria um ciclo de motivação que facilita a retenção de hábitos (Kandel; Schwartz; Jessell, 2014). Nas redes sociais, esse mecanismo é potencializado pelo conceito de recompensas variáveis estímulos que surgem de forma imprevisível como um *like* ou um vídeo viral, gerando uma liberação dopaminérgica superior à de recompensas previsíveis (Schultz, 2016).

Essa retenção está intrinsecamente ligada ao valor emocional atribuído pelo sistema límbico, que é o conjunto de estruturas cerebrais responsáveis pelas emoções. A antecipação de uma interação social ou de um conteúdo relevante otimiza a consolidação da memória no hipocampo, a região ligada ao armazenamento de informações a longo prazo, tornando a experiência de navegação marcante para o indivíduo (Squire, 2009). No caso do TikTok, por exemplo, o algoritmo de entrega contínua atua sobre a atenção exógena aquela capturada por estímulos externos bruscos e novos, dificultando o controle inibitório exercido pelo córtex pré-frontal.

A via dopaminérgica entre a área tegmentar ventral e o córtex pré-frontal é o eixo crítico para a avaliação de custo-benefício que sustenta a decisão de permanecer conectado (Dalgleish, 2004). Entretanto, a neuroplasticidade cerebral é vulnerável a estímulos digitais prolongados; as redes sociais exploram essa maleabilidade para fixar ciclos de recompensas intermitentes. Esse processo desestabiliza a homeostase do sistema de gratificação, transmutando o engajamento saudável em padrões de comportamento compulsivo (Bechara, 2005; Alter, 2018).

Assim, a retenção de usuários no Facebook, Instagram e TikTok não é apenas um fenômeno de interface, mas uma estratégia de Engenharia de Persuasão. Ao alinhar o *design* das plataformas aos gatilhos biológicos de aprovação social e curiosidade, as empresas conseguem manter o usuário em um estado de fluxo constante, muitas vezes suprimindo a percepção temporal e a saciedade (Harris, 2016).

3.2 *SOCIAL COMMERCE* E ALGORITMOS

A evolução das redes sociais de plataformas de interação para ecossistemas de consumo consolidou o conceito de *Social Commerce*. Este fenômeno redefine a jornada de compra ao integrar a interação social e a transação comercial em um único ambiente, o que reduz drasticamente o atrito no funil de vendas, ou seja, elimina barreiras que fariam o consumidor desistir da compra, como a necessidade de sair do aplicativo para concluir um pagamento (Liang & Turban, 2011; Zhou, Zhang & Zimmermann, 2013). No Instagram e TikTok, essa fluidez é potencializada por ferramentas de *checkout* nativo, permitindo uma conversão quase instantânea do desejo em posse.

A eficácia desse modelo repousa na Publicidade Algorítmica, que utiliza o processamento de grandes volumes de dados *Big Data* para realizar uma segmentação preditiva. Diferente da publicidade tradicional, os algoritmos analisam o rastro digital do usuário para antecipar necessidades antes mesmo de uma busca ativa, apresentando anúncios que se alinham ao perfil psicográfico do indivíduo. Essa precisão é reforçada pela Prova Social Digital, um gatilho psicológico onde o algoritmo prioriza produtos que já possuem alta interação como curtidas e comentários, utilizando a validação de terceiros para aumentar a confiança e a retenção do consumidor na plataforma (Han; Xu; Chen, 2018).

As plataformas evoluíram para super-apps de consumo ininterrupto, onde a publicidade mimetiza o conteúdo orgânico e as postagens sociais para eliminar a percepção de interrupção. Esse modelo sustenta um loop de consumo guiado por sugestões personalizadas que exploram a curiosidade e o impulso do usuário (DOURADO, 2020). Através de algoritmos de recomendação baseados em conteúdo, como o *For You*, produtos alcançam nichos hiperespecíficos, maximizando o ROI das marcas e prendendo o indivíduo em uma navegação comercialmente infinita (Kaplan; Haenlein, 2010; Baksht *et al*., 2012).

3.3 IMPULSIVIDADE DIGITAL E MATERIALISMO EM JOVENS E ADOLESCENTES

A vulnerabilidade de jovens ao uso compulsivo e ao consumo imediatista nas redes sociais fundamenta-se em uma assincronia neurofisiológica: o sistema límbico que se baseia nas emoções e recompensas, amadurecendo precocemente em relação ao córtex pré-frontal, responsável pelo controle inibitório e decisões de longo

prazo (Steinberg, 2014). Essa disparidade biológica amplia a reatividade a estímulos de gratificação instantânea, reduzindo a capacidade do adolescente de resistir às ofertas de consumo personalizadas por algoritmos.

Nesse contexto, o materialismo em ambientes digitais é amplificado pela comparação social ascendente, fenômeno onde o indivíduo se compara a outros que aparentam ter um *status* superior. Para o jovem, o consumo de produtos exibidos no Instagram e TikTok funciona como uma ferramenta de construção de identidade e busca por pertencimento, associando a posse de bens materiais à aceitação social (Dittmar *et al*., 2014). As plataformas exploram essa necessidade de validação através de recursos de escassez temporal (como contadores de tempo e ofertas relâmpago), que criam uma sensação de urgência, suprimem o processamento reflexivo e induzem ao comportamento de compra por impulso (Aggarwal, Jun & Huh, 2011; Suri, Kohli & Monroe, 2007).

Além disso, a exposição contínua a estilos de vida idealizados por influenciadores digitais promove uma cultura de ostentação que pode impactar o bem-estar subjetivo. Esse ciclo de desejo insaciável, alimentado por um sistema de recompensa em constante sobrecarga, está frequentemente correlacionado a níveis elevados de ansiedade e a uma percepção de insatisfação com a própria realidade (Kasser, 2016). O resultado é a consolidação de um perfil de consumidor altamente impulsivo, cujas decisões de compra são mediadas mais pela antecipação do prazer dopaminérgico do que pela utilidade real do objeto (Grant; Chamberlain, 2014; Turel; Qahri-Saremi, 2016).

3.4 ALGORITMOS, SEGURANÇA DE DADOS E A LGPD

A eficácia algorítmica das redes sociais, centrada no processamento massivo de dados para retenção e venda, encontra limites na LGPD (Lei nº 13.709/2018). Sob os pilares da autodeterminação informativa e da transparência, as plataformas são obrigadas a compreender a lógica de seus perfis comportamentais e recomendações (Doneda, 2020).

No *social commerce*, o princípio da finalidade veda a conversão arbitrária de interações sociais em insumos de consumo sem base legal (Cotino Hueso, 2017), enquanto a segurança digital expande-se para a proteção contra decisões automatizadas discriminatórias (Frazão; Tepedino; Terra, 2019). Essa tutela é

intensificada para o público infantojuvenil, cujo melhor interesse impõe restrições à exploração predatória de vulnerabilidades cognitivas (Mendes; Puppeti, 2021). Assim, a conformidade à LGPD atua como salvaguarda ética contra uma governança algorítmica que submete a privacidade e a saúde mental à lógica do lucro (Zuboff, 2020; Rodotà, 2008).

4 ANÁLISE DE DADOS

A Tabela 1 apresenta indicadores de engajamento e comportamento nas redes sociais, evidenciando que os algoritmos priorizam métricas como tempo de visualização, interação e personalização de conteúdo. Observa-se que tais mecanismos influenciam diretamente os padrões de consumo digital, ampliando o tempo de permanência e direcionando a experiência do usuário nas plataformas (Publya, 2025; Saasultra, 2026).

Tabela 1 – Dados e análises atuais sobre comportamento e algoritmos.

Dimensão analisada	Dado estatístico atual	Interpretação analítica
Tempo de uso (Brasil – Instagram)	~34h/mês	O Brasil apresenta uma média geral de tempo em redes sociais de aproximadamente 3h 49min por dia, superando significativamente a média global de 2h 21min
Tempo de uso (Brasil – TikTok)	~30h/mês	Demonstra alto nível de imersão e potencial de dependência digital
Engajamento por formato	Vídeos curtos: 5,3% vs texto: 0,6%	Algoritmos priorizam conteúdos rápidos e sensoriais, aumentando consumo passivo
Decisão de compra (Instagram)	70% usam para decidir compras	Forte influência algorítmica no comportamento de consumo
Pesquisa de produtos	72% pesquisam produtos no Instagram	Plataformas atuam como motores de busca comerciais

Social commerce	80% das jornadas começam nas redes	Consolidação das redes como principal canal de influência de compra
Compra direta em redes	43% já compraram via redes sociais	Evidência de impulsividade e integração consumo-plataforma
Frequência de uso (Instagram)	93% acessam diariamente	Indica formação de hábito e dependência comportamental
Engajamento (Instagram)	Queda de 4,7% → 1,8%	Algoritmos favorecem retenção passiva em vez de interação ativa
Alcance orgânico (Facebook)	<2,2%	Redução da visibilidade orgânica e aumento da dependência de anúncios

Fonte: Adaptado de Publya (2025); Saasultra (2026)

A Tabela 2 apresentada sintetiza evidências empíricas recentes sobre os impactos do uso de redes sociais em crianças e adolescentes, destacando associações significativas entre o aumento do tempo de tela e o agravamento de problemas de saúde mental, como depressão, ansiedade e distúrbios do sono. Observa-se também a correlação entre exposição prolongada a conteúdos algorítmicos e o desenvolvimento de comportamentos de risco, incluindo sedentarismo, transtornos alimentares e maior vulnerabilidade ao *cyberbullying*. Esses achados reforçam o papel dos algoritmos na intensificação de padrões de engajamento que podem resultar em consequências negativas a longo prazo (Oecd, 2025; Pew Research Center, 2025).

Tabela 2 – Dados atuais e análise dos impactos das redes sociais em crianças e adolescentes.

Dimensão analisada	Dado estatístico atual	Impacto a longo prazo	Análise
Depressão	+35% nos sintomas com aumento do uso (9–13 anos)	Transtornos depressivos na adolescência	Indica relação longitudinal entre uso e adoecimento mental

Ansiedade/saúde mental	48% dos jovens percebem impacto negativo nas pessoas da mesma idade	Ansiedade social e baixa autoestima	Reforço de comparação social e validação externa
Sono	45% relatam prejuízo no sono	Déficits cognitivos e emocionais	Uso noturno e estímulo contínuo reduzem qualidade do sono
Obesidade	Uso precoce associado a maior risco de obesidade	Doenças crônicas e sedentarismo	Substituição de atividades físicas por tempo de tela
Cyberbullying	53,9% dos adolescentes já sofreram	Depressão, ansiedade e risco de suicídio	Ambiente digital amplia alcance e intensidade da violência
Transtornos alimentares	Exposição a padrões estéticos irreais	Anorexia, bulimia e distorção corporal	Algoritmos reforçam conteúdos de comparação corporal
Tempo de tela	>3h/dia associado a maior risco de depressão	Dependência digital e prejuízo social	Algoritmos aumentam retenção e uso compulsivo
Pressão social	31% sentem pressão para postar conteúdo popular	Ansiedade e validação social	Cultura de performance impulsionada por algoritmos

Fonte: Adaptado de Oecd (2025); Pew Research Center (2025)

A Tabela 3 sistematiza os principais mecanismos de publicidade algorítmica empregados pelas plataformas digitais para reduzir a distância entre estímulo, desejo e decisão de compra. Tais estratégias articulam recursos de personalização, prova social, urgência artificial e integração entre conteúdo e transação, operando sobre vulnerabilidades cognitivas e emocionais dos usuários e favorecendo comportamentos de consumo impulsivo.

Tabela 3- Mecanismos de Influência e Comportamento de Compra por Impulso (2025-2026)

Mecanismo de Influência	Descrição Técnica do Algoritmo	Impacto no Comportamento do Usuário	Nível de Impulsividade Gerado
Escassez Artificial	Algoritmos de *ads(propaganda)* que exibem cronômetros e "estoque baixo" em tempo real.	Desativa a reflexão lógica e induz o medo de perder a oportunidade (FOMO).	Muito Alto
Prova Social Dinâmica	Priorização de conteúdos com alto volume de interações (curtidas/comentários).	O usuário compra por validação social e desejo de pertencimento.	Alto
Mimetismo Orgânico	Anúncios inseridos no *feed* com a mesma estética de postagens de amigos.	Reduz a resistência psicológica à publicidade, sendo percebido como "recomendação".	Médio/Alto
Checkout de Um Clique	Integração de carteiras digitais e pagamentos nativos no TikTok/Instagram.	Elimina o "tempo de pensamento" entre o desejo e a posse, reduzindo a fricção.	Extremo
Segmentação Psicográfica	Uso de *Big Data* para prever estados emocionais e vulnerabilidades do usuário.	Entrega o produto certo no momento de maior fragilidade ou tédio do indivíduo.	Muito Alto

Fonte: Adaptado de TikTok (2023; 2025), Gak, Olojo e Salehi (2022) e Inoue e gak (2023)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados analisados indicam que os algoritmos das redes sociais desempenham papel central na definição do comportamento dos usuários, ao priorizarem conteúdos que aumentam o tempo de permanência e favorecem o consumo contínuo de informações. Observa-se elevado nível de uso dessas plataformas no Brasil, com forte presença de conteúdos de rápida assimilação, como vídeos curtos, o que contribui para um consumo mais passivo e recorrente. Além disso, os resultados evidenciam que as redes sociais influenciam significativamente as decisões de compra, consolidando-se como importantes canais de busca e consumo.

Os dados evidenciam que Instagram, Facebook e TikTok ocupam posições centrais na mediação do comportamento digital contemporâneo, ainda que atuem com ênfases distintas dentro da lógica algorítmica.

No caso do Instagram, observa-se forte presença tanto no cotidiano dos usuários quanto nos processos de consumo, com elevada frequência de acesso diário, uso recorrente para pesquisa de produtos e influência direta nas decisões de compra, o que reforça sua consolidação como ambiente de *social commerce* e vitrine algorítmica de consumo.

O TikTok se destaca pelo elevado tempo de permanência e pela predominância de conteúdo em formato de vídeos curtos, evidenciando um modelo de recomendação altamente orientado à imersão, ao estímulo sensorial e à retenção contínua da atenção.

Por sua vez, o Facebook apresenta redução expressiva do alcance orgânico, indicando uma reconfiguração do ambiente de visibilidade em favor de conteúdos patrocinados e estratégias pagas de distribuição, o que amplia a dependência de mecanismos publicitários para alcançar usuários. Em conjunto, os resultados sugerem que essas plataformas não apenas organizam o fluxo informacional, mas estruturam práticas de consumo, sociabilidade e permanência digital a partir de critérios algorítmicos que privilegiam engajamento, previsibilidade comportamental e monetização da atenção.

No que se refere aos impactos sociais, especialmente entre crianças e adolescentes, verifica-se associação entre o uso excessivo das redes e prejuízos à saúde mental, incluindo sintomas de ansiedade, depressão, distúrbios do sono e exposição a riscos como *cyberbullying* e pressão social. Esses fatores indicam que o ambiente digital, mediado por algoritmos, pode intensificar vulnerabilidades já existentes.

Por fim, conclui-se que os mecanismos algorítmicos também são utilizados de forma estratégica para estimular o consumo por impulso, ao explorar aspectos psicológicos como a busca por validação social e o medo de perder oportunidades.

Dessa forma, os resultados apontam que os algoritmos não apenas influenciam, mas estruturam comportamentos digitais e de consumo, evidenciando a necessidade de reflexão crítica sobre seus impactos e a importância de medidas que promovam o uso mais consciente das tecnologias digitais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente investigação permitiu concluir que os algoritmos de recomendação das redes sociais deixaram de ser meras ferramentas de organização de dados para se tornarem sofisticados instrumentos de engenharia de persuasão. Ao explorar o sistema de recompensa de liberação de dopamina através de estimulo variáveis, essas plataformas conseguem prolongar o tempo de tela e converter a atenção do usuário em um ativo econômico de alta rentabilidade.

No que tange ao comportamento de consumo, o estudo demonstrou que a integração do *Social Commerce* e a publicidade algorítmica ampliam o atrito entre o desejo e o ato de compra. O uso de mecanismos como o *checkout* de um clique e a escassez artificial desativa o controle inibitório e potencializa a impulsividade digital, especialmente em jovens e adolescentes, cuja maturação do córtex pré-frontal ainda está em desenvolvimento.

Evidencia-se também que a exposição prolongada a esses sistemas não é neutra, resultando em impactos significativos na saúde mental, como o aumento de sintomas de depressão, ansiedade e distúrbios do sono e na consolidação de hábitos compulsivos baseados no materialismo e na comparação social.

Por fim, ressalta-se a urgência de uma maior transparência algorítmica e da aplicação rigorosa de marcos regulatórios como a LGPD. É imperativo que o desenvolvimento tecnológico priorize o melhor interesse do usuário, especialmente dos mais vulneráveis, garantindo que a inovação digital não ocorra em detrimento do bem-estar biopsicossocial e da autonomia informativa individual. Estudos futuros poderão investigar, de forma mais aprofundada, os efeitos dos algoritmos de recomendação sobre o comportamento digital, o consumo e a saúde mental dos usuários, com atenção especial às populações mais vulneráveis. Também se recomenda o desenvolvimento de pesquisas empíricas voltadas à análise comparativa entre plataformas digitais, bem como estudos sobre educação midiática, transparência algorítmica e estratégias de uso consciente das tecnologias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTER, Adam. **Irresistível: por que somos cada vez mais dependentes da tecnologia e como nos libertar dela**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2018.

ANDRADE, Maria. Margarida. **Introdução à metodologia do trabalho científico: elaboração de trabalhos na graduação**. 10. ed. São Paulo: Atlas, 2020.

AGGARWAL, Pankaj; JUN, Sung-Yeon; HUH, Ji Hee. **Scarcity messages: A consumer competition perspective.** Journal of Advertising, 40(3), 19–30., out. 2011. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.2753/JOA0091-3367400302.> Acesso em: 20 de maio de 2026.

BAKSHY, Eytan et al. **The role of social networks in information diffusion**. **In: PROCEEDINGS OF THE 21ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON WORLD WIDE WEB**, 2012. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2187836.2187907> Acesso em: 13 maio. 2026.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. 4. ed. Lisboa: Edições 70, 2011.

BECHARA, Antoine. **Decision making, impulse control and loss of willpower to resist drugs: a neurocognitive perspective**. Nature Neuroscience, [s. l.], v. 8, n. 11, p. 1458-1463, 2005. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nn1584> Acesso em: 15 fev. 2026.

BHARGAVA, Vikram. R.; VELASQUEZ, Manuel. **Ethics of the attention economy: the problem of social media addiction**. Business Ethics Quarterly, [s. l.], v. 31, n. 3, p. 321-359, 2021. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/business-ethics-quarterly> Acesso em: 16 fev. 2026.

BRASIL. **[Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD)]. Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018**. Brasília, DF: Presidência da República, [2018]. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.html> Acesso em: 27 mar. 2026.

COTINO HUESO, Lorenzo. **Libertad de expresión e información en Internet y las redes sociales: ejercicio, amenazas y garantías**. Valencia: Universidad de Valencia, 2017. Disponível em: <https://www.uv.es/cotino/elibertades2010.pdf> Acesso em: 13 maio. 2026.

DALGLEISH, Tim. **The emotional brain**. Nature Reviews Neuroscience, v. 5, n. 7, p. 583-589, jul. 2004. Disponível em: <https://www.nature.com/nrn/.> Acesso em: 19 fev. 2026.

DITTMAR, Helga et al. **The relationship between materialism and personal well-being: a meta-analysis**. Journal of Personality and Social Psychology, v. 107, n. 5, p. 879-924, nov. 2014. Disponível em: <https://psycnet.apa.org/record/2014-21347-001.> Acesso em: 21 fev. 2026.

DONEDA, Danilo. **Da privacidade à proteção de dados pessoais**. 2. ed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2020.

FRAZÃO, Ana; TEPEDINO, Gustavo; TERRA, Aline. **Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais e sua repercussão no Direito Civil**. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2019.

GAK, Liza; OLOJO, Seyi; SALEHI, Niloufar. **The distressing ads that persist: uncovering the harms of targeted weight-loss ads among users with histories of disordered eating**. Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction, v. 6, n. CSCW2, p. 1–23, nov. 2022. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2204.03200.> Acesso em: 27 mar. 2026.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GRANT, Jon E.; CHAMBERLAIN, Samuel R. **Impulsivity and compulsivity: a synthesis of a translational framework for clinical practice**. Frontiers in Psychiatry, v. 5, art. 191, p. 1-13, out. 2014. Acesso em: 23 fev. 2026.

HAN, Hwanju; XU, Huilin; CHEN, Honglei. **Social commerce: A systematic review and data synthesis**. Electronic Commerce Research and Applications, v. 30, p. 38-50, jul./ago. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2018.05.005.> Acesso em: 20 maio 2026.

HARRIS, Tristan. **How Technology Hijacks People's Minds** — from a Magician and Google's Design Ethicist. [S. l.]: Thrive Global, 19 maio 2016. Disponível em: <https://medium.com/thrive-global/how-technology-hijacks-peoples-minds-from-a-magician-and-google-s-design-ethicist-56d62ef5edf3.> Acesso em: 13 maio 2026.

INOUE, Kenjiro; YOSHIDA, Mitsuo. **Analysis of psychographic indicators via LIWC and their correlation with CTR for Instagram ads**. arXiv preprint, arXiv:2312.08235, 2023. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2312.08235.> Acesso em: 27 mar. 2026.

KANDEL, Eric R.; SCHWARTZ, James H.; JESSELL, Thomas M. **Princípios da neurociência**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

LIANG, Ting-Peng; TURBAN, Efraim. **Introduction to the special issue social commerce: A research framework for social commerce**. International Journal of Electronic Commerce, v. 16, n. 2, p. 5-14, dez. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.2753/JEC1086-4415160201.> Acesso em: 16 maio 2026.

MENDES, Laura S.; PUPPETTI, Bruna B. **A proteção de dados de crianças e adolescentes no Brasil**. São Paulo: Almedina, 2021.

MONTAG, Christian; YANG, Haibo; ELHAI, Jon D. **On the Psychology of TikTok Use: A First Glimpse from Empirical Findings**. Frontiers in Public Health, v. 9, art. 641673, p. 1-6, mar. 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/public-health/articles/10.3389/fpubh.2021.641673/full.> Acesso em: 27 mar. 2026.

OECD. **How's life for children in the digital age**. Paris: OECD Publishing, 2025. Disponível em: <https://www.oecd.org/en/publications/how-s-life-for-children-in-the-digital-age_0854b900-en.html.> Acesso em: 02 mar. 2026.

O'REILLY, Tim; STRAUSS, Ilan; MAZZUCATO, Mariana. **Algorithmic attention rents: a theory of digital platform market power**. Data & Policy, Cambridge, v. 6, e12, p. 1-22, 2024. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/data-and-policy/article/algorithmic-attention-rents-a-theory-of-digital-platform-market-power/D85FE41F6CF99FC57DDFB2B2B63491C5.> Acesso em: 27 mar. 2026.

ORTEGA, Fernando; GONZÁLEZ-PRIETO, Ángel. **Recommender systems and collaborative filtering.** Applied Sciences, Basel, v. 10, n. 20, p. 7050, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/20/7050.> Acesso em: 27 mar. 2026.

PEW RESEARCH CENTER. **Teens, social media and mental health**. [S. l.], 22 abr. 2025. Disponível em: <https://www.pewresearch.org/internet/2025/04/22/teens-social-media-and-mental-health.> Acesso em: 03 mar. 2026.

PUBLYA. **Dados sobre redes sociais no Brasil em 2025** . [S. l.]: Publya, 2025. Disponível em: <https://publya.com/blog/dados-sobre-redes-sociais-no-brasil-em-2025.> Acesso em: 04 mar. 2026.

RODOTA, Stefano. **A vida na sociedade da vigilância** : a privacidade hoje. Rio de Janeiro: Renovar, 2008.

SAASULTRA. **Estatísticas de mídias sociais 2026** . [S. l.]: SaasUltra, 2026. Disponível em: <https://www.saasultra.com/pt/social-media-statistics.> Acesso em: 05 mar. 2026.

SCHULTZ, Wolfram. **Dopamine reward prediction-error signalling: a 20-year upgrade**. Nature Reviews Neuroscience , v. 3, pág. 183-197, mar. 2016. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nrn.2015.26.> Acesso em: 06 mar. 2026.

SQUIRE, Larry R. **Memory and brain systems: 1969–2009**. Journal of Neuroscience, [s. l.], v. 29, n. 41, p. 12711-12716, 2009.. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2791502/.> Acesso em: 07 mar. 2026.

STEINBERG, Laurence. **Age of opportunity: lessons from the new science of adolescence.** Boston: Houghton Mifflin Harcourt, 2014.

SURI, Rajneesh; KOHLI, Chiranjeev; MONROE, Kent B. **The effects of perceived scarcity on consumers' processing of price information**. Journal of the Academy of Marketing Science, 35, 89–100, mar. 2007. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/225148872_The_effects_of_perceived_scarcity_on_consumers_processing_of_price_informationAcesso em: 20 de maio de 2026.

TIKTOK. **Introducing TikTok Shop**. TikTok Newsroom, 12 set. 2023. Disponível em: <https://newsroom.tiktok.com/introducing-tiktok-shop?lang=en&os=io>. Acesso em: 27 mar. 2026.

TIKTOK. **TikTok Shop is where shoppers come to discover**. TikTok Newsroom, 13 jun. 2025. Disponível em: <https://newsroom.tiktok.com/en-US/tiktok-shop-is-where-shoppers-come-to-discover.> Acesso em: 27 mar. 2026.

TIKTOK. **TikTok Shop chega ao Brasil e inaugura a era da Compra por Descoberta**. TikTok Newsroom, 8 maio 2025. Disponível em: <https://newsroom.tiktok.com/pt-BR/tiktok-shop-chega-ao-brasil.> Acesso em: 27 mar. 2026.

TUREL, Ofir.; QAHRI-SAREMI, Hamid. **Problematic use of social networking sites: antecedents and consequences from a dual-system theory perspective**. Journal of Management Information Systems, [s. l.], v. 33, n. 4, p. 1087-1116, 2016. Acesso em: 11 mar. 2026.

ZHOU, Lina; ZHANG, Ping; ZIMMERMANN, Hans-Dieter. **Social commerce research: An integrated view**. Electronic Commerce Research and Applications, 12(2), 61–68., mar. /abr. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2013.02.003.> Acesso em: 10 de maio de 2026.

ZUBOFF, Shoshana. **A era do capitalismo de vigilância** : a luta por um futuro humano na nova fronteira do poder. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2021.

O IMPACTO DO SELO AMBIENTAL FSC NO COMÉRCIO EXTERIOR: DESAFIOS JURÍDICOS PARA OS EXPORTADORES

THE IMPACT OF THE FSC ENVIRONMENTAL SEAL ON FOREIGN TRADE: LEGAL CHALLENGES FOR EXPORTERS

Ana Carolina Soares Ramos[1]
Julia Victoria de Souza Vieira[2]
Luiz Silveira Vieira[3]

RESUMO:A certificação florestal FSC consolidou-se como instrumento relevante de governança ambiental no comércio internacional, influenciando práticas empresariais e políticas regulatórias voltadas à sustentabilidade. O objetivo geral deste estudo foi analisar o impacto do selo ambiental FSC no comércio exterior, com ênfase nos desafios jurídicos enfrentados pelos exportadores brasileiros do setor de celulose. A metodologia adotada consistiu em revisão de literatura de abordagem qualitativa, realizada no período de 2022 a 2026, com base em artigos científicos selecionados nas bases Lilacs, Periódicos Capes e Scielo, considerando critérios de inclusão e exclusão previamente definidos. Os resultados evidenciaram que a certificação FSC contribui para a conservação ambiental, a valorização comercial dos produtos florestais e o acesso a mercados internacionais exigentes, ao mesmo tempo em que impõe custos de conformidade e complexidade regulatória aos exportadores. Destacou-se a influência do Regulamento da União Europeia sobre Produtos Livres de Desmatamento, que intensificou as exigências de rastreabilidade e transparência nas cadeias produtivas, ampliando os desafios jurídicos para as empresas brasileiras. A análise também demonstrou que o selo FSC atua como barreira não tarifária, promovendo diferenciação competitiva e reforçando a credibilidade ambiental dos produtos exportados. Concluiu-se que a certificação FSC representa instrumento estratégico para a inserção qualificada do Brasil no comércio internacional, ao mesmo tempo em que exige adaptação normativa e investimentos em sustentabilidade.
Palavras-chave: certificação florestal. comércio internacional. sustentabilidade.

ABSTRACT: The FSC forest certification has consolidated itself as a relevant instrument of environmental governance in international trade, influencing business practices and regulatory policies aimed at sustainability. The general objective of this study was to analyze the impact of the FSC environmental seal on foreign trade, with emphasis on the legal challenges faced by Brazilian exporters in the pulp sector. The methodology consisted of a qualitative literature review conducted between 2022 and 2026, based on scientific articles selected from the Lilacs, Periódicos Capes, and Scielo databases, following predefined inclusion and exclusion criteria. The results demonstrated that FSC certification contributes to environmental conservation, commercial valorization of forest products, and access to demanding international markets, while also imposing compliance costs and regulatory complexity on exporters. The influence of the European Union Deforestation-Free Products Regulation was highlighted, as it intensified requirements for traceability and transparency in supply chains, increasing legal challenges for Brazilian companies. The analysis also showed that the FSC seal acts as a non-tariff barrier, promoting competitive differentiation and reinforcing the environmental credibility of exported

Comércio Exterior - Fatec Itapetininga- E-mail: ana.carolina.s.ramos05@gmail.com[1]
Comércio Exterior - Fatec Itapetininga- E-mail: juliavitoria8976@gmail.com[2]
Prof. Orientador - Fatec Itapetininga- E-mail: profandrevieira@hotmail.com [3]

products. It was concluded that FSC certification represents a strategic instrument for Brazil's qualified integration into international trade, while requiring regulatory adaptation and investments in sustainability.
Keywords: forest certification. international trade. sustainability.

1. INTRODUÇÃO

A incorporação de critérios ambientais no comércio internacional redefiniu os parâmetros tradicionais de competitividade, especialmente em setores intensivos em recursos naturais. A sustentabilidade passou a operar como requisito estrutural de acesso a mercados estratégicos, superando a condição de diferencial reputacional. A certificação florestal *Forest Stewardship Council* FSC foi reconhecida como instrumento de governança ambiental capaz de assegurar práticas responsáveis e ampliar a credibilidade dos produtos no mercado global (Yamamoto e Matsumoto, 2022).

A expansão do comércio exterior brasileiro ocorreu em contexto de crescente rigor regulatório ambiental por parte de países importadores. A certificação FSC foi incorporada como mecanismo de adequação a padrões internacionais, ao mesmo tempo em que passou a influenciar decisões comerciais e contratuais. A valorização comercial dos produtos certificados foi associada à melhoria de indicadores ambientais e à diferenciação competitiva em mercados exigentes (Kadam e Dwivedi, 2025).

A intensificação de regulações ambientais internacionais, especialmente o Regulamento da União Europeia sobre Produtos Livres de Desmatamento, ampliou o debate sobre certificações privadas como instrumentos complementares ou condicionantes de acesso ao comércio global. No contexto brasileiro, o impacto do selo FSC no comércio exterior foi delimitado pelos desafios jurídicos enfrentados pelos exportadores do setor de celulose. A seguinte indagação orientou a pesquisa: quais desafios jurídicos são enfrentados pelos exportadores brasileiros diante da exigência do selo ambiental FSC no comércio exterior?

O objetivo geral consistiu em analisar o impacto da certificação FSC no comércio exterior brasileiro, com ênfase nos desafios jurídicos impostos aos exportadores. A investigação buscou identificar as implicações regulatórias da certificação, avaliar sua influência na competitividade internacional e examinar os

efeitos decorrentes da interação entre normas privadas de sustentabilidade e regulamentações estatais.

A relevância do estudo decorre da necessidade de compreender como instrumentos voluntários de certificação passam a integrar estruturas formais de regulação do comércio internacional. A análise contribui para o debate sobre barreiras não tarifárias ambientais e sobre os limites da extraterritorialidade normativa, sobretudo diante da crescente interdependência entre governança ambiental e política comercial.

A metodologia adotada baseou-se em revisão de literatura de abordagem qualitativa, realizada no período de 2022 a 2026, com base em artigos científicos selecionados nas bases Lilacs, Periódicos Capes e Scielo, mediante aplicação de critérios de inclusão e exclusão previamente definidos.

2. METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida por meio de abordagem qualitativa, com base em revisão de literatura, direcionada à análise do impacto da certificação FSC no comércio exterior e dos desafios jurídicos enfrentados por exportadores brasileiros do setor de celulose. A investigação apresentou caráter descritivo e exploratório, com foco na compreensão das implicações regulatórias, econômicas e jurídicas relacionadas à certificação florestal no contexto internacional.

A coleta de dados foi realizada a partir de artigos científicos publicados no período de 2022 a 2026, selecionados nas bases Lilacs, Periódicos Capes e Scielo. As palavras-chave utilizadas foram: certificação florestal, FSC, comércio exterior, sustentabilidade e barreiras não tarifárias. A busca inicial resultou em 47 publicações. Após leitura dos títulos e resumos, 28 estudos foram pré-selecionados. Com a aplicação integral dos critérios de inclusão e exclusão, 12 artigos compuseram o corpus final de análise.

Foram estabelecidos como critérios de inclusão estudos científicos publicados no período delimitado que abordassem a certificação FSC no contexto do comércio internacional ou que analisassem aspectos jurídicos relacionados à sustentabilidade ambiental e às barreiras não tarifárias. Como critérios de exclusão, foram desconsiderados trabalhos sem relação direta com o tema proposto, publicações

duplicadas nas bases consultadas, estudos exclusivamente técnicos sem abordagem jurídica ou comercial e artigos que não apresentaram metodologia clara.

A revisão bibliográfica foi conduzida conforme os pressupostos metodológicos apresentados por Lima e Mioto (2007), que destacam a pesquisa bibliográfica como instrumento essencial para a construção do conhecimento científico e para a sistematização crítica da produção acadêmica. A análise qualitativa dos dados permitiu a interpretação comparativa dos estudos selecionados, possibilitando a identificação de convergências, divergências e lacunas relativas aos impactos da certificação FSC no comércio exterior e aos desafios jurídicos impostos aos exportadores.

Como limitações da pesquisa, destacam-se a dependência das bases de dados selecionadas, o recorte temporal restrito ao período de 2022 a 2026 e a predominância de estudos internacionais, com número reduzido de pesquisas empíricas nacionais específicas sobre o setor brasileiro de celulose. Tais limitações não comprometem a validade da análise, mas indicam possibilidades de aprofundamento em investigações futuras.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 SELO AMBIENTAL FSC COMO BARREIRA NÃO TARIFÁRIA NO COMÉRCIO EXTERIOR

A certificação FSC surgiu como iniciativa privada voltada à definição de padrões verificáveis de manejo florestal sustentável, estruturando-se a partir de princípios ambientais e sociais aplicáveis às cadeias produtivas. Sua expansão ocorreu em resposta à crescente pressão internacional por instrumentos capazes de assegurar origem legal da madeira e controle socioambiental da produção (Fagundes *et al.*, 2024).

A relação entre certificação FSC e conservação ambiental foi analisada por Yamamoto e Matsumoto (2022), que identificaram redução de desmatamento em áreas certificadas sob determinadas condições institucionais. Os autores ressaltaram que os efeitos dependem da capacidade de monitoramento local e da aplicação efetiva dos critérios técnicos de manejo.

A incorporação da certificação FSC nas cadeias produtivas internacionais ocorreu por meio de sua utilização como parâmetro de conformidade ambiental em mercados exigentes. Essa dinâmica foi observada em contextos nos quais padrões privados passaram a influenciar práticas comerciais e regulatórias (Boubacar; Sissoko, 2025).

A proteção de paisagens florestais intactas foi examinada por Zwerts *et al*. (2024), que avaliaram a viabilidade da certificação como instrumento de conservação em áreas de alto valor ecológico. O estudo indicou que o impacto positivo apresenta limitações quando pressões econômicas intensas incentivam a conversão do uso da terra.

A mediação entre interesses econômicos e ambientais ocorre por meio da exigência de planos de manejo, auditorias independentes e cumprimento de critérios sociais. Esse modelo regulatório híbrido foi descrito como mecanismo de internalização de custos ambientais na produção florestal (Cosimo *et al*., 2024).

A influência da certificação FSC no comércio internacional foi discutida por Boubacar e Sissoko (2025), que identificaram associação entre certificação e maior acesso a mercados específicos. O mecanismo causal envolve preferência de importadores por produtos com rastreabilidade comprovada e conformidade documental.

A adoção de padrões certificados varia conforme contexto econômico e institucional. Bösch (2025) demonstrou que renda nacional, qualidade regulatória e integração comercial influenciam diretamente a expansão de áreas certificadas.

A redução de impactos ambientais associada à certificação depende da aplicação efetiva dos critérios técnicos estabelecidos pelo FSC. A auditoria independente e o monitoramento contínuo constituem elementos centrais do sistema, conforme apontado na revisão sistemática de Fagundes *et al*. (2024).

A relação entre certificação FSC e biodiversidade foi examinada por Kadam e Dwivedi (2025), que identificaram correlações positivas em determinados contextos ecológicos. O estudo indicou que resultados variam conforme bioma, intensidade de fiscalização e estrutura institucional.

A interação entre normas privadas e políticas públicas ocorre quando padrões certificados passam a dialogar com regulamentações ambientais nacionais e internacionais. Esse processo foi discutido no contexto do regulamento europeu sobre produtos livres de desmatamento (Moura; Lerin; Santos, 2023).

A integração entre padrões internacionais e práticas locais exige adaptação institucional das empresas certificadas. Ramos e Lima (2024) destacaram que exigências ambientais externas impõem ajustes operacionais e jurídicos aos países exportadores.

A expansão de áreas certificadas tem sido utilizada como indicador indireto de adesão a padrões sustentáveis. Yamamoto e Matsumoto (2022) advertiram que resultados concretos dependem de variáveis institucionais complementares ao certificado.

A transparência das cadeias produtivas constitui elemento central da certificação FSC. A rastreabilidade documental facilita comprovação de origem sustentável e reduz assimetria informacional no comércio internacional (Zhang *et al*., 2022).

A atuação transnacional da certificação FSC decorre de sua aceitação voluntária por agentes privados inseridos em mercados regulados. Verhaeghe e Suominen (2024) indicaram que padrões ambientais podem adquirir função regulatória indireta ao condicionarem acesso a mercados estratégicos.

A relação entre sustentabilidade e comércio internacional manifesta-se quando padrões ambientais passam a influenciar competitividade e inserção comercial. A certificação FSC integra esse processo ao fornecer estrutura de verificação reconhecida internacionalmente (Cezar; Lima; Ramos, 2025).

A consolidação da certificação FSC como padrão internacional também pode ser compreendida a partir da crescente desconfiança dos mercados em relação à eficácia exclusiva da regulação estatal. Fagundes *et al*. (2024) indicaram que sistemas privados de certificação passaram a suprir lacunas institucionais, especialmente em contextos nos quais a fiscalização pública apresenta limitações operacionais ou territoriais.

A governança ambiental transnacional envolve a articulação entre múltiplos atores, incluindo organizações não governamentais, empresas multinacionais e organismos internacionais. Verhaeghe e Suominen (2024) ressaltaram que essa configuração redefine o papel do Estado, que passa a compartilhar funções regulatórias com instrumentos privados reconhecidos pelo mercado.

A certificação FSC também desempenha função econômica ao reduzir riscos reputacionais associados à comercialização de produtos vinculados ao desmatamento. Zhang *et al*. (2022) demonstraram que mercados importadores

tendem a privilegiar produtos certificados quando há incerteza quanto à origem sustentável da matéria-prima.

A credibilidade do sistema depende da independência das auditorias e da robustez dos critérios técnicos aplicados às áreas certificadas. Cosimo *et al*. (2024) observaram que lacunas entre padrões voluntários e normas legais podem comprometer a eficácia regulatória, caso não haja atualização constante dos requisitos ambientais.

A expansão da certificação em países em desenvolvimento revela desafios estruturais relacionados à capacidade institucional e aos custos de conformidade. Bösch (2025) destacou que a adoção desigual do FSC decorre de fatores econômicos e políticos que influenciam a viabilidade da implementação dos padrões internacionais.

O papel da certificação na proteção da biodiversidade não se limita à manutenção de cobertura florestal, mas envolve também a preservação de funções ecológicas específicas. Kadam e Dwivedi (2025) apontaram que resultados positivos são mais consistentes quando critérios de manejo incluem indicadores claros de conservação.

A relação entre certificação e redução de desmatamento depende da integração entre monitoramento remoto e verificação local. Yamamoto e Matsumoto (2022) indicaram que a combinação entre tecnologia e fiscalização presencial aumenta a efetividade das áreas certificadas.

A certificação FSC também atua como instrumento de coordenação contratual nas cadeias globais de valor. Boubacar e Sissoko (2025) identificaram que compradores internacionais utilizam a certificação como critério de seleção de fornecedores, influenciando padrões produtivos em países exportadores.

A internalização de padrões ambientais por meio da certificação pode gerar efeitos indiretos sobre políticas públicas nacionais. Ramos e Lima (2024) observaram que exigências internacionais estimulam debates internos sobre aprimoramento de mecanismos de controle ambiental.

A interação entre certificação e regulamento europeu evidencia que instrumentos voluntários podem antecipar exigências estatais mais rigorosas. Moura, Lerin e Santos (2023) destacaram que sistemas de rastreabilidade previamente estruturados facilitam a adaptação a normas extraterritoriais.

A dinâmica competitiva no comércio internacional passou a incorporar variáveis ambientais como componentes estruturais da formação de preço e reputação. Cezar, Lima e Ramos (2025) argumentaram que padrões ambientais influenciam estratégias de inserção comercial de países exportadores.

A análise comparativa entre contextos regionais demonstra que a certificação apresenta impactos diferenciados conforme o nível de governança local. Zwerts *et al*. (2024) ressaltaram que áreas sob forte pressão econômica demandam políticas complementares à certificação para assegurar conservação efetiva.

A consolidação do FSC como referência internacional também decorre da padronização de critérios reconhecidos por diferentes mercados consumidores. Fagundes *et al*. (2024) indicaram que a harmonização técnica contribui para reduzir incertezas comerciais e ampliar previsibilidade nas transações internacionais.

A certificação FSC, ao integrar critérios ambientais, sociais e econômicos, passou a representar mecanismo de convergência entre sustentabilidade e comércio global. Verhaeghe e Suominen (2024) interpretaram esse processo como expressão da transformação estrutural do comércio internacional, no qual padrões ambientais assumem função regulatória indireta.

3.2 DESAFIOS JURÍDICOS PARA EXPORTADORES BRASILEIROS NO SETOR DE CELULOSE

A intensificação das exigências ambientais no comércio internacional alterou o ambiente regulatório enfrentado por exportadores brasileiros do setor de celulose. Regulamentos recentes passaram a condicionar o acesso a mercados estratégicos à comprovação documental de origem sustentável e legalidade da produção, o que ampliou a complexidade jurídica das operações internacionais (Verhaeghe; Suominen, 2024). A competitividade deixou de depender apenas de preço e qualidade, passando a incorporar critérios ambientais vinculados a obrigações formais.

O Regulamento da União Europeia sobre Produtos Livres de Desmatamento introduziu deveres de diligência que impactam diretamente operadores situados fora do território europeu. Ramos e Lima (2024) apontaram que o Brasil reagiu de forma ambivalente à normativa, reconhecendo a importância ambiental do instrumento, mas destacando custos de conformidade e insegurança jurídica. O regulamento exige

coleta de coordenadas geográficas das áreas de produção, análise de risco e manutenção de registros verificáveis.

A exigência de rastreabilidade integral da cadeia produtiva impôs reorganização contratual e tecnológica às empresas exportadoras. A comprovação da origem da matéria-prima passou a depender de sistemas informatizados de controle e auditoria documental, que devem ser compatíveis com padrões exigidos por importadores europeus (Cosimo *et al*., 2024). A ausência de documentação adequada pode resultar em bloqueio de cargas ou restrição de acesso ao mercado.

A dimensão extraterritorial do regulamento europeu representa um dos principais desafios jurídicos identificados na literatura. Moura, Lerin e Santos (2023) explicaram que normas adotadas pela União Europeia produzem efeitos indiretos sobre países exportadores, ao condicionarem a comercialização de produtos ao cumprimento de requisitos ambientais externos. O impacto jurídico manifesta-se na necessidade de adequação interna para evitar sanções comerciais.

A harmonização entre legislação brasileira e exigências europeias revelou zonas de tensão regulatória. Divergências quanto a critérios de comprovação de legalidade e parâmetros de desmatamento ampliaram o risco de interpretações distintas sobre conformidade ambiental (Cezar; Lima; Ramos, 2025). Empresas passaram a enfrentar cenário em que o atendimento à norma nacional não garante, por si só, aceitação no mercado europeu.

O cumprimento das novas exigências regulatórias demanda investimentos significativos em tecnologia de rastreabilidade, auditorias ambientais e capacitação técnica. Zhang *et al*. (2022) indicaram que certificações ambientais podem influenciar margens de exportação, mas os ganhos comerciais dependem da capacidade estrutural do exportador em absorver custos iniciais de adequação. O impacto econômico assume dimensão jurídica quando falhas documentais implicam responsabilização contratual.

A certificação FSC passou a desempenhar papel auxiliar na estratégia de conformidade, ao oferecer estrutura prévia de auditoria e cadeia de custódia reconhecida internacionalmente. Fagundes *et al*. (2024) destacaram que a certificação facilita comprovação de origem sustentável, embora não substitua integralmente as exigências do regulamento europeu. O selo atua como mecanismo complementar de redução de risco regulatório.

A redefinição das estratégias empresariais decorre da ampliação da responsabilidade jurídica ao longo da cadeia produtiva. Bösch (2025) observou que contextos institucionais com maior capacidade regulatória apresentam melhor adaptação às exigências internacionais. No caso brasileiro, diferenças regionais e estruturais influenciam a velocidade de adequação às novas obrigações ambientais.

O regulamento europeu também repercute na estrutura contratual entre produtores, fornecedores e compradores internacionais. Cláusulas de due diligence passaram a exigir comprovação detalhada de legalidade e sustentabilidade, ampliando deveres de informação e responsabilidade civil (Moura; Lerin; Santos, 2023). A eventual inconsistência de dados pode gerar sanções comerciais e prejuízos reputacionais.

A literatura identificou que a incorporação de padrões ambientais externos redefine padrões de competitividade no comércio internacional. Verhaeghe e Suominen (2024) interpretaram o regulamento europeu como instrumento de integração entre política ambiental e política comercial. O acesso ao mercado europeu passou a depender do alinhamento estrutural às exigências ambientais transnacionais.

O setor de celulose brasileiro enfrenta necessidade de reorganização institucional para assegurar conformidade contínua. Ramos e Lima (2024) apontaram que ajustes administrativos e normativos internos foram discutidos como resposta às exigências europeias. A adaptação envolve integração entre órgãos reguladores, empresas e mecanismos de certificação.

A articulação entre certificações voluntárias e regulamentações obrigatórias passou a compor estratégia central de mitigação de riscos comerciais. Cosimo *et al*. (2024) destacaram que padrões voluntários podem reduzir lacunas de conformidade, desde que integrados a sistemas formais de controle exigidos por autoridades europeias. A complementaridade entre instrumentos privados e normas públicas tornou-se elemento estratégico.

Os desafios jurídicos enfrentados pelos exportadores brasileiros decorrem, portanto, da combinação entre extraterritorialidade normativa, custos de adequação e complexidade documental. Cezar, Lima e Ramos (2025) ressaltaram que impactos estruturais atingem não apenas empresas individuais, mas toda a organização produtiva do setor. A conformidade ambiental converteu-se em requisito jurídico permanente para manutenção do acesso a mercados internacionais.

4. ANALISE DE JURISPRUDÊNCIA

As três jurisprudências analisadas foram proferidas pelo Supremo Tribunal Federal e abordaram temas centrais da tutela ambiental no ordenamento jurídico brasileiro. A prescrição em ações de reparação por exploração irregular de recursos naturais foi discutida em dois julgados, enquanto o controle jurisdicional de políticas públicas climáticas foi enfrentado na ADPF 708. Os acórdãos demonstraram consolidação de entendimentos vinculantes sobre responsabilidade ambiental e deveres estatais de proteção climática. A atuação do STF evidenciou fortalecimento da dimensão constitucional do meio ambiente como direito fundamental e vetor estruturante da atividade econômica.

Tabela 1 – Jurisprudências analisadas

Nº do Processo	Data do Julgamento	Resultado	Local do Julgamento
ARE 1.333.352 SC	12 maio 2023	Provido para afastar prescrição e reconhecer natureza ambiental do dano	STF
RE 1.352.874 RS	22 nov. 2022	Agravo não provido, mantida prescritibilidade com fundamento no Tema 666	STF
ADPF 708 DF	01 jul. 2022	Julgado procedente para determinar reativação do Fundo Clima	STF

Fonte: Autora (2026).

4.1 IMPRESCRITIBILIDADE DA REPARAÇÃO CIVIL POR DANO AMBIENTAL NA EXTRAÇÃO IRREGULAR DE MINERAL ARE 1.333.352 SC STF

A decisão proferida no Agravo Regimental no Recurso Extraordinário com Agravo 1.333.352, oriundo de Santa Catarina, enfrentou controvérsia relevante acerca da natureza jurídica da pretensão de ressarcimento decorrente de extração irregular de mineral. A controvérsia central residiu na definição entre dano meramente patrimonial ao erário e dano ambiental propriamente dito, com repercussões diretas sobre a incidência ou não da prescrição. A Primeira Turma do Supremo Tribunal Federal consolidou entendimento no sentido de que a extração irregular de recurso mineral configura dano ambiental, atraindo a tese da imprescritibilidade firmada no Tema 999 da repercussão geral.

O Tribunal de origem havia reconhecido a aplicação do prazo prescricional quinquenal, sob o argumento de que a pretensão da União possuía natureza

essencialmente patrimonial, relacionada à usurpação de bem pertencente à União. Contudo, o Supremo Tribunal Federal reformou tal compreensão ao afirmar que a retirada ilegal de mineral não se limita à dimensão econômica, mas repercute diretamente sobre o equilíbrio ecológico. A extração de 368.044 toneladas de argila foi compreendida como intervenção irreversível no meio ambiente, o que deslocou o debate para a esfera constitucional de proteção ambiental.

Esse entendimento dialoga diretamente com o objetivo da presente pesquisa, que analisou o impacto de instrumentos ambientais no comércio exterior e os desafios jurídicos impostos aos agentes econômicos. Ao afirmar que a reparação civil por dano ambiental é imprescritível, o Supremo Tribunal Federal reforçou a centralidade do meio ambiente como direito fundamental indisponível. Tal diretriz amplia o grau de responsabilidade jurídica incidente sobre atividades produtivas que envolvem exploração de recursos naturais, inclusive aquelas inseridas em cadeias globais de valor.

A decisão também evidencia a superação da dicotomia entre dano ambiental e dano patrimonial. Conforme destacou o Ministro Dias Toffoli no julgamento, a extração irregular de recursos minerais importa não apenas em dano ao erário, mas principalmente em dano ao meio ambiente. Essa leitura amplia o espectro de incidência da responsabilidade civil ambiental e fortalece o paradigma constitucional de tutela ecológica. A perspectiva adotada pelo STF converge com a compreensão de Verhaeghe e Suominen (2024), segundo a qual normas ambientais assumem função estruturante no ordenamento jurídico e influenciam práticas econômicas transnacionais.

No contexto do comércio internacional, a consolidação da imprescritibilidade reforça a ideia de que padrões ambientais não constituem meros requisitos formais, mas verdadeiros condicionantes estruturais de legitimidade produtiva. Cezar, Lima e Ramos (2025) destacaram que o Regulamento da União Europeia sobre Produtos Livres de Desmatamento redefine padrões de inserção comercial ao exigir comprovação robusta de legalidade e sustentabilidade. A jurisprudência analisada fortalece essa lógica ao afirmar que a exploração irregular de recursos naturais permanece sujeita à responsabilização indefinida no tempo.

A correlação com a certificação FSC também se mostra evidente. Fagundes et al. (2024) apontaram que a certificação atua como mecanismo de internalização de critérios ambientais e de mitigação de riscos jurídicos. A decisão do STF demonstra

que a ausência de conformidade ambiental pode gerar passivos imprescritíveis, elevando o custo jurídico da não observância de padrões sustentáveis. Assim, instrumentos privados de certificação passam a desempenhar função estratégica na prevenção de litígios e na demonstração de diligência ambiental.

Sob a perspectiva econômica, Zhang et al. (2022) evidenciaram que a conformidade ambiental influencia margens de exportação e acesso a mercados exigentes. A jurisprudência em análise reforça que a extração irregular não apenas compromete o equilíbrio ecológico, mas também expõe empresas a riscos jurídicos permanentes. Em cadeias produtivas voltadas ao comércio exterior, tal cenário intensifica a necessidade de governança ambiental robusta e rastreabilidade documental.

A decisão também dialoga com a análise de Ramos e Lima (2024) acerca da necessidade de adaptação normativa interna diante de exigências ambientais crescentes. A consolidação da imprescritibilidade sinaliza que o ordenamento jurídico brasileiro converge com padrões internacionais de responsabilização ambiental. Esse alinhamento fortalece a credibilidade do país em negociações comerciais, mas impõe às empresas exportadoras desafios significativos de conformidade contínua.

Dessa forma, a decisão do ARE 1.333.352 não apenas resolve controvérsia processual específica, mas consolida paradigma jurídico que impacta diretamente a estrutura produtiva e comercial brasileira. A imprescritibilidade da reparação civil por dano ambiental amplia a densidade normativa da proteção ecológica e reforça a necessidade de adoção de instrumentos preventivos, como certificações e sistemas de rastreabilidade, que sustentam a inserção qualificada do Brasil no comércio internacional.

4.2IMPRESCRITIBILIDADE DA REPARAÇÃO CIVIL POR DANO AMBIENTAL NA EXTRAÇÃO IRREGULAR DE RECURSO MINERAL RE 1.352.874 RS STF

A controvérsia apreciada no RE 1.352.874 RS envolveu a definição acerca da incidência da prescrição em ação civil pública proposta pela União para ressarcimento decorrente de extração irregular de areia em leito de rio. O Tribunal Regional Federal da Quarta Região havia reconhecido a prescrição quinquenal sob o fundamento de que a pretensão possuía natureza patrimonial. A Primeira Turma do Supremo Tribunal

Federal, por maioria, afastou tal entendimento ao reconhecer a natureza ambiental do dano e aplicar a tese fixada no Tema 999 da repercussão geral.

A distinção entre ilícito civil patrimonial e dano ambiental foi o núcleo decisório do julgamento. O voto condutor afirmou que a extração clandestina de recurso mineral não produz apenas prejuízo financeiro ao erário, mas provoca lesão direta ao ecossistema, com efeitos potencialmente irreversíveis. Dessa forma, a pretensão reparatória foi enquadrada como tutela de direito fundamental ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, cuja reparação é imprescritível.

Esse entendimento apresenta relação direta com o objetivo desta pesquisa, que analisou o impacto de exigências ambientais no comércio exterior e os desafios jurídicos impostos aos exportadores brasileiros. A consolidação da imprescritibilidade amplia o horizonte de responsabilização das atividades econômicas que exploram recursos naturais, inserindo elemento permanente de risco jurídico nas cadeias produtivas. A governança ambiental deixa de ser mera opção estratégica e passa a constituir exigência estrutural de conformidade normativa.

A decisão também reforça a compreensão de que o meio ambiente é patrimônio comum da coletividade e direito fundamental indisponível. Ramos e Lima (2024) sustentaram que a constitucionalização da proteção ambiental impôs releitura das categorias tradicionais de responsabilidade civil. A jurisprudência analisada confirma essa transformação ao priorizar princípios de preservação e reparação ambiental em detrimento de argumentos fundados exclusivamente na segurança jurídica do infrator.

No âmbito do comércio internacional, a decisão dialoga com a crescente incorporação de cláusulas ambientais nas trocas comerciais. Verhaeghe e Suominen (2024) afirmaram que regulações ambientais moldam fluxos comerciais e redefinem padrões de competitividade. A imprescritibilidade da reparação por dano ambiental reforça essa tendência ao elevar o custo da não conformidade e estimular práticas produtivas alinhadas a critérios de sustentabilidade reconhecidos globalmente.

A relação com a certificação FSC revela pertinência especial. Fagundes et al. (2024) destacaram que mecanismos de certificação funcionam como instrumentos de mitigação de riscos regulatórios e reputacionais. A jurisprudência do RE 1.352.874 RS demonstra que a exploração irregular de recursos naturais pode gerar passivos jurídicos ilimitados no tempo. Diante desse cenário, certificações ambientais passam

a operar como elementos de prova de diligência e de comprometimento com padrões legais e internacionais.

Sob perspectiva econômica, Zhang et al. (2022) evidenciaram que padrões ambientais influenciam acesso a mercados exigentes e margens de exportação. A decisão do STF projeta efeitos relevantes sobre empresas que integram cadeias globais baseadas em recursos naturais. A responsabilização imprescritível impõe internalização de custos ambientais e estimula adoção de sistemas robustos de rastreabilidade e controle de origem de matérias primas.

A divergência instaurada entre os ministros também revela amadurecimento institucional na proteção ambiental. O entendimento vencedor afastou a aplicação do Tema 666, reservado a ilícitos civis patrimoniais, e aplicou o Tema 999, reconhecendo a centralidade do dano ambiental. Essa orientação fortalece coerência jurisprudencial e sinaliza compromisso do Supremo Tribunal Federal com a efetividade do artigo 225 da Constituição Federal.

No contexto específico do comércio exterior brasileiro, a decisão contribui para reforçar credibilidade ambiental do país perante parceiros internacionais. Cezar, Lima e Ramos (2025) apontaram que exigências ambientais estrangeiras pressionam ordenamentos internos a adotar padrões mais rigorosos de controle e responsabilização. A consolidação da imprescritibilidade demonstra alinhamento com expectativas globais de sustentabilidade e pode influenciar positivamente negociações comerciais.

Assim, o RE 1.352.874 RS ultrapassa dimensão processual e consolida paradigma de responsabilidade ambiental ampliada. A extração irregular de recurso mineral foi reconhecida como lesão que transcende interesse patrimonial da União e atinge a coletividade. A decisão reafirma que a exploração econômica de recursos naturais deve observar parâmetros rigorosos de legalidade e sustentabilidade, sob pena de responsabilização permanente. Tal orientação fortalece a integração entre tutela ambiental, segurança jurídica qualificada e competitividade no comércio internacional.

4.3 CONTROLE JURISDICIONAL DE POLÍTICAS CLIMÁTICAS E OBRIGATORIEDADE DE FUNCIONAMENTO DO FUNDO CLIMA ADPF 708 DF STF

A ADPF 708 foi proposta pelo Partido Socialista Brasileiro, Partido Socialismo e Liberdade, Partido dos Trabalhadores e Rede Sustentabilidade, com o objetivo de compelir a União a adotar medidas necessárias para reativar o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima e assegurar a aplicação dos recursos autorizados na lei orçamentária. O Supremo Tribunal Federal reconheceu que a paralisação do Fundo Clima compromete dever constitucional de proteção ambiental e viola compromissos internacionais assumidos pelo Brasil.

O voto condutor destacou que o meio ambiente ecologicamente equilibrado constitui direito fundamental previsto no artigo 225 da Constituição Federal e impõe deveres concretos ao Estado. A omissão administrativa foi reconhecida como incompatível com a ordem constitucional, pois políticas públicas ambientais não se inserem em esfera de discricionariedade ilimitada. O Tribunal afirmou que não há liberdade administrativa para ignorar compromissos climáticos.

A decisão também registrou que o Estado brasileiro aderiu ao Princípio da Precaução ao assinar a Declaração do Rio, conforme precedente do RE 835.558 (Rel. Min. Luiz Fux, Pleno, DJe 07.08.2017), reforçando o caráter vinculante das obrigações ambientais assumidas internacionalmente. O Supremo Tribunal Federal reconheceu que mudanças climáticas afetam diretamente direitos humanos e demandam atuação judicial diante de omissões estatais.

No contexto da presente pesquisa, que analisa os impactos de exigências ambientais no comércio exterior e os desafios jurídicos para exportadores brasileiros, a ADPF 708 assume relevância estratégica. A decisão consolida entendimento de que compromissos ambientais não são meramente programáticos, mas juridicamente exigíveis. A obrigatoriedade de funcionamento do Fundo Clima demonstra que a política ambiental integra núcleo estruturante do modelo de desenvolvimento econômico.

A jurisprudência reforça que sustentabilidade deixou de ser diretriz retórica e passou a constituir requisito normativo de validade das políticas públicas. Ramos e Lima (2024) sustentam que a constitucionalização do direito ambiental redefiniu os limites da atuação estatal e ampliou a exigibilidade judicial de políticas ambientais. A ADPF 708 confirma essa perspectiva ao reconhecer a inconstitucionalidade de omissões que fragilizem instrumentos de mitigação climática.

No plano internacional, Verhaeghe e Suominen (2024) apontam que normas ambientais influenciam fluxos comerciais e moldam cadeias globais de valor. A

decisão do STF fortalece a imagem institucional do Brasil ao afirmar compromisso jurídico com metas climáticas. Tal posicionamento impacta diretamente a competitividade de exportadores brasileiros, sobretudo em mercados que exigem comprovação de responsabilidade ambiental.

A relação com certificações ambientais, como o selo FSC, também se torna evidente. Fagundes et al. (2024) defendem que mecanismos privados de certificação funcionam como instrumentos de governança ambiental capazes de mitigar riscos regulatórios e reputacionais. Quando o Supremo Tribunal Federal impõe à União o dever de operacionalizar políticas climáticas, reforça-se ambiente normativo que valoriza conformidade ambiental como diferencial competitivo.

Zhang et al. (2022) demonstram que padrões ambientais afetam margens de exportação e acesso a mercados exigentes. A ADPF 708 contribui para consolidação de arcabouço institucional que internaliza custos ambientais e incentiva práticas sustentáveis nas cadeias produtivas. Exportadores brasileiros passam a operar sob cenário de maior previsibilidade normativa quanto à centralidade da agenda climática.

A decisão também reconheceu que dados científicos do IPCC evidenciam urgência de medidas para conter aquecimento global e desmatamento. Ao mencionar aumento da temperatura média global e vulnerabilidade de populações, o STF incorporou fundamentação técnico-científica à argumentação jurídica. Esse movimento reforça diálogo entre ciência, direito e economia.

Por fim, a ADPF 708 representa marco no controle jurisdicional de políticas públicas ambientais. O Supremo Tribunal Federal afirmou que deveres estatais de proteção climática derivam diretamente da Constituição e de tratados internacionais. A omissão administrativa foi declarada incompatível com a ordem constitucional, e o funcionamento do Fundo Clima foi reconhecido como instrumento essencial para cumprimento das obrigações ambientais do Estado brasileiro.

Essa jurisprudência consolida paradigma segundo o qual desenvolvimento econômico e proteção ambiental não se opõem, mas se condicionam mutuamente. No âmbito do comércio exterior, a decisão sinaliza que competitividade sustentável exige conformidade normativa interna e alinhamento com compromissos climáticos globais. O STF, ao afirmar a obrigatoriedade de políticas climáticas efetivas, reforça segurança jurídica ambiental e contribui para inserção internacional responsável do Brasil.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A sistematização dos estudos selecionados permitiu a identificação de diferentes abordagens sobre a certificação FSC e sua relação com comércio internacional, sustentabilidade e regulação ambiental. A Tabela 1 apresenta os trabalhos analisados, seus objetivos e respectivos anos de publicação, permitindo visualizar a diversidade metodológica e temática que fundamentou a discussão desenvolvida nesta pesquisa.

Tabela 1- Resultados da Pesquisa

Nome do(s) Autor(es)	Objetivo do Estudo	Título da Obra	Ano
Bösch, Mathias	Analisar os fatores que explicam a adoção desigual da certificação florestal em nível global por meio de dados em painel.	O que explica a adoção desigual da certificação florestal em nível global? Novas evidências de uma análise com dados em painel	2025
Boubacar, Inoussa; Sissoko, Yaya	Examinar o papel da certificação FSC na gestão florestal sustentável e no comércio de produtos madeireiros em diferentes contextos econômicos e climáticos.	Sustainable forest management through certification and wood products trade: Analyzing the role of the FSC across diverse economic and climatic contexts	2025
Cezar, Rodrigo Fagundes; Lima, Rayssa Yuki Murakami; Ramos, Claudia Azevedo	Avaliar os efeitos esperados do Regulamento da União Europeia sobre Produtos Livres de Desmatamento no Brasil, com base em lições do setor madeireiro.	Efeitos esperados no Brasil do Regulamento da União Europeia sobre Produtos Livres de Desmatamento: lições do setor madeireiro	2025
Cosimo, Luiz Henrique Elias *et al*.	Analisar lacunas existentes entre padrões voluntários de sustentabilidade e o novo regulamento europeu sobre produtos livres de desmatamento.	Padrões voluntários de sustentabilidade para lidar com o novo regulamento da União Europeia sobre produtos livres de desmatamento: uma análise de lacunas	2024
Fagundes, Camila *et al*.	Realizar uma revisão sistemática sobre gestão florestal e certificação FSC, identificando seus impactos na sustentabilidade e no comércio internacional.	Gestão florestal e certificação FSC: uma revisão sistemática	2024
Kadam, Parag; Dwivedi, Puneet	Investigar as relações entre a certificação FSC e os resultados de biodiversidade em nível global.	Exploring the Links Between Forest Stewardship Council Certification and Biodiversity Outcomes at a Global Level.	2025
Moura, Aline Beltrame; Lerin, Carla; Santos, Betina Machado	Examinar os impactos extraterritoriais do Regulamento da União Europeia sobre produtos associados ao desmatamento e à degradação florestal.	Impactos extraterritoriais do Regulamento (EU) 2023/1115: a proibição da comercialização de matérias-primas e produtos associados ao desmatamento e à degradação florestal	2023
Ramos, Claudia Azevedo; Lima,	Analisar as reações do Brasil ao regulamento europeu de produtos livres de desmatamento,	Reações mistas do Brasil ao regulamento europeu de produtos livres de desmatamento:	2024

Rayssa Yuki Murakami	considerando custos de conformidade e políticas ambientais.	equilibrando custos de conformidade e a urgência de enfrentar o desmatamento	
Verhaeghe, Elke; Suominen, Sabaheta Ramcilovic	Avaliar o potencial transformador do regulamento da União Europeia sobre produtos livres de desmatamento sob a perspectiva de mudança estrutural.	Transformação ou mais do mesmo? O regulamento da UE sobre produtos livres de desmatamento sob uma ótica de transformação radical	2024
Yamamoto, Yuki; Matsumoto, Ken'ichi	Investigar o impacto da certificação florestal na conservação ambiental e no manejo florestal sustentável.	The effect of forest certification on conservation and sustainable forest management	2022
Zhang, Jinzhu *et al*.	Analisar o impacto da certificação florestal nas margens de exportação de produtos florestais da China.	The Impact of Forest Certification on the Ternary Margins of China's Forest Product Export	2022
Zwerts, Joeri A. *et al*.	Avaliar a viabilidade e a efetividade da certificação florestal na proteção global de paisagens florestais intactas.	Feasibility and effectiveness of global intact forest landscape protection through forest certification: the conservation burden of intact forest landscapes	2024

Fonte: A Autora (2026).

A análise dos estudos revelou que a certificação FSC exerce influência diferenciada conforme o contexto econômico e institucional. Yamamoto e Matsumoto (2022) indicaram que os efeitos positivos sobre conservação ambiental dependem da governança local e da capacidade de monitoramento. Os resultados apontaram redução de taxas de desmatamento em áreas certificadas quando comparadas a áreas não certificadas, porém com variações regionais significativas. Dessa forma, o impacto ambiental não decorre apenas da certificação em si, mas da interação entre auditoria independente, critérios técnicos rigorosos e fiscalização efetiva.

No campo da biodiversidade, Kadam e Dwivedi (2025) identificaram correlação positiva entre certificação e indicadores de conservação em determinados biomas, embora tenham ressaltado limitações metodológicas e lacunas de dados globais. Zwerts *et al*. (2024) adotaram postura mais cautelosa ao analisar paisagens florestais intactas, destacando que a certificação possui alcance limitado em áreas de alta pressão econômica. O mecanismo causal identificado nesses estudos relaciona-se à exigência de planos de manejo e à restrição de exploração em áreas sensíveis, mas não garante proteção absoluta.

No âmbito econômico, Zhang *et al*. (2022) demonstraram que a certificação influencia as margens de exportação ao ampliar acesso a mercados que exigem comprovação de sustentabilidade. O efeito ocorre por meio da redução de barreiras técnicas à entrada e pela preferência de compradores institucionais por produtos

certificados. O estudo evidenciou que ganhos comerciais são condicionados à estrutura produtiva e ao grau de inserção internacional do país exportador.

A adoção desigual da certificação foi analisada por Bösch (2025), que identificou fatores estruturais como renda per capita, qualidade institucional e integração comercial como determinantes para a expansão de áreas certificadas. O mecanismo explicativo apresentado indica que países com maior capacidade regulatória e acesso a financiamento apresentam condições mais favoráveis para absorver custos de certificação. Essa constatação relativiza a ideia de universalização automática dos padrões ambientais globais.

No plano regulatório, Cosimo *et al*. (2024) analisaram a interação entre padrões voluntários e o Regulamento da União Europeia sobre Produtos Livres de Desmatamento. Os autores demonstraram que a certificação FSC não substitui as exigências legais do regulamento europeu, mas pode reduzir lacunas de conformidade ao oferecer sistemas prévios de rastreabilidade e auditoria. O mecanismo causal reside na estrutura de cadeia de custódia, que facilita comprovação documental exigida por importadores.

Os impactos extraterritoriais do regulamento europeu foram examinados por Moura, Lerin e Santos (2023), que evidenciaram a ampliação das obrigações de due diligence para empresas situadas fora da União Europeia. A exigência de comprovação georreferenciada da origem da matéria-prima alterou práticas contratuais e aumentou responsabilidade jurídica na cadeia produtiva. Ramos e Lima (2024) identificaram reações institucionais no Brasil, marcadas por preocupação com custos de adequação e necessidade de ajustes normativos internos.

Cezar, Lima e Ramos (2025) aprofundaram essa análise ao indicar possíveis impactos estruturais no setor madeireiro brasileiro, como reconfiguração de fornecedores e intensificação de controles internos. Verhaeghe e Suominen (2024) interpretaram o regulamento europeu como instrumento de transformação do comércio internacional ao integrar política ambiental e política comercial. O efeito sistêmico identificado refere-se à internalização de padrões ambientais externos na estrutura produtiva dos países exportadores.

Fagundes *et al*. (2024) sintetizaram evidências sobre gestão florestal certificada e destacaram que ganhos de credibilidade internacional decorrem da combinação entre auditoria independente, transparência documental e adesão a padrões socialmente reconhecidos. A certificação atua como mecanismo sinalizador

de conformidade ambiental, reduzindo assimetria informacional entre exportadores e importadores.

A discussão dos resultados indica que a certificação FSC não opera como garantia automática de sustentabilidade, mas como instrumento regulatório híbrido que articula mercado, auditoria privada e exigências públicas. Os impactos econômicos e jurídicos identificados decorrem da interação entre padrões voluntários e regulações estatais, especialmente quando requisitos ambientais passam a condicionar acesso a mercados estratégicos. A certificação assume, nesse contexto, função de mecanismo de adaptação normativa diante da intensificação de barreiras ambientais no comércio internacional.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A investigação partiu da seguinte indagação: quais desafios jurídicos são enfrentados pelos exportadores brasileiros diante da exigência da certificação FSC no comércio exterior. A análise demonstrou que tais desafios decorrem da crescente incorporação de critérios ambientais como condicionantes de acesso a mercados internacionais, especialmente quando normas privadas e regulamentações estatais passam a operar de forma integrada.

A certificação FSC foi examinada não apenas como instrumento ambiental, mas como mecanismo regulatório que influencia práticas comerciais e estruturas produtivas. O estudo evidenciou que o selo atua como elemento de sinalização de conformidade, reduz assimetrias informacionais e amplia a previsibilidade nas relações contratuais internacionais, especialmente em mercados com elevado rigor socioambiental.

Os resultados indicaram que a principal complexidade jurídica enfrentada pelos exportadores brasileiros reside na necessidade de harmonização entre legislação nacional e exigências internacionais. A extraterritorialidade normativa, exemplificada pelo Regulamento da União Europeia sobre Produtos Livres de Desmatamento, impôs obrigações de diligência, rastreabilidade e comprovação documental que ultrapassam o cumprimento formal da legislação interna.

Verificou-se que a adaptação às novas exigências ambientais demandou reorganização institucional, investimentos tecnológicos e fortalecimento de mecanismos de compliance ambiental. A permanência competitiva no mercado

internacional passou a depender da capacidade das empresas em integrar certificação, auditoria e governança corporativa em suas estratégias comerciais.

Os objetivos propostos foram alcançados na medida em que o impacto da certificação FSC sobre o comércio exterior foi analisado sob perspectiva jurídica e econômica, e os principais desafios enfrentados pelos exportadores brasileiros foram identificados e contextualizados. A relação entre certificação ambiental, barreiras não tarifárias e competitividade internacional foi demonstrada com base na literatura especializada recente.

A análise evidenciou que a certificação FSC não substitui a regulação estatal, mas atua como instrumento complementar que facilita a adaptação a padrões ambientais internacionais. O fortalecimento da governança ambiental corporativa mostrou-se elemento estratégico para reduzir riscos regulatórios e preservar acesso a mercados exigentes, sobretudo no setor de celulose.

Como agenda futura de pesquisa, recomenda-se a realização de estudos empíricos voltados à mensuração dos custos reais de adequação às exigências europeias, bem como análises comparativas entre o Brasil e outros países exportadores de produtos florestais. Investigações sobre decisões judiciais relacionadas à certificação ambiental e comércio exterior também podem ampliar a compreensão dos impactos jurídicos desse cenário regulatório em transformação.

REFERÊNCIAS

BÖSCH, Mathias. O que explica a adoção desigual da certificação florestal em nível global? Novas evidências de uma análise com dados em painel. **World Development**. 2025. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305750X24003619. Acesso em: mar. 2026.

BOUBACAR, Inoussa.; SISSOKO, Yaya. Sustainable forest management through certification and wood products trade: Analyzing the role of the FSC across diverse economic and climatic contexts. **Journal of Cleaner Production**. 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.145786. Acesso em: mar. 2026.

BRASIL. Supremo Tribunal Federal. **Agravo Regimental no Recurso Extraordinário com Agravo** 1.333.352 Santa Catarina. Relatora Min. Cármen Lúcia. Primeira Turma. Julgado em 12 maio 2023. Diário da Justiça Eletrônico Brasília 15 maio 2023. Disponível em https://www.stf.jus.br. Acesso em 14 maio 2026.

BRASIL. Supremo Tribunal Federal. **Agravo Regimental no Recurso Extraordinário 1.352.874** Rio Grande do Sul. Relator Min. Luiz Fux. Redator do acórdão Min. Alexandre de Moraes. Primeira Turma. Julgado em 12 maio 2023. Diário da Justiça Eletrônico Brasília 15 maio 2023. Disponível em https://www.stf.jus.br. Acesso em 14 maio 2026.

BRASIL. Supremo Tribunal Federal. **Arguição de Descumprimento de Preceito Fundamental 708 Distrito Federal**. Relator: Min. Luís Roberto Barroso. Plenário. Julgado em 01 jul. 2022. Diário da Justiça Eletrônico Brasília, 22 ago. 2022. Disponível em: https://www.stf.jus.br. Acesso em: 14 maio 2026.

CEZAR, Rodrigo Fagundes, LIMA, Rayssa Yuki Murakami; RAMOS, Claudia Azevedo. Efeitos esperados no Brasil do Regulamento da União Europeia sobre Produtos Livres de Desmatamento: lições do setor madeireiro. **CEBRI-Revista: Brazilian Journal of International Affairs**. 2025. Disponível em: https://cebri-revista.emnuvens.com.br/revista/article/view/181. Acesso em: mar. 2026.

COSIMO, Luiz Henrique Elias *et al*. Padrões voluntários de sustentabilidade para lidar com o novo regulamento da União Europeia sobre produtos livres de desmatamento: uma análise de lacunas. **Forest Policy and Economics**. 2024. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389934124000893. Acesso em: mar. 2026.

FAGUNDES, Camila *et al*. Gestão florestal e certificação FSC: uma revisão sistemática. **Revista de Administração da UFSM**. 2024. Disponível em: https://periodicos.ufsm.br/reaufsm/article/view/73947. Acesso em: mar. 2026.

KADAM, Parag.; DWIVEDI, Puneet. Exploring the Links Between *Forest Stewardship Council* Certification and Biodiversity Outcomes at a Global Level. **MDPI.** 2025. Disponível em: https://doi.org/10.3390/land14010130. Acesso em: mar. 2026.

LIMA, Telma Cristiane Sasso; MIOTO, Regina Célia Tamaso. Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. **Revista Katálysis**, Florianópolis, v. 10, n. esp., p. 37-45, 2007. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/katalysis/article/view/1030. Acesso em: mar. 2026.

MOURA, Aline Beltrame; LERIN, Carla; SANTOS, Betina Machado. Impactos extraterritoriais do Regulamento (EU) 2023/1115: a proibição da comercialização de matérias primas e produtos associados ao desmatamento e à degradação florestal. **Revista de Ciências do Estado**. 2023. Disponível em: https://periodicos.ufmg.br/index.php/revice/article/download/e48034/e48034/178277. Acesso em: mar. 2026.

RAMOS, Claudia Azevedo; LIMA, Rayssa Yuki Murakami. Reações mistas do Brasil ao regulamento europeu de produtos livres de desmatamento: equilibrando custos de conformidade e a urgência de enfrentar o desmatamento. **One Earth**. 2024. Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590332224005384. Acesso em: mar. 2026.

VERHAEGHE, Elke; SUOMINEN, Sabaheta Ramcilovic. Transformação ou mais do mesmo? O regulamento da UE sobre produtos livres de desmatamento sob uma ótica de transformação radical. **Environmental Science & Policy**. 2024. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901124001412. Acesso em: mar. 2026.

YAMAMOTO, Yuki; MATSUMOTO, Ken'ichi. The effect of forest certification on conservation and sustainable forest management. **Journal of Cleaner Production**. 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132374 Acesso em: mar. 2026.

ZHANG, Jinzhu *et al*. The Impact of Forest Certification on the Ternary Margins of China's Forest Product Export. **Forests**. 2022. Disponível em: https://www.mdpi.com/1999-4907/13/8/1313 Acesso em: mar. 2026.

ZWERTS, Joeri. A. *et al*. Feasibility and effectiveness of global intact forest landscape protection through forest certification: the conservation burden of intact forest landscapes. **Frontiers in Forests and Global Change**. 2024. Disponível em: https://doi.org/10.3389/ffgc.2024.1335430. Acesso em: mar. 2026.

ROBÔ COLABORATIVO PARA SOLDAGEM: PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO COM MANUFATURA ADITIVA
COLLABORATIVE ROBOT FOR WELDING: DESIGN AND IMPLEMENTATION WITH ADDITIVE MANUFACTURING

Henrique de Oliveira Leite[1]
José Maria Pereira da Silva Junior[2]
Prof. Dr. Nasareno Das Neves[3]
Prof. Me. Samuel Mendes Franco[4]

RESUMO: O presente artigo apresenta a adaptação estrutural de um protótipo de braço robótico BCN3D Moveo para aplicações didáticas com características colaborativas voltadas à simulação de soldagem. O objetivo foi avaliar a viabilidade técnica de converter um robô produzido por manufatura aditiva em uma plataforma capaz de receber sensores HW-526 de captação angular e um porta-ferramentas para representação de tocha de solda. A metodologia incluiu identificação do protótipo, desmontagem, análise dos componentes mecânicos, modificação de peças estruturais e desenvolvimento de novos suportes por modelagem tridimensional e impressão 3D em PETG. As alterações permitiram padronizar o conjunto, adequar a estrutura e integrar sensores aos eixos do robô. Os resultados indicaram viabilidade técnica para uso educacional, ampliando o estudo de controle de movimento, robótica e manufatura aditiva. Conclui-se que a impressão 3D favorece soluções flexíveis e de baixo custo, servindo como base para futuras etapas de programação, controle e validação.
Palavras-chave: Adaptação Estrutural; Automação Industrial; Controle de Movimento; Ensino Tecnológico; Prototipagem; Sensoriamento Angular.

ABSTRACT: This article presents the structural adaptation of a BCN3D Moveo robotic arm prototype for educational applications with collaborative characteristics aimed at welding simulation. The objective was to evaluate the technical feasibility of converting a robot produced by additive manufacturing into a platform capable of receiving HW-526 angular sensing devices and a tool holder to represent a welding torch. The methodology included prototype identification, disassembly, analysis of mechanical components, modification of structural parts, and development of new supports through three-dimensional modeling and 3D printing using PETG. The changes made it possible to standardize the assembly, adapt the structure, and integrate sensors into the robot axes. The results indicated technical feasibility for educational use, expanding the study of motion control, robotics, and additive manufacturing. It is concluded that 3D printing favors flexible and low-cost solutions, serving as a basis for future stages of programming, control, and validation.
Keywords: Angular Sensing; Industrial Automation; Motion Control; Prototyping; Structural Adaptation; Technological Education.

Tecnologia em Manufatura Avançada – Faculdade de Tecnologia de Sorocaba - Fatec Sorocaba - E-mail: henrique.leite01@aluno.cps.sp.gov.br [1]
Especialista em Engenharia de Manutenção de Aeronaves - Faculdade de Tecnologia de Sorocaba - Fatec Sorocaba - E-mail: jose.silva16@cps.gov.br [2]
Doutor em Eng. Mecânica- Faculdade de Tecnologia de Sorocaba - Fatec Sorocaba - E-mail: nasareno.neves@cps.sp.gov.br [3]
Mestre em Eng. Mecânica - Faculdade de Tecnologia de Sorocaba - Fatec Sorocaba - E-mail: samuel.franco@cps.sp.gov.br. [4]

1 INTRODUÇÃO

A automação industrial tem experimentado avanços significativos, especialmente com a introdução dos robôs colaborativos, conhecidos como cobots. Diferentemente dos robôs industriais tradicionais, que normalmente operam de forma isolada, os cobots são desenvolvidos para atuar em ambientes compartilhados com operadores humanos, proporcionando maior flexibilidade e segurança nas operações. De acordo com Colgate *et al.* (1996), esses sistemas podem ser compreendidos como máquinas capazes de auxiliar a interação entre o operador e o robô por meio de restrições programáveis de movimento, permitindo maior controle durante a execução das atividades.

Além disso, a soldagem continua sendo um dos processos industriais mais importantes, principalmente no setor metalmecânico. Esse processo permite a união de materiais metálicos e contribui para a continuidade das propriedades físicas, químicas e metalúrgicas das peças soldadas. Conforme Modenesi e Marques (2011), a soldagem possui ampla aplicação na fabricação e recuperação de estruturas metálicas, sendo utilizada em diferentes setores produtivos. Entre os diversos processos existentes, destaca-se o GMAW (Gas Metal Arc Welding), amplamente empregado devido à sua versatilidade, possibilidade de automação e aplicação em diferentes contextos industriais.

A manufatura aditiva, também conhecida como impressão 3D, tem se consolidado como uma tecnologia de grande relevância, especialmente no desenvolvimento de componentes robóticos. Segundo Volpato (2017), esse processo ocorre por meio da adição sucessiva de material a partir de um modelo tridimensional digital, permitindo a fabricação de peças com geometrias complexas. Essa tecnologia favorece a prototipagem rápida, a customização de componentes e a adaptação de sistemas robóticos, aspectos importantes para o desenvolvimento de soluções voltadas à robótica colaborativa.

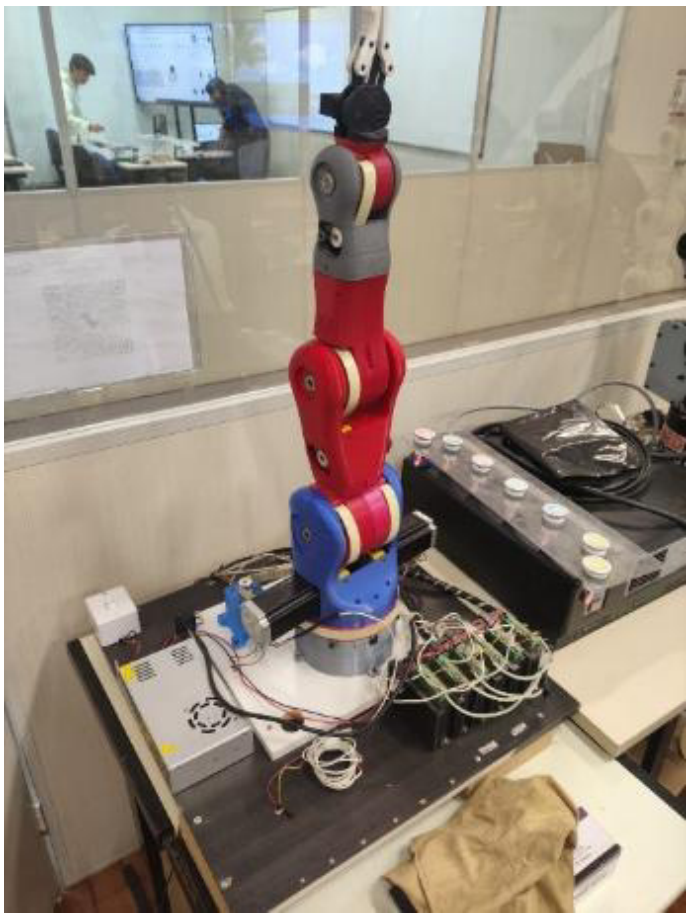
Nesse contexto, este artigo tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica da conversão de um protótipo de robô industrial didático em um sistema com características colaborativas voltado à simulação de soldagem, por meio da integração de sensores de captação angular e da realização de adaptações estruturais produzidas por manufatura aditiva.

2 METODOLOGIA

2.1 IDENTIFICAÇÃO

O procedimento inicial consistiu na seleção de um braço robótico existente no laboratório de robótica da Fatec Sorocaba, com a finalidade de utilizá-lo como base para a proposta de adaptação em um sistema com características colaborativas. O protótipo selecionado foi produzido por manufatura aditiva, apresentando peças com cores predominantes vermelha, azul e cinza conforme apresentado na figura 1. No entanto, não havia registros ou documentação técnica disponível sobre o projeto, o que tornou necessária a análise direta de sua estrutura, componentes e funcionamento mecânico.

Figura 1 – Braço robótico existente



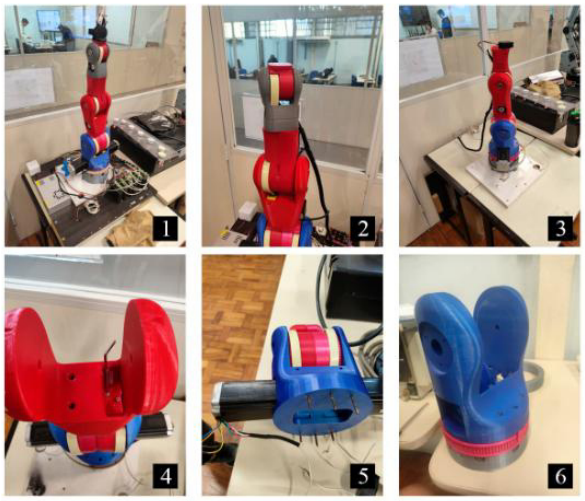
Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Após pesquisa, identificou-se que o braço robótico corresponde ao modelo BCN3D-MOVEO, um manipulador open source desenvolvido em impressão 3D pela BCN3D Technologies em parceria com a Generalitat de Catalunya (BCN3D Technologies, 2016).

2.2 DESMONTAGEM

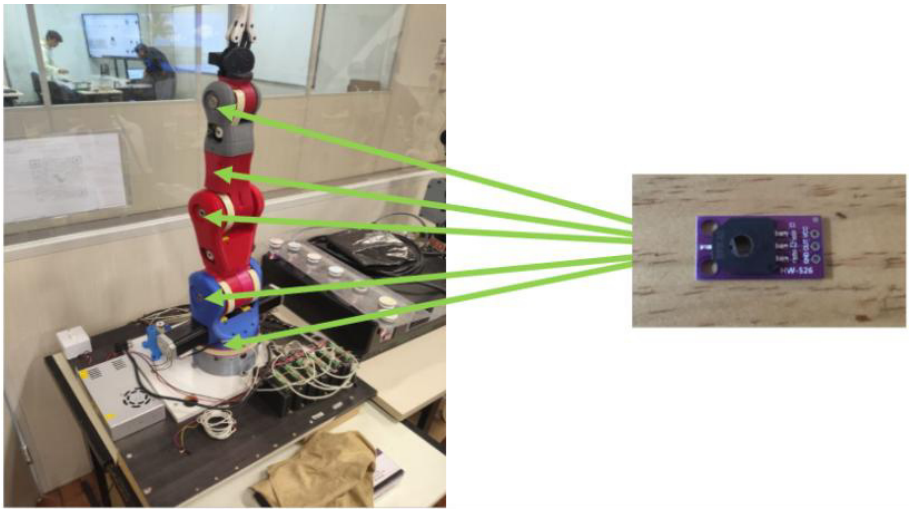
A desmontagem foi desenvolvida em etapas, conforme indicado na Figura 2, com o objetivo de identificar os componentes que precisariam ser modificados para permitir a integração dos sensores. Também foi avaliado o tipo de sensor mais adequado para tornar o modelo compatível com a proposta de aplicação em robótica colaborativa, conforme a indicação apresentada na Figura 3.

Figura 2 – Processo de desmontagem



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Figura 3 – HW-526 e indicação onde será implementado



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

2.3 MODIFICAÇÕES

Foram realizadas modificações nos desenhos originais das peças estruturais para possibilitar a implementação dos sensores HW-526.

A primeira peça afetada foi a base giratória, na qual foram abertos rasgos para a inserção de uma nova peça de suporte do sensor, conforme apresentado nas Figuras 4 e 10.

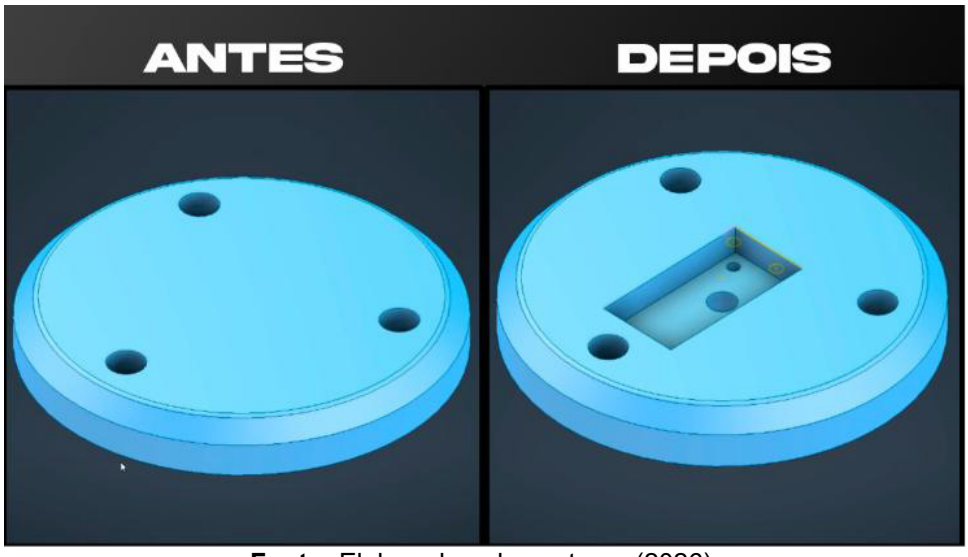
Figura 4 – Antes e depois das modificações da base giratória



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

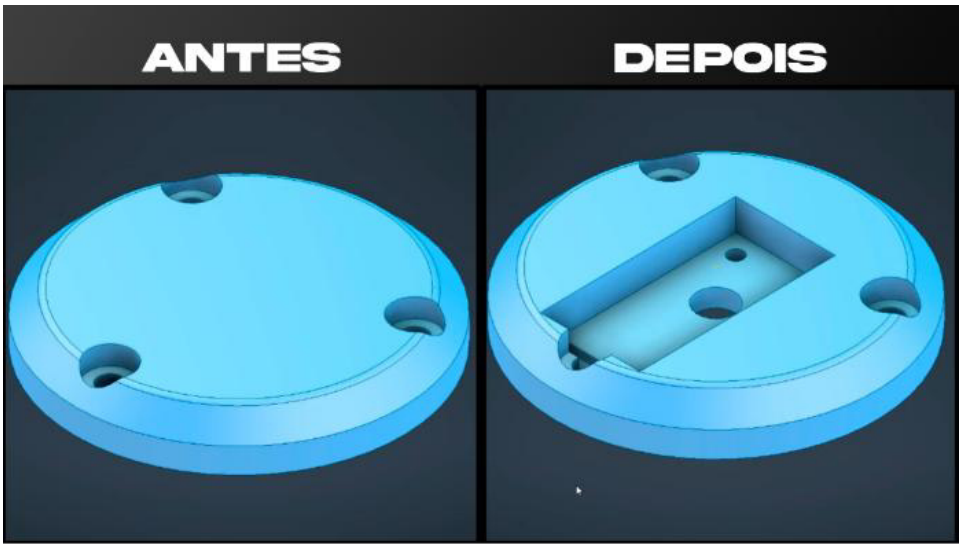
Nas tampas protetoras laterais dos eixos, foi necessário executar modificações em três modelos distintos: a proteção do ombro, a proteção do cotovelo e a proteção do punho, conforme apresentado nas Figuras 5, 6 e 7.

Figura 5 – Antes e depois das modificações da proteção do ombro



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Figura 6 – Antes e depois das modificações da proteção do cotovelo



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Figura 7 – Antes e depois das modificações da proteção do punho



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Também foram modificadas as peças que compõem o punho, denominadas peça A e peça B, para permitir o encaixe do sensor, conforme apresentado nas Figuras 8 e 9.

Figura 8 – Antes e depois das modificações da peça A do pulso



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Figura 9 – Antes e depois das modificações da peça B do pulso



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

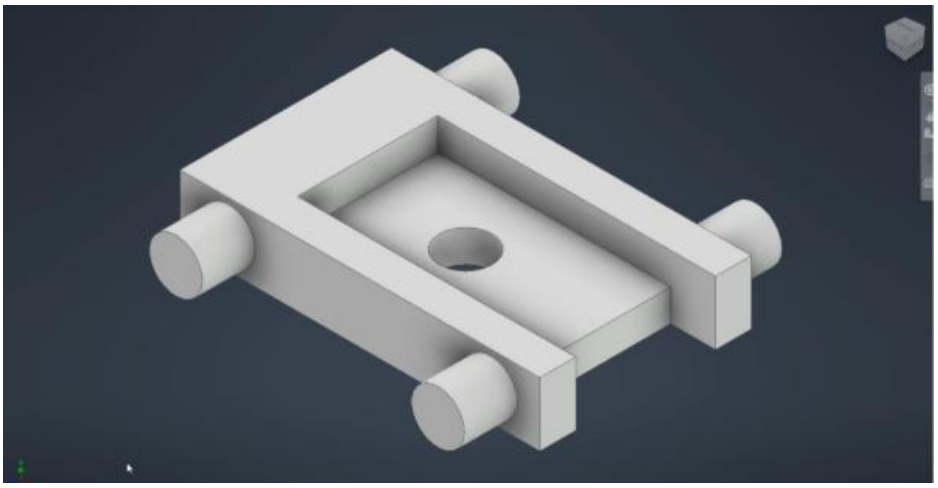
Além das modificações nas peças existentes, foram desenhados novos componentes para a instalação do sensor na base, do sensor no pulso e de um porta-ferramentas universal para substituir a garra e acomodar a tocha de solda, conforme apresentado nas Figuras 10, 11 e 12.

Figura 10 – Suporte do sensor da base



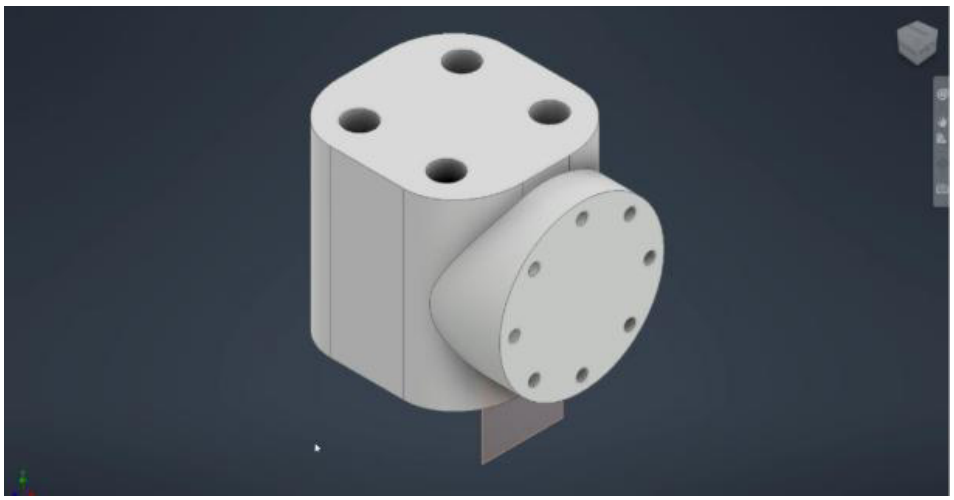
Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Figura 11 – Suporte do sensor do pulso



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Figura 12 – Porta-ferramentas universal criado



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

2.4 MONTAGEM E MANUFATURA

A manufatura das novas estruturas foi realizada por impressão 3D em PETG, junto à padronização do conjunto estrutural, com a finalidade de uniformizar o material e a coloração das peças. Os parâmetros utilizados incluíram temperatura de 250 °C, seis perímetros, 20% de preenchimento, padrão de preenchimento giróide e velocidade de 60 mm³/s. A principal diferença visual observada foi a alteração da coloração das peças, conforme apresentado na Figura 13. A montagem do conjunto com as novas peças é apresentada na Figura 14.

Figura 13 – Comparativo entre peça antiga e peça nova



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

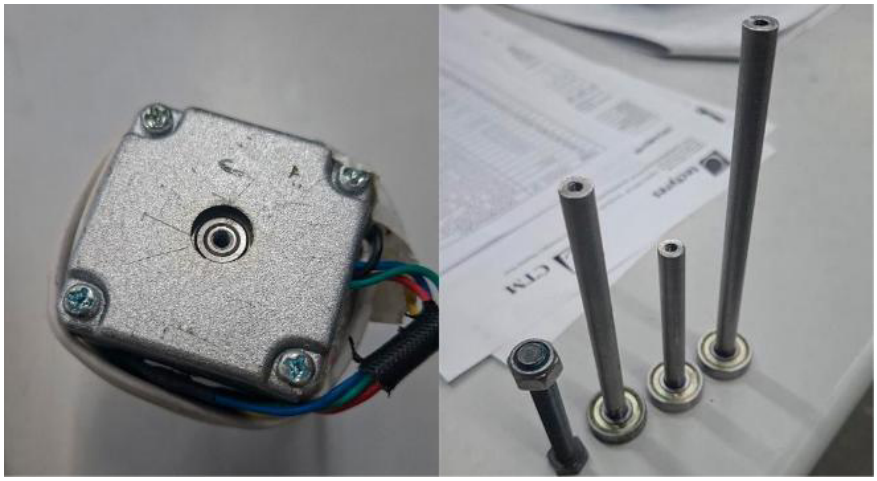
Figura 14 – Montagem com as peças novas



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

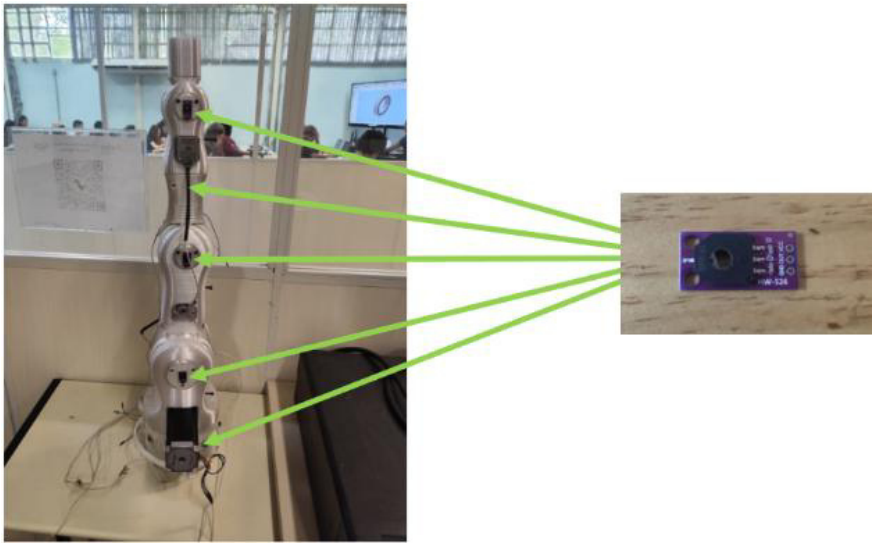
A implementação dos sensores HW-526 nos pontos indicados anteriormente foi realizada com a criação de furos roscados M4, com 4 mm de profundidade em cada eixo, e com a utilização de segmentos de barra roscada M4 de 8 mm de comprimento. No motor responsável pelo giro do pulso, foi feito um furo M3 com 4 mm de profundidade, utilizando-se um parafuso M3 para atuar como chave de acionamento do sensor, conforme apresentado nas Figuras 15 e 16.

Figura 15 – Motor com furo M3 e eixos com furo M4



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Figura 16 – Implementação dos sensores na nova estrutura



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ROBÔ COLABORATIVO

Os robôs colaborativos, também conhecidos como cobots, foram concebidos com o objetivo de permitir a interação física direta e segura entre humanos e sistemas robóticos em um mesmo espaço de trabalho. Conforme apresentado por Colgate, Peshkin e Wannasuphoprasit (1996), os cobots diferenciam-se dos robôs industriais tradicionais por não terem como finalidade a substituição integral do operador humano, mas sim a ampliação de suas capacidades por meio de sistemas capazes de restringir, orientar e auxiliar movimentos durante uma tarefa. Nesse sentido, o robô colaborativo pode ser compreendido como uma ferramenta de apoio ao trabalho humano, especialmente em atividades que exigem repetibilidade, precisão e possibilidade de interação direta.

Segundo Colgate, Peshkin e Wannasuphoprasit (1996), os cobots operam como máquinas de restrição programáveis, nas quais o computador define limites virtuais de movimento e auxilia o operador a executar trajetórias de forma controlada. Essa concepção reforça a importância da segurança no projeto de sistemas colaborativos, pois a proximidade entre operador e robô exige que o movimento seja previsível, limitado e compatível com a tarefa executada. Em aplicações educacionais, esse princípio torna-se relevante por permitir que o aluno compreenda, de maneira prática, a relação entre cinemática, controle de movimento, sensores e segurança operacional.

A ISO/TS 15066:2016 apresenta orientações para sistemas robóticos colaborativos e para o ambiente de trabalho compartilhado. A especificação técnica trata de modos de operação colaborativa, como parada monitorada de segurança, guiamento manual, monitoramento de velocidade e separação (International Organization for Standardization, 2016).

No contexto do hand guiding, ou guiamento manual, a ISO/TS 15066:2016 estabelece que o operador possa conduzir o movimento do robô por meio de um dispositivo de orientação manual, assumindo o controle direto da trajetória em condições controladas. Esse modo é especialmente importante para aplicações de ensino, programação por demonstração e treinamento, pois permite que o usuário movimente o manipulador para posições desejadas e registre referências de trajetória sem depender exclusivamente de programação textual.

A inserção de cobots no ensino de engenharia também vem sendo discutida como estratégia para aproximar os estudantes das demandas da Indústria 4.0. Djuric *et al.* (2016) destacam que os cobots são suficientemente flexíveis para integrar atividades de robótica e mecatrônica, permitindo a relação entre conceitos teóricos, modelagem cinemática e aplicações práticas. De forma semelhante, Wolffgramm *et al.* (2021) apontam que a formação profissional para colaboração humano-robô exige conhecimentos, habilidades e atitudes relacionados ao projeto, programação, operação e manutenção desses sistemas. Assim, a adaptação de um robô didático para simulação de soldagem contribui para o desenvolvimento de competências técnicas alinhadas ao cenário atual da automação industrial.

3.2 SOLDAGEM

A soldagem constitui um dos principais processos de união permanente de materiais metálicos empregados na indústria moderna. Segundo Modenesi e Marques (2011), a soldagem pode ser definida como o processo de junção de materiais, geralmente metálicos, com ou sem aplicação de pressão, de modo a assegurar a continuidade das propriedades físicas, químicas e metalúrgicas dos materiais envolvidos. Por essa razão, trata-se de um processo amplamente utilizado na fabricação, manutenção e recuperação de estruturas metálicas, equipamentos industriais e componentes mecânicos.

Dentre os diversos processos existentes, destaca-se a soldagem a arco elétrico, que utiliza a energia gerada por um arco estabelecido entre um eletrodo e a peça a ser soldada. Nesse contexto, a soldagem GMAW (Gas Metal Arc Welding) é amplamente empregada em razão de sua versatilidade, produtividade e possibilidade de automação. Conforme Modenesi e Marques (2011), o processo GMAW utiliza um eletrodo metálico consumível alimentado continuamente, enquanto um gás de proteção, inerte ou ativo, protege a poça de fusão contra contaminações atmosféricas durante a operação.

Ruprecht (2025), ao comparar soldagem manual e soldagem robótica colaborativa em ambiente de alta variedade e baixo volume produtivo, observou ganhos associados à eficiência energética, à redução do tempo de ciclo e ao desempenho mecânico das soldas em determinadas configurações. Embora o presente trabalho não realize ensaios metalúrgicos ou energéticos, a pesquisa reforça a relevância de plataformas didáticas voltadas ao estudo de soldagem robotizada, pois

esse tipo de sistema permite compreender, em escala acadêmica, fatores como repetibilidade, programação de trajetórias e viabilidade de aplicação de cobots em processos produtivos.

3.3 MANUFATURA ADITIVA

A manufatura aditiva, também conhecida como impressão 3D, representa um princípio de fabricação distinto dos métodos tradicionais de produção por conformação, subtração ou moldagem. Conforme apresentado por Volpato (2017), os processos convencionais envolvem, em geral, a remoção de material, a deformação plástica ou a conformação por moldes, enquanto a manufatura aditiva se caracteriza pela construção sucessiva de camadas a partir de um modelo tridimensional digital. Essa característica possibilita maior liberdade geométrica e torna a tecnologia adequada à produção de protótipos, suportes, peças personalizadas e componentes de baixa escala.

Adekanye *et al.* (2017) destacam que a manufatura aditiva permite fabricar protótipos, ferramentas e produtos funcionais diretamente a partir de modelos CAD, produzindo geometrias complexas que seriam difíceis ou inviáveis por métodos convencionais. Entre as tecnologias associadas a esse campo, os autores citam processos como FDM, fusão seletiva a laser, deposição metálica a laser e fusão por feixe de elétrons. No contexto deste trabalho, o emprego de impressão 3D favoreceu a produção de peças específicas para o robô BCN3D-MOVEO, como suportes para sensores e porta-ferramentas adaptado.

A relação entre manufatura aditiva e Indústria 4.0 também é destacada por Dilberoglu *et al.* (2017), que apontam essa tecnologia como parte relevante da integração entre sistemas inteligentes de produção, materiais avançados, desenvolvimento de processos e novas possibilidades de projeto. Nesse sentido, a impressão 3D não deve ser compreendida apenas como uma técnica de prototipagem rápida, mas como uma ferramenta capaz de apoiar ciclos de desenvolvimento mais flexíveis, permitindo testar soluções, corrigir geometrias e adaptar componentes conforme as necessidades do projeto.

Mahamood *et al.* (2014) ressaltam que a manufatura aditiva apresenta potencial significativo para a fabricação de componentes camada por camada, mas também possui limitações que precisam ser consideradas, como acabamento superficial, precisão dimensional e efeitos decorrentes da formação das camadas. Esses

aspectos são importantes em projetos robóticos, pois peças estruturais e suportes de sensores dependem de encaixes adequados, rigidez suficiente e posicionamento correto dos elementos mecânicos. Portanto, a definição dos parâmetros de impressão, do material e da orientação das peças influencia diretamente o resultado funcional do conjunto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos demonstram a viabilidade da adaptação do robô BCN3D-MOVEO para aplicações com características colaborativas, a partir de modificações estruturais e da integração de sensores de captação de ângulo. As atividades desenvolvidas no contexto da monitoria possibilitaram a aplicação prática de conceitos de robótica, manufatura aditiva e automação, contribuindo para a formação técnica do aluno monitor e para a ampliação do uso didático do equipamento, assim como para a atualização da construção do protótipo (Figura 17).

Figura 17 – BCN3D-MOVEO com estrutura atualizada, novas peças e sensor



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

As alterações realizadas nas peças estruturais permitiram a instalação dos sensores HW-526 em todos os eixos do robô, ampliando o controle dos movimentos e preparando o sistema para futuras aplicações em soldagem. A criação de suportes específicos para os sensores e de um porta-ferramentas universal representou um avanço funcional em relação ao modelo original, que não previa esse tipo de aplicação.

A padronização das peças impressas em PETG, utilizando parâmetros controlados de impressão, resultou em maior uniformidade estrutural e melhor encaixe dos componentes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho atendeu ao objetivo de avaliar a viabilidade da conversão de um robô industrial didático em um sistema com características colaborativas voltado à soldagem, evidenciando que a integração entre modificações estruturais e sensores é um caminho adequado para ampliar funcionalidades e segurança. A proposta demonstrou coerência com as demandas atuais da automação, ao explorar soluções acessíveis e adaptáveis no contexto educacional e tecnológico.

Além disso, os objetivos específicos relacionados à análise do protótipo, adaptação estrutural e desenvolvimento de soluções para integração de componentes foram contemplados, contribuindo para a consolidação de conhecimentos em robótica, manufatura aditiva e sistemas mecatrônicos. Como continuidade, o aprofundamento nas etapas de controle, ensino de posições e validação prática permitirá consolidar a aplicação do sistema em cenários mais próximos da realidade industrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEKANYE, Adefemi A.; MAHAMOOD, Rasheedat M.; AKINLABI, Esther T.; OWOLABI, Moses G. **Additive manufacturing: the future of manufacturing**. Materiali in tehnologije, v. 51, n. 5, p. 709-715, 2017. Disponível em: https://ujcontent.uj.ac.za/esploro/outputs/journalArticle/Additive-manufacturing--the-future-of/9910868307691. Acesso em: 2 abr. 2026.

BCN3D TECHNOLOGIES. **BCN3D MOVEO: a fully open source 3D printed robot arm**. 2016. Disponível em: https://bcn3d.com/bcn3d-moveo-the-future-of-learning-robotic-arm/. Acesso em: 12 dez. 2025.

COLGATE, J. E.; PESHKIN, M. A.; WANNASUPHOPRASIT, W. **Cobots: robots for collaboration with human operators**. 1996. Disponível em: https://peshkin.mech.northwestern.edu/publications/1996_Colgate_CobotsRobotsCollaboration.pdf. Acesso em: 20 jul. 2021.

DILBEROGLU, Ugur M.; GHAREHPAPAGH, Bahar; YAMAN, Ulas; DOLEN, Melik. **The role of additive manufacturing in the era of Industry 4.0**. Procedia Manufacturing, v. 11, p. 545-554, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978917303529. Acesso em: 22 mar. 2026.

DJURIC, Ana M.; JOVANOVIC, Vukica; GORIS, Tatiana V.; POPESCU, Otilia. **Integrating cobots in engineering technology education**. In: IAJC/ISAM INTERNATIONAL CONFERENCE, 5., 2016, Orlando. Proceedings [...]. Orlando, 2016. Disponível em: https://digitalcommons.odu.edu/engtech_fac_pubs/228/. Acesso em: 17 maio 2026.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/TS 15066:2016: robots and robotic devices - collaborative robots**. Geneva: ISO, 2016. Disponível em: https://www.iso.org/standard/62996.html. Acesso em: 17 maio 2026.

MAHAMOOD, Rasheedat M.; AKINLABI, Esther T.; SHUKLA, Mukul; PITYANA, Sisa. **Revolutionary additive manufacturing: an overview**. Lasers in Engineering, v. 27, n. 3-4, p. 161-178, 2014. Disponível em: https://ujcontent.uj.ac.za/esploro/outputs/journalArticle/Revolutionary-additive-manufacturing--an-overview/9910868307691. Acesso em: 2 abr. 2026.

MODENESI, Paulo J.; MARQUES, Paulo Villani. **Soldagem I: introdução aos processos de soldagem**. 2011. Disponível em: https://demet.eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2012/10/processo.pdf. Acesso em: 19 nov. 2025.

RUPRECHT, John. **Comparative study of robotic and manual welding for energy consumption and efficiency in a high mix, low volume manufacturing environment**. 2025. Tese (Doutorado em Energy Engineering) - University of North Dakota, Grand Forks, 2025. Disponível em: https://commons.und.edu/theses/7152/. Acesso em: 17 maio 2026.

VOLPATO, Neri. **Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D**. São Paulo: Blucher, 2017. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=ni9dDwAAQBAJ. Acesso em: 26 ago. 2025.

WOLFFGRAMM, Milan; TIJINK, Tom; VAN GELOVEN, Mirte Disberg; CORPORAAL, Stephan. **A collaborative robot in the classroom: designing 21st century engineering education together**. Journal of Higher Education Theory and Practice, v. 21, n. 16, 2021. Disponível em: https://research.rug.nl/en/publications/a-collaborative-robot-in-the-classroom-designing-21st-century-eng. Acesso em: 17 maio 2026.

PROPOSTA DE MATERIAL INFORMATIVO PARA A REGULARIZAÇÃO DE PEQUENOS PRODUTORES DE DERIVADOS LÁCTEOS
PROPOSAL FOR INFORMATIVE MATERIAL FOR THE REGULARIZATION OF SMALL PRODUCERS OF DAIRY PRODUCTS

Netiene Monteiro Gusmão[1]
Silvia Panetta Nascimento[2]

RESUMO: Embora o Brasil esteja entre os maiores produtores mundiais de leite, essa produção é fragmentada entre milhões de pequenos produtores, os quais trabalham com baixa produtividade e, consequentemente, pequena margem de lucro, buscando, nos derivados lácteos, opção mais rentável de comercialização. Essa atividade, entretanto, ocorre na informalidade, o que, além de trazer riscos à saúde dos consumidores, dificulta o crescimento e o acesso a mercados. A transição da informalidade para o mercado formal representa ainda um dos maiores desafios para as pequenas agroindústrias de produtos lácteos no Brasil, portanto, o objetivo deste estudo foi analisar a aplicabilidade e a conformidade dos registros sanitários disponíveis, propondo um modelo documental simplificado que facilite a regularização da atividade. A metodologia consistiu em uma revisão narrativa da literatura e pesquisa documental, fundamentada em legislações vigentes e publicações técnicas do Ministério da Agricultura e Secretarias de Agricultura, bem como na elaboração de material informativo. Por meio da análise comparativa dos requisitos regulatórios nas esferas federal, estadual e municipal, verificou-se que, embora o rigor técnico seja comum a todas as instâncias, a escolha estratégica do selo de inspeção é o que viabiliza a sobrevivência econômica do negócio, mas a ausência do Serviço de Inspeção Municipal (SIM) em diversas localidades ainda é uma barreira geográfica ao crescimento. O material desenvolvido funciona como ferramenta de capacitação técnica para simplificar o acesso às normas e promover a profissionalização do setor. Conclui-se que a formalização viabiliza a manutenção das atividades e a conquista de novos mercados, o que impacta positivamente na segurança alimentar.
Palavras-chave: Agroindústria rural; Inspeção sanitária; Regulamentação.

ABSTRACT: Although Brazil is among the world's largest milk producers, this production is fragmented among millions of smallholders who operate with low productivity and, consequently, narrow profit margins, leading them to seek dairy derivatives as a more profitable commercialization option. However, this activity often occurs in the informal sector, which, besides posing food safety risks to consumers, hinders business growth and market access. The transition from informality to the formal market still represents one of the greatest challenges for small-scale dairy agro-industries in Brazil. Therefore, this study aimed to analyze the applicability and compliance of available sanitary registries, proposing a simplified documentary model to facilitate the regularization of the activity. The methodology consisted of a narrative literature review and documentary research based on current legislation and technical publications from the Ministry of Agriculture and State Secretariats of Agriculture, alongside the development of informative material. Through a comparative analysis of regulatory requirements at the federal, state, and municipal levels, it was found that, while technical rigor is common to all jurisdictions, the strategic choice of the inspection seal is what enables the economic survival of the business; however, the absence of the Municipal Inspection Service (SIM) in several locations remains a geographic

Agronegócio – Fatec Itapetininga- Email: netiene.gusmao@fatecitapetininga.edu.br[1]
Profª Me – Fatec Itapetininga- Email: silvia.nascimento@fatecitapetininga.edu.br[2]

barrier to growth. The developed material serves as a technical training tool to simplify access to regulations and promote the professionalization of the sector. It is concluded that formalization enables the continuity of operations and the expansion into new markets, resulting in a positive impact on food security.
Keywords: Rural agro-industry; Sanitary inspection; Regulation.

1 INTRODUÇÃO

As agroindústrias representam um segmento crucial do panorama rural, sobretudo por serem, em grande parte, responsáveis pela produção e processamento de produtos comestíveis. Por essa razão, torna-se imprescindível atender aos requisitos regulamentares para assegurar que os alimentos produzidos estejam seguros ao consumo (Sebrae, 2025).

A informalidade nos sistemas agroindustriais constitui uma situação frequente presente em muitos municípios brasileiros. O principal problema da informalidade é a ausência completa ou parcial do atendimento às normas para a produção e a falta de fiscalização na comercialização dos bens, com possibilidade de riscos ao consumidor (Franco, 2019).

A estrutura agroindustrial de lácteos no Brasil caracteriza-se por um sistema de produção intensamente fragmentado e de reduzida dimensão, o que ressalta a elevada contribuição da agricultura familiar. De acordo com os dados do setor, o segmento leiteiro abrange cerca de 1,2 milhão de produtores, os quais estão presentes em 99% dos municípios do país (Sório, 2019).

As exigências regulatórias e a complexidade documental exigida pela legislação sanitária é a principal barreira para a formalização das pequenas agroindústrias de produtos lácteos. Diante desse cenário, levanta-se a seguinte questão, como é possível estruturar e propor um modelo simplificado, acessível e eficiente que sirva como ferramenta prática para a transição bem-sucedida do produtor rural da informalidade para o mercado formal?

O objetivo do presente trabalho, portanto, consistiu na análise comparativa dos serviços de inspeção disponíveis no país para formalização de pequenas e médias agroindústrias de produtos lácteos, promovendo a garantia da conformidade legal, com contribuição social, alinhada ao desenvolvimento do empreendimento rural.

A partir da análise da legislação vigente dos órgãos regulamentadores em nível federal, estadual e municipal e, considerando-se ainda os requisitos exigidos em cada

instância e sua aplicabilidade para cada tipo de registro de inspeção, buscou-se desenvolver um material documental simplificado e customizado para a realidade rural, que, além de facilitar a transição bem-sucedida da produção informal para o mercado formal, possibilitará ao produtor adquirir o conhecimento técnico necessário para a sua profissionalização constituindo-se também como ferramenta de capacitação.

2 METODOLOGIA

A abordagem metodológica deste estudo consiste em uma revisão narrativa da literatura, a qual parte de dados já interpretados por outros pesquisadores e adequadamente registrados. Os autores dos textos dos estudos analíticos contribuem assim para com o trabalho do pesquisador (Severino, 2016).

As fontes de dados usadas nesta pesquisa foram as legislações sanitárias vigentes referentes à inspeção de produtos lácteos nas esferas nacional, estadual e municipal, assim como publicações do Ministério da Agricultura e Secretaria da Agricultura do estado de São Paulo e dos municípios da região do Sudoeste Paulista. Foram também utilizados artigos científicos, bem como teses e dissertações disponíveis nas bases de dados do Google Acadêmico e outros repositórios de interesse, usando-se os seguintes descritores: agroindústria, lácteos, regulamentação, inspeção, registro sanitário.

Entre os critérios de seleção dos artigos destacam-se a atualidade, incluindo os artigos publicados nos últimos dez anos, assim como a relevância para o tema da pesquisa. Esta forma de estudo possibilita a síntese crítica do conhecimento atual, contribuindo para a compreensão dos sistemas de inspeção disponíveis para regularização de agroindústrias rurais.

Com os dados coletados foi realizada análise comparativa dos requisitos exigidos nas legislações relativas à produtos lácteos, assim como elaborado material informativo, na forma de *folder*, com apresentação simplificada e aplicação prática dos requisitos necessários à formalização de agroindústrias rurais.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 SISTEMA AGROINDUSTRIAL DO LEITE NO BRASIL

O Brasil se situa como o sexto principal país na produção global de leite, registrando um volume de 28 milhões de toneladas. A quantidade de leite gerada globalmente no período compreendido entre 2024 e 2025 atingiu 673,3 milhões de toneladas. Desse total, a maior parte (94%) foi proveniente dos 10 principais países fabricantes. A produção estava distribuída da seguinte forma: 23% produzido nas Américas, 43% na Ásia e 22% na União Europeia (Agrosustentar, 2024).

A produção leiteira no Brasil teve início no século XVI, ocupando o segundo plano em relação às demais atividades econômicas do país, sendo assim até a metade do século XX, quando obteve crescente atenção (Sorio A., 2019). O setor lácteo apresentou uma expansão significativa na última década. A produção de leite no Brasil teve um aumento de 1% no período de 2024/25 em comparação com o ano anterior, totalizando 28 milhões de toneladas. Esse volume representa um crescimento de 9% em relação às 25,6 milhões de toneladas produzidas em 2015 (USDA, *apud* Agrosustentar, 2025).

Ainda em 2024, o segmento lácteo no Brasil atingiu um marco histórico de rendimento, totalizando 35,7 bilhões de litros de leite, o que representa uma expansão de 1,4% frente ao período precedente. Esse desempenho favorável foi motivado principalmente pela elevação da eficiência produtiva média do rebanho, que alcançou 2.362 litros por animal/ano em lactação, representando um acréscimo de 4,3% nesse índice. Tal incremento na eficácia da produção se deu apesar da diminuição no contingente de vacas ordenhadas (-2,8%), o que indica um processo de atualização tecnológica na pecuária nacional (IBGE, 2025).

A relevância do segmento lácteo no agronegócio nacional pode ser avaliada pelo expressivo faturamento do setor na última década, que alcançou um acréscimo de 248%, em contraste com o aumento de 78% dos demais segmentos da indústria alimentícia (Carvalho L. A., *et al*, 2002).

A cadeia produtiva do leite e derivados é um setor vital para a economia e sociedade do Brasil. Com produção presente em quase todos os municípios brasileiros e dominada por pequenas e médias propriedades, o setor emprega cerca de 4 milhões de pessoas. O Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa) dedica esforços ao setor, e as projeções para 2030 indicam que os produtores que se destacarem serão aqueles que adotarem novas tecnologias, aprimorarem a gestão e se tornarem mais eficientes (Mapa, 2025).

O sistema agroindustrial lácteo brasileiro é delineado pela seguinte disposição: na dimensão de insumos, equipamentos e maquinário, observam-se os responsáveis pela produção de embalagens, ordenhadeiras, refrigeradores, rações, produtos e serviços veterinários aplicados no melhoramento genético e manejo do gado. No ponto de origem, estão os produtores primários, especializados ou não. Na etapa final da produção, funcionam as unidades de industrialização de leite, que contemplam vastas empresas transnacionais e nacionais, cooperativas, e indústrias de laticínios de variados portes (Milinsk, Guedine, Ventura, 2008; Brasil, 2022).

Quanto à aquisição de leite pela agroindústria, a quantidade somou 25,38 bilhões de litros, firmando 2024 como o segundo melhor exercício da série histórica para o recolhimento com fiscalização sanitária, mas considerando-se o volume produzido nesse ano, de 35,7 bilhões de litros, nota-se ainda comércio informal do produto e derivados (IBGE, 2025).

Em 2024, a entrada de produtos lácteos de outros países correspondeu a aproximadamente 8,4% de todo o suprimento nacional de leite. Este é o maior percentual já registrado, demonstrando que a quantidade de derivados provenientes do comércio internacional também contribui para o abastecimento doméstico (Antunes, F., 2025). Queijos e Iogurtes demonstraram as maiores projeções de aumento da receita de vendas acima da inflação para 2023 e 2024, com uma capacidade de expansão superior a 10% anualmente, ultrapassando leite condensado e leite pasteurizado (Guimarães e Siqueira, 2023).

O leite é extensamente utilizado tanto pela agroindústria alimentícia quanto pela produção informal na sua forma primária ou na forma de seus inúmeros derivados lácteos, como por exemplo, queijo, manteiga, iogurte, leite fermentado, leite condensado, leite em pó, creme de leite e doce de leite (Henrique; Oliveira; Nunes, 2020).

3.2 REQUISITOS PARA PRODUÇÃO DE DERIVADOS DE LEITE

A compreensão da qualidade de um produto alimentício é a consequência da análise de seus atributos. Nos produtos alimentícios, segundo Scalco e Toledo (2006), esses atributos podem ser:

- Sensoriais: que são propriedades avaliadas e percebidas pelo consumidor como cor, sabor, viscosidade, textura, consistência e aparência;

- Nutricionais: são propriedades de constituição do produto como teor de gorduras, proteínas, minerais, vitaminas e carboidratos;
- Sanitários: são propriedades que comprovam a segurança do produto como livre de resíduos de defensivos agrícolas e toxinas microbianas.

Para manter a segurança e padronização na qualidade do leite bovino na indústria brasileira, os órgãos governamentais estabelecem normativas, as quais exigem a criação de documentos como Manuais de Boas Práticas de Fabricação e Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle. Tratamentos térmicos ao leite, como pasteurização e esterilização, são requeridos para evitar riscos à saúde (Costa; Cardoso; Pinto, 2023).

3.2.1 Licenciamento ambiental

Nos processos industriais a gestão ambiental é um requisito essencial para a minimização de impactos ao ecossistema, mas também para a valorização de serviços e bens, principalmente em um cenário econômico extremamente competitivo. A junção das exigências do mercado com legislações ambientais mais rigorosas fomenta o progresso de práticas de proteção ambiental como, por exemplo, o reaproveitamento da água, o tratamento de resíduos gerados nos processos produtivos e a inserção de Sistemas de Gestão Ambiental (SGA) (Veiga, 2018).

Segundo a descrição da norma NBR ISO 14001 da ABNT, atributo ambiental "é o componente das atividades, produtos e/ou serviços de uma estruturação que pode influenciar (modificar) o meio ambiente de forma inversa ou propícia". São constituídos pelos agentes geradores das interações os seguintes parâmetros ambientais: emissão atmosférica, resíduos, odor, energia, consumo de matérias-primas, água, entre outros (Cetesb, 2013).

Está associado pelo menos um impacto ambiental a cada atributo ambiental, que pode ser determinado como qualquer transformação das características físico-químicas e/ou biológicas do meio ambiente, adequada a qualquer forma de matéria ou energia criada por atividades humanas. Os impactos ambientais fundamentais do setor de laticínios são referentes a: elevado consumo de energia; produção e gerenciamento de resíduos; emissões atmosféricas; ruído e vibração provenientes de máquinas e equipamentos (Cetesb, 2013).

Essas motivações justificam a necessidade de licenciamento ambiental para toda a atividade de produção de alimentos, conforme estabelecido na Lei nº 997/76, aprovada pelo Decreto nº 8.468/76 (São Paulo, 1976), e alterado pelo Decreto n º 62.973 de 28 de novembro de 2017 (São Paulo, 2017) (Cetesb, 2026).

3.2.2 Controle Sanitário

O controle sanitário engloba o conjunto de requisitos regulatórios atribuído pela Administração Pública com o intuito de extinguir, diminuir ou evitar riscos que são associados ao consumo de alimentos. Adicionalmente, também integram aspectos relacionados à rotulagem, constituição nutricional, identidade e atributo dos alimentos, de forma a garantir a adoção de práticas comerciais leais e escolhas acertadas e conscientes por parte do consumidor. A conduta dos órgãos de controle sanitário está baseada em padrões e procedimentos legais, muitos deles ajustados internacionalmente. Os requisitos regulatórios atingem tanto os produtos acabados, como os insumos e procedimentos utilizados na sua produção, compreendendo todas as etapas do processo, desde o campo até a entrega do produto ao consumidor (Anvisa, 2022).

A vigilância sanitária é fundamental para o bem-estar coletivo, visto que atua na prevenção de patologias, mitiga as ameaças de perigos nos alimentos e garante o padrão de excelência dos produtos, impactando diretamente na estabilidade econômica. Atualmente, a busca por itens alimentícios seguros e de alto valor qualitativo constitui uma exigência central por parte dos compradores (Aguilar, *et al*, 2025)

Conforme Portaria nº 368, de 4 de setembro de 1997 do Mapa (Brasil, 1997), as matérias-primas alimentícias precisam ser protegidas contra a contaminação por resíduos de origem doméstica ou sujidades, industriais e agrícola, cuja presença possa atingir concentrações que ofereçam perigo à saúde (Mapa, 2025).

A biossegurança alimentar é um ponto que exige atenção, dado que variados microrganismos com potencial infeccioso podem ser disseminados via queijos artesanais, com ênfase nos produzidos a partir de leite cru. Obter um panorama exato da gravidade dessa ameaça ainda é muito dificultoso, uma vez que há pouca literatura no Brasil avaliando a carga desses patógenos nas diferentes etapas do processo produtivo (Ventura, 2021).

Para minimizar os riscos de contaminação nos derivados lácteos, os empreendedores rurais devem atender aos preceitos sanitários vigentes. Isso inclui a implementação de infraestrutura física compatível com a atividade agroindustrial, a implementação das Boas Práticas de Fabricação (BPF) e o monitoramento constante do estado de saúde dos manipuladores. No âmbito da produção primária, exige-se a imunização e o acompanhamento sanitário do rebanho, além do tratamento da água utilizada no laticínio e a realização de análises técnicas para atestar a conformidade dos queijos produzidos (Martins, 2018).

Em áreas onde a água utilizada nos processos de produção possa representar um risco à saúde do consumidor por meio do consumo dos alimentos, é proibido cultivar, produzir ou extrair produtos ou crias de animais para o consumo humano. As estratégias de controle de pragas e enfermidades, que incluem o uso de agentes químicos, biológicos ou físicos, devem ser implementadas exclusivamente sob a orientação de um profissional que esteja ciente dos riscos que esses métodos podem oferecer à saúde (Mapa, 2025).

3.2.3 Boas Práticas de Fabricação

As Boas Práticas de Fabricação (BPF) representam um conjunto de diretrizes e procedimentos essenciais aplicados em todas as fases da produção de alimentos. Conforme o Riispoa - Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (Brasil, 2017), as Boas Práticas de Fabricação (BPF) são as “condições e processos higiênico-sanitário e operacionais sistematizados, colocados em todo o fluxo de produção, com o intuito de certificar a inocuidade, a qualidade, a identidade e a totalidade dos produtos de origem animal.”

Para se obter um leite respeitando os requisitos obrigatórios, as boas práticas são fundamentais, podendo assim se identificar fraudes e quaisquer outras alterações garantindo a segurança do produto para o consumidor (Sandoval & Ribeiro, 2021).

A aplicação das BPF possibilita: minimizar a contaminação dos alimentos por microrganismos; reduzir o risco de contaminação pelo uso de produtos químicos durante a higienização das instalações e equipamentos; aumentar o prazo de validade dos alimentos; proporcionar que o ambiente de trabalho seja mais eficiente, aprimorando a produção; propiciar a regulação da produção; disponibilizar alimentos

mais seguros e de melhor qualidade aos consumidores. Sendo assim, o programa de implementação das BPF abrange os seguintes segmentos: Instalações; Pessoal; Operações; Controle de pragas; Registros e documentação (Machado e Monteiro, 2018).

A implementação das BPF em agroindústrias de leite e derivados é indispensável para mitigar a contaminação dos produtos, garantindo a segurança de queijos, iogurtes, manteiga e outros derivados. As ações primordiais para a produção de laticínios englobam: matéria-prima de alto padrão, localização adequada da unidade fabril, uso de equipamentos e utensílios apropriados, limpeza e sanitização rigorosas, qualidade da água, controle efetivo de pragas e roedores, capacitação dos manipuladores, embalagem adequada, rotulagem correta, e, por fim, armazenamento e transporte controlados (Silva, Vinha e Dias, 2016).

3.3 INSPEÇÃO DE PRODUTOS DE ORIGEM ANIMAL

Para assegurar a integridade dos produtos e a defesa do consumidor, a Inspeção de Produtos de Origem Animal está direcionada para a garantia da saúde pública, através da inocuidade alimentar e para a defesa do consumidor (Defesa Agropecuária, 2025).

A Lei Federal nº 7.889, de 23 de novembro de 1989 (Brasil, 1989) conferiu aos estados e municípios a aptidão pela inspeção higiênico-sanitária e tecnológica de produtos e subprodutos de origem animal. A partir da mesma, os serviços de inspeção de produtos de origem animal, foram classificados da seguinte forma: a) S.I.F. (Serviço de Inspeção Federal) – comércio praticado pelos estabelecimentos industriais entre Estados ou para fora do país; b) S.I.E. (Serviço de Inspeção Estadual) – estabelecimentos que exercem o comércio de seus produtos apenas entre municípios do referido Estado; c) S.I.M (Serviço de Inspeção Municipal) – estabelecimentos que realizem apenas em seu próprio território municipal o comércio de seus produtos (Defesa Agropecuária, 2025).

Conforme Decreto nº 5.741/2006 (Brasil, 2006), a responsabilidade pela inspeção higiênico-sanitária e industrial de produtos de origem animal é compartilhada entre os governos federal, estaduais, distrital e municipais. A fiscalização prévia de todos os produtos de origem animal, tanto comestíveis quanto não-comestíveis, é obrigatória para garantir sua conformidade industrial e sanitária, independentemente

de possuírem ingredientes de origem vegetal. A inspeção abrange todas as etapas do processo produtivo de produtos de origem animal e seus derivados, desde a análise dos animais antes e após o abate até o consumo final. O processo inclui a verificação do recebimento da matéria-prima, a manipulação, o preparo, a conservação, o acondicionamento e a embalagem, além de controlar a rotulagem, o transporte e o depósito, garantindo a segurança e a qualidade do alimento. Nenhum estabelecimento industrial ou entreposto que lide com produtos de origem animal pode operar no Brasil sem o registro prévio no órgão fiscalizador competente (MAPA, 2025).

3.3.1 Serviço de Inspeção Federal

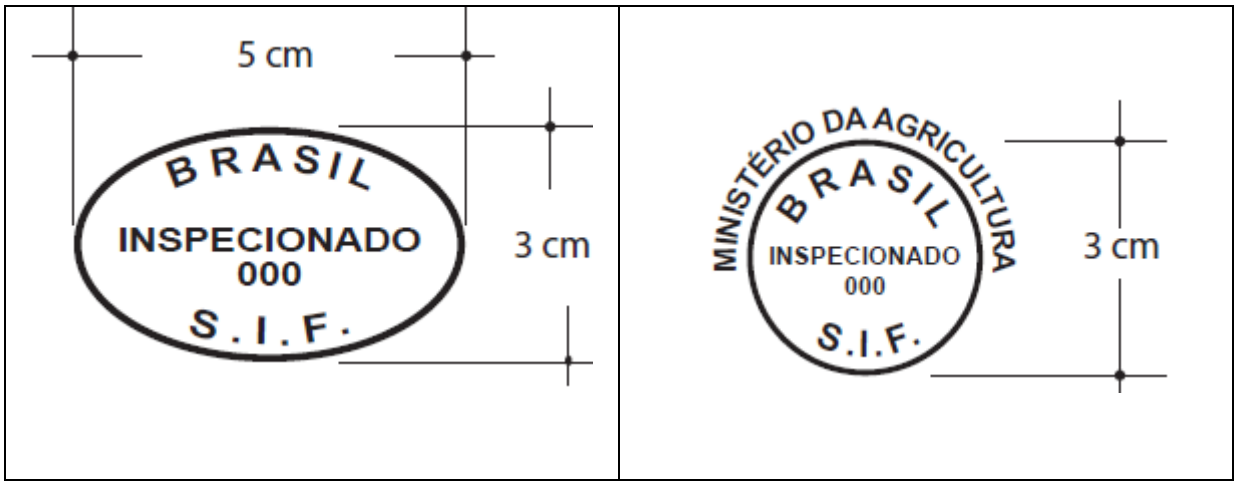
O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) garante a qualidade e a segurança de todos os produtos de origem animal por meio do registro e fiscalização concedidos pelo Serviço de Inspeção Federal (SIF). Esse processo assegura que os consumidores brasileiros recebam itens com certificação sanitária e tecnológica, em conformidade com as leis nacionais e as normas internacionais em vigor (Mapa, 2025).

O Serviço de Inspeção Federal (SIF) está subordinado ao Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal (DIPOA). Sua principal função é garantir a qualidade e a segurança de produtos de origem animal, tanto comestíveis quanto não comestíveis, que são comercializados nos mercados nacional e internacional, incluindo os produtos importados. Atualmente, o SIF supervisiona mais de cinco mil estabelecimentos brasileiros, todos sob a fiscalização do DIPOA (Mapa, 2025).

A criação do selo de inspeção remonta à publicação do primeiro regulamento que estabeleceu a fiscalização sanitária em estabelecimentos de processamento. Para que um produto receba a aprovação do SIF, ele passa por uma série de etapas de inspeção e fiscalização. Tais procedimentos são planejados e supervisionados pelo Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal (Dipoa), que integra a Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA) do Ministério da Agricultura (Mapa, 2025).

O Brasil, atualmente, exporta produtos de origem animal para mais de 180 nações, consolidando-se como um dos principais exportadores globais. A segurança desses produtos é garantida pela fiscalização do DIPOA, atestada por meio do selo do Serviço de Inspeção Federal (SIF), conforme apresentado na Figura 1 (Mapa, 2025).

Figura 1 – Modelos autorizados de selo do SIF



Fonte: Brasil (2017)

Os procedimentos necessários ao registro do estabelecimento no SIF e dos produtos produzidos, bem como toda a documentação necessária, são obtidos junto ao site do Ministério da Agricultura e Pecuária, onde o empreendedor faz a solicitação por meio de sistema eletrônico (Mapa, 2025).

3.3.2 Serviço de Inspeção Estadual

O Serviço de Inspeção Estadual (SIE) é responsável por fiscalizar e certificar produtos de origem animal, garantindo que possam ser comercializados dentro das fronteiras de seu estado de origem. Em São Paulo, esse serviço é conhecido como Serviço de Inspeção do Estado de São Paulo (SISP) (Defesa Agropecuária, 2023).

O SISP opera sob a Secretaria de Agricultura e Abastecimento (SAA), especificamente por meio do Centro de Inspeção de Produtos de Origem Animal (CIPOA), que faz parte da Coordenadoria de Defesa Agropecuária (CDA). A base legal para este sistema está estabelecida pela Lei nº 17.373/2021 (São Paulo, 2021), o Decreto nº 66.286/2021 (São Paulo, 2021) e a Resolução SAA nº 24/94 (São Paulo, 1994) (Defesa Agropecuária, 2025).

O Sistema de Inspeção de São Paulo (SISP), em conjunto com a Secretaria de Agricultura, detém a atribuição de monitorar a conformidade sanitária de itens de procedência animal — abrangendo carnes, ovos, produtos lácteos, pescados e mel — e de origem vegetal, como hortaliças, frutas e cereais. É imperativo que todas as unidades processadoras ou pontos de venda situados no território paulista possuam

registro no referido órgão, assegurando a vigilância higiênico-sanitária, a proteção do bem-estar animal e o padrão qualitativo das mercadorias disponibilizadas ao consumidor final (Aguilar *et al*, 2025).

Os produtos registrados no SISP somente podem ser comercializados dentro do estado de São Paulo e, para obter esse registro é necessário cumprir uma série de exigências que visam garantir a segurança dos alimentos, entre as quais, o cadastro do produtor (CPF) ou da empresa (CNPJ) no sistema GEDAVE da Secretaria de Agricultura, acompanhado da documentação exigida (desenho das instalações; descrição visual do processo produtivo, descrição detalhada de cada produto, com os ingredientes, detalhamento dos materiais de acabamento e da capacidade produtiva do local e laudo atestando a potabilidade da água utilizada). Ainda é necessário haver um profissional habilitado com registro como responsável técnico e a elaboração e implementação das Boas Práticas de Fabricação (BPF) e dos Procedimentos Padrões de Higiene Operacional (PPHO) (São Paulo, 2021). Com a aprovação do SISP, o produto é comercializado com o selo apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Modelo autorizado de selo do SISP



Fonte: Defesa Agropecuária (2023)

3.3.3 Serviço de Inspeção Municipal

O Serviço de Inspeção Municipal (SIM) visa assegurar que os consumidores tenham acesso a produtos de origem animal (P.O.A.) seguros, que sejam processados em estabelecimentos devidamente registrados e fiscalizados, combatendo assim a clandestinidade. Simultaneamente, o S.I.M. estimula os pequenos empresários a se formalizarem, o que não apenas expande o mercado, mas também aumenta as possibilidades de comercialização de seus produtos em conformidade com as normas legais. Essa regularização é fundamental para garantir

a segurança dos alimentos e a integridade de produtos como carnes, laticínios, ovos, pescados e mel e seus derivados, todos com o respectivo registro de inspeção (Cicesp, 2025).

Coordenado pela prefeitura ou por consórcios de municípios, o SIM assegura que as mercadorias de procedência animal, produzidas do município, sejam elaboradas e distribuídas com inocuidade, mediante protocolos rigorosos que abrangem desde a captação da matéria-prima até a logística do produto finalizado aos centros de venda em escala municipal (CATI, 2023).

Cada município tem regulamentação própria, que deverá ser consultada junto à Secretaria de Agricultura local. Da mesma forma, o selo a ser impresso nos rótulos dos produtos registrados no SIM são específicos de cada município. As exigências documentais, entretanto, não diferem muito das exigidas nas instâncias federal e estadual. Segundo o levantamento "Panorama dos Serviços de Inspeção Municipal em 2023", realizado pela Confederação Nacional de Municípios (CNM), o serviço de inspeção está implementado em apenas 58% das cidades brasileiras, com maior concentração na região Sul (79%), pois nem todos os municípios do país contam com esse serviço. Apesar da maioria das prefeituras sem o sistema demonstrar interesse em viabilizá-lo, entraves como a escassez de recursos financeiros e de pessoal técnico, somados à baixa densidade de agroindústrias locais, impedem a sua consolidação. Assim, a carência estrutural e orçamentária justifica a ausência do órgão fiscalizador em nível municipal em grande parte do território nacional, dificultando a regularização de produtores regionais (CNM, 2025).

3.3.4 SISBI - POA

Integrado ao Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (SUASA), o Sistema Brasileiro de Inspeção de Produtos de Origem Animal (SISBI-POA) atua na normatização e alinhamento dos protocolos de fiscalização de itens de procedência animal, visando assegurar a qualidade sanitária e a proteção do consumidor. Diferentes esferas administrativas, como Estados, Municípios e Consórcios Públicos, estão aptas a aderir a esse modelo, desde que formalizem o registro na plataforma digital e-Sisbi e comprovem tecnicamente a capacidade de realizar o monitoramento e a auditoria com o mesmo nível de excelência e rigor operacional adotados pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (Brasil, 2025).

A conformidade com o padrão federal confere fidedignidade ao processo e eleva o nível de excelência e a inocuidade da mercadoria acabada. Dessa forma, o SISBI-POA oferece aos empreendimentos agroindustriais a possibilidade de expansão, gerando benefícios financeiros, higiênico-sanitários e coletivos (Souza *et al*, 2025).

> Uma vez integrado ao SISBI-POA, os serviços de inspeção estaduais e municipais poderão indicar estabelecimentos registrados junto a eles para adesão ao SISBI, possibilitando a comercialização de seus produtos em todo o território nacional (Defesa Agricultura de São Paulo, 2025).

Dessa forma, os produtos produzidos nos estabelecimentos indicados poderão ser comercializados em qualquer parte do Brasil, necessitando constar em seus rótulos o carimbo do Serviço de Inspeção Estadual ou Municipal onde são registrados, acrescidos da logomarca SISBI, conforme apresentado na Figura 3 (Secretaria de Defesa Agropecuária, 2009).

Figura 3 - Logomarca SISBI



Fonte: Secretaria de Defesa Agropecuária, 2009

A principal virtude desse sistema consiste na existência de uma autoridade central responsável por uniformizar os protocolos de fiscalização nacional. Tal estrutura expande o mercado consumidor para mercadorias de procedência animal em variados volumes produtivos, garantindo a segurança dos produtos e a proteção à saúde pública, ao mesmo tempo em que fomenta o desenvolvimento regional e a inserção social. Para o êxito desse modelo, é indispensável contar com técnicos qualificados em todas as cidades aderentes. Já os empreendedores rurais beneficiam-se da assistência direta e próxima do órgão municipal, o que simplifica trâmites administrativos e garante a oferta de alimentos regularizados e confiáveis ao mercado (Dickel, 2008).

3.3.5 Produto Artesanal

Considera-se produto de origem animal artesanal aquele cuja produção atenda às seguintes características: pequena escala; predomínio de matérias-primas de origem animal de produção própria ou de origem definida, sujeita ao controle do serviço de inspeção oficial; uso de técnicas dominantemente manuais, utilizadas por manipuladores que detenham o controle integral do processo produtivo; uso de receita e processo desenvolvidos pelo próprio produtor ou que disponham características tradicionais, culturais ou regionais (Defesa Agropecuária, 2021).

O Selo Arte configura-se como uma certificação de procedência e excelência técnica, permitindo a circulação em todo o território brasileiro de itens alimentares manufaturados artesanalmente. Diante da urgência em estabelecer um modelo de gerenciamento dinâmico e simplificado, buscou-se viabilizar a execução dos trâmites de requerimento, exame, outorga e monitoramento das mercadorias autenticadas. Sob essa ótica, foi desenvolvido o Sistema de Gestão do Selo Arte (SGSA) que, ao lado dos sistemas de Gestão de Serviços de Inspeção (SGSI) e de Gestão de Estabelecimentos (SGE), compõe a estrutura digital da plataforma e-SISBI (Brasil, 2025).

A Lei nº 17.453, de 18 de novembro de 2021 (São Paulo, 2021), modernizou as normas para que agroindústrias de alimentos sejam reconhecidas como Artesanais. A nova legislação prioriza pequenos produtores, permitindo que estabelecimentos em áreas urbanas também obtenham o registro de SISP Artesanal. Além disso, a lei abre caminho para convênios com municípios, visando tornar o serviço de inspeção mais acessível e abrangente, com o objetivo principal de garantir a segurança dos alimentos (Defesa Agropecuária, 2023).

Em 23 de fevereiro de 2022, o Decreto nº 66.523 (São Paulo, 2022) foi publicado para regulamentar a produção artesanal de produtos de origem animal em pequena escala. Esse Decreto estabelece limites máximos diários de produção, como até 1.500 litros de leite/dia. Para obter o registro sanitário de um estabelecimento artesanal, o produtor deve procurar o Centro de Inspeção de Produtos de Origem Animal (Cipoa) da Coordenadoria de Defesa Agropecuária em sua região (Defesa Agropecuária, 2023).

O programa “FEAP SP Artesanal + Legal”, promovido pela Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, é um instrumento crucial para

viabilizar a formalização de agroindústrias de pequeno porte. Com um investimento total de R$ 3 milhões, o programa oferece uma subvenção de até R$ 50 mil por projeto para cobrir os custos operacionais e estruturais da adequação, como obras, aquisição de equipamentos e contratação de serviços técnicos. Esse apoio financeiro permite que o produtor rural execute as melhorias exigidas, obtenha o registro sanitário e, consequentemente, avance no mercado formal com garantia de segurança e qualidade, beneficiando tanto o empreendedor quanto o consumidor final. (Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, 2025) .

Para solicitar a concessão do Selo Arte (Figura 4), é necessário o cumprimento de duas condições: a inscrição no SGSI por parte do órgão fiscalizador ao qual a unidade produtora está subordinada, bem como o registro atualizado, tanto do estabelecimento, quanto do item alimentício no SGE; cadastro do serviço oficial de inspeção (SGSI); cadastro do estabelecimento produtor (SGE); cadastro do produto (SGE); comprovação das boas práticas (SGSA); memorial descritivo do produto (SGSA); fotos do estabelecimento (SGSA) (Brasil, 2025).

Figura 4 – Imagem do selo Arte



Fonte: Defesa Agropecuária (2025)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise comparativa da legislação vigente referente à produção e comercialização de produtos de origem animal, verificou-se que, atualmente, para produzir e comercializar derivados lácteos o produtor rural precisa atender os requerimentos da Fiscalização de Produtos de Origem Animal, visando garantir a saúde coletiva por meio da segurança dos alimentos e da proteção do consumidor. A análise dos dados evidencia que a formalização do produtor rural, por meio da obtenção dos selos de inspeção (SIF, SISP ou SIM) transcende o mero cumprimento

burocrático, consolidando-se como um mecanismo estratégico de viabilidade econômica.

A regularização sanitária atua como um atestado de qualidade e inocuidade, mitigando riscos à saúde pública e conferindo legitimidade jurídica à atividade. Observou-se que a transição para a formalidade rompe as barreiras de comercialização impostas pela clandestinidade, permitindo que o produtor acesse canais de distribuição mais amplos.

A fim de facilitar a compreensão dos produtores rurais sobre os registros disponíveis para sua formalização e as exigências relativas à obtenção de cada um desses registros, bem como as vantagens em aderir a tais serviços, foi desenvolvido material informativo, conforme pode ser visualizado na Figura 5.

Figura 5 – Material documental criado para orientação dos produtores rurais



Fonte: Autoria própria

A simplificação documental, apresentada neste estudo, não visa apenas facilitar o registro, mas sim promover a inclusão produtiva, transformando a conformidade normativa em um diferencial competitivo que agrega valor real ao produto lácteo no mercado consumidor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu concluir que a compreensão das esferas de inspeção (federal, estadual e municipal) é o pilar fundamental para a transição da informalidade para o mercado formal na agroindústria de produtos lácteos. A análise comparativa realizada demonstrou que, embora a legislação seja rigorosa, a escolha adequada do selo de inspeção — alinhada à capacidade produtiva e ao mercado consumidor pretendido — é o que viabiliza a sobrevivência econômica de pequenas e médias empresas rurais.

Evidenciou-se, no entanto, que a ausência do Serviço de Inspeção Municipal (SIM) em diversas localidades ainda se configura como uma barreira burocrática e geográfica para o crescimento do produtor. Nesse cenário, o trabalho reforça que a regularização não deve ser vista apenas como uma obrigação legal, mas como uma estratégia de profissionalização e garantia de segurança alimentar.

A principal contribuição deste estudo materializa-se na elaboração de um material informativo, que funciona como uma ferramenta de capacitação técnica. Espera-se que este material simplifique o acesso às normas vigentes, permitindo que o produtor rural assuma o protagonismo na gestão do seu negócio e conquiste novos mercados. Por fim, ressalta-se a necessidade de políticas públicas que estimulem a criação de consórcios municipais de inspeção, ampliando as oportunidades de comercialização e fortalecendo o desenvolvimento regional do setor lácteo.

REFERÊNCIAS

AGROSUSTENTAR. **Qual o maior produtor de leite do mundo?** 2024. Disponível em: https://agrosustentar.com.br/agronegocio/maior-produtor-de-leite. Acesso em: 31 out. 2025.

AGROSUSTENTAR. **Qual o maior produtor de leite do mundo?** 2025. Disponível em: https://agrosustentar.com.br/agronegocio/maior-produtor-de-leite. Acessado em 20 de set de 2025.

AGUILAR, E. A., SANTANA, F. S., CAIRES, K. C. S., SILVA, S. C. V., AVIZ R., E., COSTA, S. Sistema de inspeção de São Paulo – produtos de origem animal: a importância do conhecimento do consumidor. **Revista Foco**, v*18,* n(12), 2025, p01-11.

ANTUNES, F. **O impacto das importações de lácteos no Brasil e as perspectivas para 2025.** 2025. Disponível em:

https://www.milkpoint.com.br/colunas/forum-milkpoint-mercado/o-impacto-das-importacoes-de-lacteos-no-brasil-e-as-perspectivas-para-2025-238170/. Acesso em: 30 out. 2025.

ANVISA. **Controle Sanitário**. 2022. Disponível em: https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/alimentos/controle-sanitario. Acesso em: 17 ago. 2025.

BRASIL. **Lei Federal nº 7.889, de 23 de novembro de 1989**. Dispõe sobre normas complementares de padronização, classificação, inspeção e fiscalização de produtos de origem animal, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 24 nov. 1989.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Portaria nº 368, de 4 de setembro de 1997**. Aprova o Regulamento Técnico sobre as Condições Higiênico-Sanitárias e de Boas Práticas de Fabricação para Estabelecimentos Elaboradores/Industrializadores de Alimentos. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 9 set. 1997.

BRASIL. **Decreto nº 5.741, de 30 de março de 2006**. Regulamenta a Lei nº 9.712, de 20 de novembro de 1998, que dispõe sobre a criação do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (SUASA). Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 31 mar. 2006.

BRASIL. **Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017**. Regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 30 mar. 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Decreto n° 9.013, de 2017 RIISPOA - Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal: Perguntas e Respostas**. 2022. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-animal/arquivos-publicacoes-dipoa/perguntas-e-respostas-decreto-9-013-de-2017-regulamento-de-inspecao-industrial-e-sanitaria-de-produtos-de-origem-animal. Acesso em: 31 de out. de 2025.

BRASIL, 2025. Agricultura e Pecuária. **Obter selo arte para produtos artesanais**. Disponível em: https://www.gov.br/pt-br/servicos/obter-selo-arte-para-produtores-artesanais. Acessado em: 26 mar. 2026.

BRASIL, 2025. Ministério da Agricultura e Pecuária. **SISBI-POA.** Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/defesa-agropecuaria/suasa/sisbi-1. Acessado em: 27 mar 2026.

CATI, 2023. Disponível em: https://www.cati.sp.gov.br/portal/themes/unify/arquivos/produtos-e-servicos/acervo-tecnico/DT%20131%20-%20Diagn%C3%B3stico%20dos%20SIM%20no%20Estado%20SP_web.pdf. Acessado em 25 de mar. 2026.

CARVALHO, L. A., NOVAES, L. P., MARTINS, C. E., ZOCCAL, R., MOREIRA, P., RIBEIRO, A. C. C. L., LIMA, V. M. B. **Importância Econômica**. Embrapa Gado de Leite – Sistema de Produção, 2. 2002.

CETESB. **Guia Técnico Ambiental de Produtos Lácteos: Série P+L**. 2013. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/consumosustentavel/wp-content/uploads/sites/20/2013/11/laticinio.pdf. Acesso em: 16 ago. 2025.

CETESB. **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.** 2026. Disponível em: https://www.cetesb.sp.gov.br/cetesb. Acessado em: 14 de mai. 2026.

CICESP. **IPOA (SIM)**. 2025. Disponível em: https://cicesp.sp.gov.br/?pag=T1RjPU9EZz1PVFU9T0dVPU9HST1PVEE9T0dFPU9HRT0=&idmenu=35. Acesso em: 18 ago. 2025.

CNM, 2025. Disponível em: https://cnm.org.br/comunicacao/noticias/cnm-divulga-panorama-dos-servicos-de-inspecao-municipal-em-2023. Acessado em: 25 mar. 2026.

COSTA, K. L. V.; CARDOSO, T. S.; PINTO, M. S. **Leite bovino: controle de qualidade e segurança do alimento**. Simpósio de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2023.

DEFESA AGROPECUÁRIA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2021. **Selo Arte**. Disponível em: https://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/informativo/defesa-agrosp-no-003-outubro2021/selo-arte/. Acessado em: 27 mar 2026.

DEFESA AGROPECUÁRIA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Legislações Lei n° 17.453, de 18/11/2021.** 2021. Disponível em: https://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/legislacoes/lei-n-17453-de-18-11-2021,1545.html#:~:text=Legisla%C3%A7%C3%A3o:%20Lei%20n%C2%B0%2017.453,do%20Estado%20de%20S%C3%A3o%20Paulo. Acessado em: 11 de dez de 2025.

DEFESA AGROPECUÁRIA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **A importância dos alimentos inspecionados**. *2023*. Disponível em: https://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/informativo/defesa-agrosp-no-021-abril2023/a-importancia-dos-alimentos-inspecionados/. Acesso em: 27 mar. 2026.

DEFESA AGROPECUÁRIA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **SISP - Resolução simplifica o registro para produtores artesanais se enquadrarem no Serviço de Inspeção de São Paulo**. 2023. Disponível em: https://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/noticias/2023/sisp-resolucao-simplifica-o-registro-para-produtores-artesanais-se-enquadrarem-no-servico-de-inspecao-de-sao-paulo,2023.html. Acesso em: 03 set. 2025.

DEFESA AGROPECUÁRIA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Inspeção de Produtos de Origem Animal**. 2025. Disponível em: https://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/www/programas/?/programa-estadual-de-

inocuidade-dos-alimentos/inspecao-de-produtos-de-origem-animal/&cod=24. Acesso em: 17 ago. 2025.

DEFESA AGROPECUÁRIA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **SISP - Registro de Estabelecimento Industrial**. 2025. Disponível em: https://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/www/servicos/?/sisp-registro-de-estabelecimento/&cod=63. Acesso em: 18 ago. 2025.

DICKEL, E. L. Sistema Brasileiro de Inspeção de Produtos de Origem Animal – SISBI/POA – Nova oportunidade para inspeção e qualidade de produtos de origem animal. **CTPA**, v.1, n.1, 2008. p.48-52.

FRANCO, F. **O problema da informalidade no agronegócio**. 2019. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/colunistas/coluna/o-problema-da-informalidade-no-agronegocio_419432.html. Acesso em: 16 out. 2025.

GUIMARÃES, Y. M.; SIQUEIRA, K. B. **Previsão de Vendas de Lácteos no Brasil**. 2024. Embrapa Gado de Leite, 2023. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1169625/1/Previsao-de-vendas-de-lacteos-no-Brasil.pdf. Acesso em: 30 out. 2025.

HENRIQUE, J. C.; OLIVEIRA, L. D. M.; NUNES, E. L. Análise da cadeia agroindustrial do leite. **Revista Brasileira de Pesquisas Agrícolas**, v. 1, n. 02, 2020, p. 2.

IBGE. **Valor da produção da pecuária e da aquicultura chega a R$ 132,8 bilhões em 2024, com recorde nas produções de leite, ovos de galinha e mel.** 2025. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/44534-valor-da-producao-da-pecuaria-e-da-aquicultura-chega-a-r-132-8-bilhoes-em-2024-com-recorde-nas-producoes-de-leite-ovos-de-galinha-e-mel. Acesso em: 30 out. 2025.

MACHADO, R. L. P.; MONTEIRO, R. P. **Boas Práticas de Fabricação**. 2018. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1110228/1/cap6queijominasp82a95.pdf. Acesso em: 17 ago. 2025.

MARTINS, M. G. G. **Patógenos em queijos artesanais e os fatores de risco para sua ocorrência**. 2018.

Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA)**. Mapa do Leite**: **Políticas Públicas e Privadas para a Cadeia do Leite**. Brasília, DF, 2025 Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/producao-animal/mapa-do-leite. Acesso em: 08 ago. 2025.

Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA)**. Perguntas e Respostas: Decreto n° 12.408/2025 e o Sisbi**. 2025. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/defesa-agropecuaria/suasa/perguntas-e-respostas-decreto-12-408-2025-e-o-sisbi/perguntas-e-respostas-decreto-12-408-2025-e-o-sisbi. Acesso em: 3 set. 2025.

Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA)**. Serviço de Inspeção Federal (SIF)**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura e Pecuária, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-animal/sif. Acesso em: 17 ago. 2025.

Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). **Solicitar adesão de serviço de inspeção estadual, municipal e consórcio públicos municipais ao SISBI-POA.** Brasília, DF: Ministério da Agricultura e Pecuária, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/pt-br/servicos/solicitar-adesao-de-servico-de-inspecao-estadual-municipal-e-consorcio-publicos-municipais-ao-sisbi-poa. Acesso em: 3 set. 2025.

SANDOVAL, V. L.; RIBEIRO, L. F. Qualidade do leite: sua influência no processamento, requisitos obrigatórios e sua importância para o produto final. **Revista GeTeC**, v. 10, n. 28, 2021.

SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 997, de 31 de maio de 1976**. Dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, 1º jun. 1976.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento (SAA). **Resolução SAA nº 24, de 13 de maio de 1994**. Dispõe sobre a fiscalização de produtos de origem animal em estabelecimentos registrados no SISP. Diário Oficial do Estado de São Paulo, Poder Executivo, São Paulo, SP, 14 maio 1994.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto nº 62.973, de 28 de novembro de 2017.** Altera dispositivos do Regulamento da Lei nº 997, de 1976, e do Decreto nº 47.400, de 2002, referentes ao licenciamento ambiental. São Paulo, SP: Governo do Estado, 2017.

SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 17.373, de 16 de setembro de 2021**. Institui o Selo Paulista do Artesanato. Diário Oficial do Estado de São Paulo, Poder Executivo, São Paulo, SP, 17 set. 2021.

SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 17.453, de 18 de novembro de 2021**. Dispõe sobre a manipulação e o beneficiamento de produtos de origem animal, sob a forma artesanal, bem como sobre sua inspeção e fiscalização sanitária no Estado de São Paulo. Diário Oficial do Estado de São Paulo, Poder Executivo, São Paulo, SP, 19 nov. 2021.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto nº 66.286, de 24 de novembro de 2021**. Regulamenta a Lei nº 17.373, de 16 de setembro de 2021, que institui o Selo Paulista do Artesanato. Diário Oficial do Estado de São Paulo, Poder Executivo, São Paulo, SP, 25 nov. 2021.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto nº 66.286, de 01 de dezembro de 2021**. Regulamenta a Lei nº 17.373, de 18 de maio de 2021, que dispõe sobre a inspeção e a fiscalização sanitária de produtos de origem animal no Estado de São Paulo. São Paulo: Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo, 2021.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto nº 66.523, de 23 de fevereiro de 2022**. Regulamenta a Lei nº 17.453, de 18 de novembro de 2021, que dispõe sobre a manipulação e o beneficiamento de produtos de origem animal, sob a forma artesanal, bem como sobre sua inspeção e fiscalização sanitária no Estado de São Paulo. Diário Oficial do Estado de São Paulo, Poder Executivo, São Paulo, SP, 24 fev. 2022.

SCALCO, A. R.; TOLEDO, J. C. Gestão da qualidade: um estudo multicasos na cadeia de produção de leite e derivados. XIII SIMPEP, 2006.

SEBRAE. **Formalização para agroindústrias**: **principais tipos e requisitos.** 2025. Disponível em: https://sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Ufs/PE/Anexos/agroind%C3%Bastrias.pdf. Acesso em: 16 out. 2025.

SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2025. **Feap SP Artesanal + Legal.** Disponível em: agriculturasp.com.br. Acessado em: 11 de dez de 2025.

SECRETARIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA. **Manual de Identidade Visual SISBI**. 2009. Disponível em file:///C:/Users/Silvia/Downloads/manual-de-identidade-visual-da-marca-sisbi.pdf. Acessado em 20 de mar de 2026.

SEVERINO, A.J. **Metodologia do trabalho científico**. 24.ed. rev. e atual. São Paulo: Cortez, 2016.

SILVA, A. M., VINHA, M., B., DIAS, R. Q. **Boas Práticas de Fabricação e Produção de Leite**. 2016. Disponível em: file:///C:/Users/netie/Downloads/BRT-boaspraticasfabricacaoeproducaoleite-Incaper.pdf. Acesso em: 20 set. 2025.

SORIO, A. **Cadeia Agroindustrial do Leite no Brasil: Diagnóstico dos Fatores Limitantes à Competitividade**. 2019. Disponível em: https://asbram.org.br/wp5/wp-content/uploads/2019/01/Estudo_do_Leite_Versao_Digital-minimizada.pdf. Acesso em: 30 out. 2025.

SOUZA, I. L.; FERREIRA, A. C. B.; SANTOS, J. B.; SIQUEIRA, S. G. S. O cenário pós integração do SISBI-POA em uma indústria de beneficiamento de carne e produtos cárneos. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v.8, n.1, 2025. p. 1-17.

VEIGA, T. G. Medidas de adequação ambiental para um laticínio de pequeno porte com vista à implantação de um sistema de gestão ambiental, 2018.

VENTURA, D. S. P. Queijos artesanais brasileiros: características tecnológicas, segurança microbiológica e relevância sociocultural. 2021.

TECNOLOGIAS APLICADAS À PERÍCIA CRIMINAL BRASILEIRA: UMA REVISÃO
TECHNOLOGIES APPLIED TO BRAZILIAN CRIMINAL FORENSICS: A REVIEW

Giovanna Victória Souza Venier[1]
Isabel Cristine de Souza Soares[2]
Rafael Souza dos Santos[3]
Rafael de Sá Mascarenhas[4]

RESUMO: Analisam-se o panorama tecnológico da perícia criminal brasileira, suas principais lacunas estruturais e as contribuições da Inteligência Artificial (IA) para a modernização da área. A pesquisa foi desenvolvida por meio de revisão bibliográfica narrativa, de caráter exploratório e descritivo, com análise de aproximadamente cinquenta fontes obtidas nas bases Google Scholar, SciELO e Portal de Periódicos CAPES, publicadas entre 2012 e 2025. Foram examinados estudos relacionados à aplicação de aprendizado de máquina, redes adversariais generativas (GANs), modelos de difusão, geração aumentada por recuperação (RAG), agentes de IA, modelos de linguagem de pequeno porte (SLMs) e IA multimodal no contexto forense. Os resultados demonstram que países como Estados Unidos, Reino Unido e Alemanha já empregam soluções baseadas em IA em atividades como reconhecimento biométrico, análise de DNA e reconstrução tridimensional de cenas, enquanto o Brasil ainda apresenta baixo nível de adoção dessas tecnologias. Também foram identificadas limitações técnicas, financeiras, formativas e normativas que dificultam sua implementação nos institutos de criminalística. Conclui-se que a adoção de um ecossistema de IA soberano, fundamentado em modelos executados localmente e compatível com os requisitos da Lei Geral de Proteção de Dados e da cadeia de custódia digital, pode contribuir para a transformação da perícia criminal em um modelo mais eficiente, padronizado, auditável e orientado por dados, ampliando a capacidade analítica dos profissionais sem substituir sua responsabilidade técnica.
Palavras-chave: Ciências Forenses; Inteligência Artificial Multimodal; Modelos de Linguagem; Soberania de Dados Forenses; Suicídio.

ABSTRACT: This study analyzes the technological landscape of Brazilian criminal forensics, its main structural gaps, and the contributions of Artificial Intelligence (AI) to the modernization of the field. The research was conducted through an exploratory and descriptive narrative literature review, based on the analysis of approximately fifty sources retrieved from Google Scholar, SciELO, and the CAPES Periodicals Portal, published between 2012 and 2025. Studies addressing the application of machine learning, generative adversarial networks (GANs), diffusion models, retrieval-augmented generation (RAG), AI agents, small language models (SLMs), and multimodal AI in forensic contexts were examined. The results indicate that countries such as the United States, the United Kingdom, and Germany already employ AI-based solutions in activities including biometric recognition, DNA analysis, and three-

Graduanda em Gestão da Tecnologia da Informação - Faculdade de Tecnologia de Itapetininga (FATEC Itapetininga) - E-mail: giovannavsvenier@gmail.com [1]
Graduanda em Gestão da Tecnologia da Informação - Faculdade de Tecnologia de Itapetininga (FATEC Itapetininga) - E-mail: ibel69887@gmail.com [2]
Graduando em Gestão da Tecnologia da Informação - Faculdade de Tecnologia de Itapetininga (FATEC Itapetininga) - E-mail: souzarafael.santos2004@gmail.com [3]
Mestre em Computação Aplicada e Doutorando em Educação - Faculdade de Tecnologia de Itapetininga (FATEC Itapetininga) - E-mail: rafael.mascarenhas@cps.sp.gov.br [4]

dimensional scene reconstruction, whereas Brazil still presents a low level of adoption of these technologies. Technical, financial, educational, and regulatory limitations were also identified as barriers to implementation within forensic institutes. It is concluded that the adoption of a sovereign AI ecosystem, based on locally deployed models and aligned with the requirements of the General Data Protection Law and the digital chain of custody, may contribute to transforming criminal forensics into a more efficient, standardized, auditable, and data-driven model, enhancing professionals' analytical capabilities without replacing their technical responsibility.
Keywords: Forensic Data Sovereignty; Forensic Sciences; Language Models; Multimodal Artificial Intelligence; Suicide.

1 INTRODUÇÃO

A perícia criminal constitui um dos pilares do sistema de justiça, sendo responsável pela coleta, análise e interpretação de vestígios que subsidiam a produção da prova técnica. No Brasil, essa atividade enfrenta desafios relacionados à insuficiência de recursos materiais e humanos, à ausência de padronização entre institutos de criminalística e à limitada incorporação de tecnologias capazes de atender à crescente complexidade das investigações.

Entre os casos que demandam elevado rigor técnico destacam-se as mortes violentas de classificação complexa, especialmente os suicídios, cuja correta interpretação depende da análise integrada de diferentes tipos de evidências. Nesse contexto, a evolução da Inteligência Artificial (IA) tem ampliado as possibilidades de aplicação tecnológica na área forense por meio de recursos como aprendizado de máquina, modelos de linguagem, visão computacional e sistemas multimodais capazes de processar informações textuais, visuais e digitais de forma integrada.

Apesar dos avanços observados em países como Estados Unidos, Reino Unido e Alemanha, a adoção dessas tecnologias na perícia criminal brasileira ainda ocorre de forma limitada. Essa realidade evidencia a necessidade de discutir estratégias que promovam a modernização da atividade pericial, respeitando os requisitos legais relacionados à proteção de dados e à cadeia de custódia digital.

Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo analisar o panorama tecnológico da perícia criminal brasileira e as contribuições da Inteligência Artificial para sua modernização. Especificamente, busca-se caracterizar as principais deficiências tecnológicas do setor, descrever aplicações forenses da IA, discutir seu potencial na investigação de suicídios e apresentar estratégias compatíveis com os requisitos de segurança, auditabilidade e soberania de dados.

2 METODOLOGIA

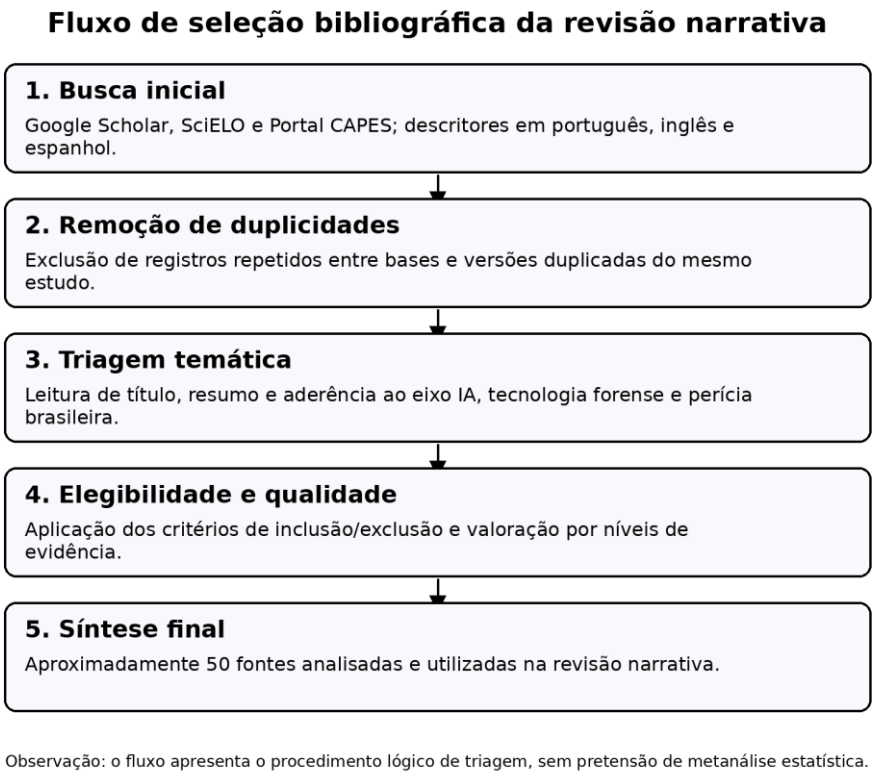
A pesquisa caracteriza-se como uma revisão bibliográfica narrativa, de natureza exploratória e descritiva, realizada com o objetivo de analisar a aplicação da Inteligência Artificial na perícia criminal, com ênfase no contexto brasileiro. A busca das publicações ocorreu entre janeiro e março de 2026 nas bases Google Scholar, SciELO e Portal de Periódicos CAPES.

Foram utilizados os descritores "perícia criminal", "inteligência artificial", "ciências forenses", "investigação forense", "tecnologia forense", "machine learning forensics", "criminal forensics", "artificial intelligence forensics", "multimodal AI forensics" e "small language models forensic", combinados por meio dos operadores booleanos AND e OR, em português, inglês e espanhol.

Os critérios de inclusão compreenderam estudos publicados entre 2012 e 2025, nos idiomas português, inglês e espanhol, relacionados à aplicação de tecnologias digitais e Inteligência Artificial em contextos forenses. Foram excluídas publicações sem autoria identificada, materiais opinativos sem fundamentação técnica e trabalhos sem relação direta com o tema. Ao final do processo de seleção, aproximadamente cinquenta fontes foram analisadas, incluindo artigos científicos, livros, dissertações, teses e relatórios técnicos.

Os dados obtidos foram submetidos à análise qualitativa e comparativa, permitindo identificar aplicações, benefícios, limitações e desafios relacionados ao uso da Inteligência Artificial na perícia criminal brasileira.

Figura 1 – Fluxo de seleção bibliográfica da revisão narrativa



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Quadro 1 – Principais fontes selecionadas e respectivas contribuições

Autor(es)	Ano	Título / Fonte	Contribuição ao estudo
Padilha et al.	2021	A Inteligência Artificial e os desafios da Ciência Forense Digital no século XXI. Estudos Avançados.	Mapeamento dos desafios da IA na ciência forense digital, análise do cenário internacional e discussão sobre aplicações forenses emergentes.
Santos et al.	2021	Desafios estruturais da perícia criminal no Brasil. Rev. Brasileira de Ciências Policiais.	Dados sobre sobrecarga, escassez de peritos e desigualdade regional; argumento estrutural do artigo.
Oliveira et al.	2025	Influence of racial bias in facial recognition. Research, Society and Development.	Evidência empírica do viés algorítmico em reconhecimento facial; âncora da análise ética.
Costa; Abreu	2024	O uso de IA na análise de documentos forenses: revisão sistemática. Revista Base Científica.	Sistematização de aplicações de PLN forense; fundamenta a proposta de análise de notas de suicídio.
Dinov	2023	Data Science and Predictive Analytics. Springer.	Fundamento técnico de ML aplicado à análise de DNA e dados laboratoriais forenses.
Silva, C. G.	2024	O impacto da IA na investigação criminal. PUC-SP (Dissertação).	Análise jurídica e técnica da adoção de IA na investigação; perspectiva nacional atualizada.

Autor(es)	Ano	Título / Fonte	Contribuição ao estudo
Goodfellow; Bengio; Courville	2016	Deep Learning. MIT Press.	Obra fundante das redes neurais profundas e GANs; referencial teórico primário da seção de fundamentos.
Wolf et al.	2020	Transformers: State-of-the-Art NLP. EMNLP 2020.	Base técnica dos modelos Transformer (BERT, RoBERTa) aplicados à análise de documentos forenses.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 PERÍCIA CRIMINAL NO BRASIL

3.1.1 Conceito, Evolução Histórica e Principais Áreas de Atuação

A perícia criminal desempenha papel fundamental na investigação de crimes e na promoção da justiça, utilizando métodos técnico-científicos para a coleta, análise e interpretação de vestígios. O perito criminal atua de forma imparcial na análise de evidências biológicas, digitais, documentais e físicas, produzindo laudos que subsidiam a tomada de decisão no âmbito judicial (APCF, [s.d.]). De acordo com o Código de Processo Penal, a prova pericial possui relevância essencial na apuração de infrações penais, especialmente em casos de morte violenta (Brasil, 1941).

No Brasil, a institucionalização da perícia criminal ganhou destaque a partir da década de 1930, com a criação dos primeiros institutos de criminalística e a ampliação das atividades periciais em âmbito nacional.

Atualmente, a criminalística abrange diversas especialidades, entre elas a balística forense, a documentoscopia, a papiloscopia, a toxicologia, a entomologia forense, a tanatologia e a análise de manchas de sangue. Essas áreas atuam de forma complementar na identificação, preservação e interpretação dos vestígios, contribuindo para a reconstrução dos fatos e para a produção de provas técnico-científicas confiáveis (Miranda, 2014; Rodrigues, Martins e Pedro, 2023).

3.1.2 Deficiências Estruturais e Tecnológicas

Apesar da relevância da perícia criminal para o sistema de justiça, o cenário brasileiro ainda apresenta importantes limitações estruturais e tecnológicas. Entre os principais desafios destacam-se a insuficiência de recursos destinados à modernização dos institutos de criminalística, a sobrecarga das equipes periciais, a escassez de profissionais especializados e a distribuição desigual de recursos entre os estados (Santos et al., 2021). Além disso, a falta de investimentos em novas tecnologias e na atualização dos equipamentos existentes dificulta a adoção de métodos mais eficientes de análise e processamento de evidências (Douglas; Greco; CSI, 2022).

Outro problema relevante refere-se à ausência de padronização completa dos procedimentos periciais. Diferenças metodológicas entre institutos e unidades federativas podem gerar inconsistências na produção dos laudos, dificultando a comparação entre casos, a integração de informações e a construção de bases de dados nacionais. Soma-se a esse cenário a limitação de ferramentas capazes de analisar de forma integrada dados textuais, imagens e vídeos, o que restringe a exploração de evidências cada vez mais presentes nas investigações contemporâneas (Martins e Thiago, 2022).

Essas limitações impactam não apenas a eficiência operacional dos institutos de criminalística, mas também a qualidade e a uniformidade da prova pericial. Diferenças nos padrões de documentação, na terminologia empregada e na interpretação dos vestígios podem dificultar a consolidação de procedimentos nacionais e comprometer a confiança dos diversos atores do sistema de justiça nos resultados produzidos pela perícia criminal.

3.2 SUICÍDIO COMO OBJETO DE INVESTIGAÇÃO PERICIAL

3.2.1 Epidemiologia, Relevância e Desafios Técnicos

O suicídio é definido como o ato intencional de tirar a própria vida e constitui um importante problema de saúde pública, envolvendo fatores psicológicos, sociais, culturais e biológicos. Segundo a Organização Mundial da Saúde, mais de 700 mil pessoas morrem por suicídio anualmente, sendo essa a quarta principal causa de morte entre indivíduos de 15 a 29 anos (OMS, 2024). No Brasil, a taxa de mortalidade por suicídio passou de 4,3 para 7,8 óbitos por 100 mil habitantes entre 2000 e 2021,

representando um crescimento de 79,9% no período (IBGE, 2024). Além disso, a Lei nº 13.968/2019 ampliou a relevância da investigação pericial ao tipificar como crime as condutas de induzir, instigar ou auxiliar o suicídio.

No contexto forense, a investigação de mortes classificadas como suicídio exige análise detalhada dos vestígios presentes na cena, das lesões observadas no corpo e das circunstâncias que envolvem o evento. Entre os elementos avaliados estão os fenômenos cadavéricos, a dinâmica da ocorrência, o mecanismo da morte e a compatibilidade entre os vestígios encontrados e a hipótese de autolesão.

Tavares et al. (2021) destacam que a diferenciação entre suicídio, acidente e homicídio pode depender da interpretação de indicadores específicos, como características de lesões por asfixia, posicionamento do corpo e presença de sinais de luta ou defesa. Da mesma forma, Douglas, Greco e CSI (2022) descreve critérios técnicos utilizados na análise de ferimentos por arma de fogo e instrumentos perfurocortantes, os quais auxiliam na identificação de lesões potencialmente autoinfligidas. Dessa forma, a correta interpretação dos vestígios torna-se fundamental para a elucidação dos fatos e para a produção de laudos periciais confiáveis.

3.2.2 Limitações das Ferramentas Atuais e a Oportunidade da IA Multimodal

As limitações tecnológicas da perícia criminal tornam-se especialmente evidentes nas investigações de suicídio.

Outro desafio recorrente está relacionado à preservação da cena. Em muitos casos, familiares ou terceiros alteram o ambiente antes da chegada das equipes periciais, comprometendo a análise da posição do corpo, da disposição dos objetos e de outros elementos relevantes para a investigação. Nesse contexto, ferramentas digitais de documentação automatizada podem contribuir para a preservação e o registro detalhado das condições originais da cena.

Além disso, a limitada disponibilidade de bases de dados forenses estruturadas em língua portuguesa dificulta o desenvolvimento de soluções baseadas em Inteligência Artificial voltadas à análise de documentos, mensagens e eventuais textos deixados pelas vítimas. Diante desse cenário, a IA multimodal surge como alternativa promissora por permitir a integração de diferentes tipos de evidência em um mesmo processo analítico, combinando informações textuais, visuais e contextuais. Essa

capacidade pode ampliar o suporte oferecido aos peritos, contribuindo para análises mais completas e consistentes sem substituir a avaliação técnica humana.

3.3 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA À PERÍCIA CRIMINAL

3.3.1 Panorama das Arquiteturas Relevantes para a Forense Brasileira

A Inteligência Artificial (IA) compreende sistemas computacionais capazes de executar tarefas que exigem raciocínio, reconhecimento de padrões e tomada de decisão baseada em dados (Russell e Norvig, 2020). No contexto forense, destacam-se tecnologias como aprendizado de máquina, visão computacional, processamento de linguagem natural, redes neurais profundas, modelos de linguagem, modelos de difusão e sistemas multimodais (Goodfellow, Bengio e Courville, 2016).

Segundo Costa e Abreu (2024), essas tecnologias apresentam potencial para ampliar a eficiência das atividades periciais por meio da automação de tarefas repetitivas, da análise de grandes volumes de dados e do apoio à tomada de decisão. Entretanto, sua utilização deve ocorrer como ferramenta de suporte às atividades do perito, mantendo a supervisão humana sobre todas as etapas do processo investigativo e da elaboração dos laudos.

As diferentes arquiteturas de IA apresentam características, aplicações e limitações distintas. No contexto brasileiro, sua adoção também depende de fatores como infraestrutura tecnológica, disponibilidade de dados, capacitação profissional e conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD). O Quadro 2 apresenta uma síntese das principais arquiteturas de IA com potencial de aplicação na perícia criminal brasileira, destacando suas aplicações forenses, limitações e viabilidade de implementação.

Quadro 2 – Arquiteturas de IA e viabilidade de implementação na perícia criminal brasileira

Arquitetura	Aplicação Forense Principal	Limitações	Viabilidade no Contexto Brasileiro
Modelo de Difusão (Diffusion Model)	Reconstrução, restauração e geração controlada de imagens para fins experimentais; apoio à análise de autenticidade por comparação com detectores especializados	Custo computacional elevado; instabilidade no treinamento; risco de síntese de evidências falsas	Preferencialmente em ambiente local ou nuvem governamental homologada; APIs externas apenas para dados sintéticos, anonimizados ou previamente autorizados.

Arquitetura	Aplicação Forense Principal	Limitações	Viabilidade no Contexto Brasileiro
RAG + Agente de IA (Retrieval-Augmented Generation)	Padronização de laudos, sugestão de hipóteses forenses, automação de cronologias comportamentais, cruzamento de dados multimodais	Qualidade dependente do corpus; risco de alucinação do LLM; exige corpus forense em português	Implementação incremental; compatível com SLMs locais; demanda curadoria documental, controle de acesso e validação humana das citações recuperadas.
SLM (Small Language Model)	Análise textual forense local, PLN de documentos sensíveis (notas de suicídio, laudos), geração de relatórios sem tráfego de dados	Capacidade reduzida em tarefas complexas e raciocínio especializado quando comparados a LLMs de grande porte; exige fine-tuning específico para domínio forense	Modelos de pequeno porte podem operar localmente em estações de trabalho ou servidores institucionais, favorecendo a soberania dos dados e a conformidade com a LGPD.
IA Multimodal (Vision-Language Models)	Análise simultânea de texto, imagens, documentos digitalizados e outros vestígios digitais; detecção de inconsistências entre nota escrita e cena do crime	Modelos maduros (GPT-4V, Gemini) dependem de API externa; SLMs multimodais ainda em amadurecimento	Modelos multimodais abertos podem apoiar triagens locais de menor escala; casos sensíveis exigem execução controlada e preservação integral dos vestígios originais.
Modelo de Difusão (Diffusion Model)	Detecção de deepfakes de vídeo e áudio; verificação de autenticidade de evidências digitais capturadas em campo	Alta demanda computacional na inferência; risco de falsos positivos em mídias comprimidas com artefatos	Detectores abertos podem ser executados localmente como etapa de triagem, sem dispensar perícia audiovisual especializada e registro de cadeia de custódia.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

3.3.2 GANs e Modelos de Difusão

As Redes Adversariais Generativas (GANs) são modelos de Inteligência Artificial compostos por dois módulos que atuam de forma competitiva: um gerador, responsável por produzir dados sintéticos, e um discriminador, encarregado de diferenciar dados reais dos gerados artificialmente. Esse processo permite o desenvolvimento de modelos capazes de criar imagens e outros conteúdos com elevado grau de realismo (Goodfellow, Bengio e Courville, 2016).

No contexto forense, as GANs podem ser aplicadas na reconstrução de imagens degradadas, no aprimoramento da qualidade de fotografias obtidas em condições adversas e na geração de conjuntos sintéticos de treinamento para sistemas de análise automatizada. Outra aplicação relevante está relacionada à identificação de conteúdos manipulados digitalmente, especialmente diante da crescente disseminação de deepfakes.

Os modelos de difusão também vêm sendo utilizados na geração e detecção de conteúdos sintéticos. Embora ofereçam novas possibilidades para a análise de evidências digitais, seu uso amplia os desafios relacionados à autenticidade das informações e à preservação da cadeia de custódia.

Para a realidade dos institutos brasileiros, ferramentas de detecção de conteúdo sintético podem atuar como mecanismo complementar de triagem, auxiliando os peritos na identificação de possíveis adulterações sem substituir a análise técnica especializada e a validação humana dos resultados.

3.3.3 RAG e Agentes de Inteligência Artificial

A Geração Aumentada por Recuperação (Retrieval-Augmented Generation – RAG) combina modelos de linguagem com mecanismos de busca em bases documentais, permitindo que as respostas geradas sejam fundamentadas em informações previamente armazenadas e recuperadas de forma contextualizada. Diferentemente dos modelos que dependem apenas do conhecimento aprendido durante o treinamento, sistemas RAG podem consultar documentos específicos, aumentando a precisão das respostas e reduzindo a ocorrência de informações incorretas ou não verificáveis.

No contexto da perícia criminal, a utilização de sistemas RAG pode contribuir para a padronização de laudos, recuperação de casos semelhantes, consulta a normas técnicas e acesso a jurisprudências relacionadas às investigações. A integração dessas informações em uma única plataforma tem potencial para reduzir inconsistências entre institutos periciais e ampliar o acesso ao conhecimento especializado.

Uma evolução dessa abordagem corresponde aos agentes de Inteligência Artificial, sistemas capazes de executar tarefas de forma coordenada e automatizada a partir de múltiplas fontes de informação. Em aplicações forenses, esses agentes podem auxiliar na organização de dados provenientes de registros documentais, comunicações digitais, informações geográficas e evidências coletadas na investigação, oferecendo suporte à construção de cronologias e à identificação de padrões relevantes para a análise pericial.

Embora apresentem potencial para aumentar a eficiência e reduzir o tempo dedicado a atividades operacionais, os sistemas baseados em RAG e agentes de IA devem atuar como ferramentas de apoio ao perito, mantendo a supervisão humana sobre a interpretação das evidências e a elaboração das conclusões técnicas.

3.3.4 Small Language Models e Soberania dos Dados

A utilização de serviços de Inteligência Artificial baseados em nuvem pode representar desafios relevantes para a perícia criminal, especialmente em razão da natureza sensível dos dados analisados. Informações como imagens de vítimas, laudos periciais, depoimentos e registros biológicos estão sujeitas às exigências da Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD), demandando elevados níveis de segurança, rastreabilidade e controle de acesso (Brasil, 2018).

Nesse contexto, os Small Language Models (SLMs) surgem como alternativa promissora para aplicações forenses. Diferentemente dos grandes modelos hospedados em servidores externos, os SLMs podem ser executados localmente, reduzindo a necessidade de compartilhamento de dados sensíveis com plataformas de terceiros. Essa característica favorece a preservação da cadeia de custódia digital e amplia a autonomia tecnológica dos órgãos responsáveis pela investigação criminal.

Além dos aspectos relacionados à segurança e à privacidade, os SLMs apresentam potencial para serem adaptados às particularidades do contexto brasileiro. Modelos treinados ou ajustados para a língua portuguesa e para a terminologia técnico-jurídica nacional tendem a oferecer resultados mais adequados às necessidades da perícia criminal, contribuindo para atividades como análise documental, extração de informações, padronização de laudos e apoio à produção de relatórios técnicos.

Dessa forma, a adoção de modelos de linguagem executados localmente pode representar uma estratégia relevante para conciliar inovação tecnológica, proteção de dados e soberania informacional no âmbito das ciências forenses.

3.3.5 Inteligência Artificial Multimodal

Os sistemas tradicionais de Inteligência Artificial costumam processar diferentes tipos de informação de forma separada. Em uma investigação forense, por exemplo, um sistema pode analisar textos, outro pode processar imagens e um terceiro pode ser utilizado para avaliação documental. Essa abordagem fragmentada limita a identificação de relações entre diferentes fontes de evidência, que muitas vezes são fundamentais para a compreensão dos fatos.

A Inteligência Artificial multimodal busca superar essa limitação ao integrar simultaneamente informações provenientes de diferentes modalidades, como textos,

imagens, vídeos e documentos. Essa capacidade permite que os sistemas analisem de forma conjunta elementos que anteriormente eram processados de maneira isolada, ampliando o potencial de interpretação dos vestígios e das evidências disponíveis.

No contexto da investigação de mortes por suicídio, a abordagem multimodal pode auxiliar na análise integrada de notas deixadas pela vítima, características documentais da escrita e elementos observados na cena da ocorrência. A correlação entre essas diferentes fontes de informação pode contribuir para a identificação de inconsistências, padrões relevantes e hipóteses investigativas que dificilmente seriam percebidas por meio da análise isolada de cada evidência.

Apesar de seu potencial, a utilização da IA multimodal deve ocorrer como ferramenta de apoio à atividade pericial. A interpretação dos resultados, a validação dos vestígios e a elaboração das conclusões permanecem sob responsabilidade do perito, garantindo a observância dos princípios técnicos, legais e éticos que regem a produção da prova pericial.

Além disso, o avanço de modelos multimodais executáveis localmente amplia as possibilidades de adoção dessa tecnologia pelos institutos de criminalística, permitindo conciliar inovação tecnológica, proteção de dados sensíveis e preservação da cadeia de custódia digital.

3.3.6 Processamento de Linguagem Natural na Investigação de Suicídios

O Processamento de Linguagem Natural (PLN) corresponde à área da Inteligência Artificial voltada à análise e interpretação automática de textos. No contexto forense, essa tecnologia apresenta potencial para auxiliar a investigação de mortes por suicídio, especialmente na análise de notas, mensagens e outros registros textuais que possam contribuir para a compreensão das circunstâncias do evento.

Estudos em linguística forense indicam que características relacionadas ao vocabulário, à estrutura textual e aos padrões de escrita podem fornecer informações relevantes para a investigação. A análise automatizada desses elementos permite identificar indícios de autenticidade, possíveis inconsistências e padrões linguísticos compatíveis com o perfil de escrita de determinado indivíduo (Costa e Abreu, 2024).

Outra aplicação relevante consiste na estilometria computacional, técnica que utiliza métodos estatísticos para comparar características linguísticas presentes em

diferentes textos. Quando existem registros anteriores produzidos pela vítima, essa abordagem pode auxiliar na verificação de autoria e na identificação de possíveis divergências entre documentos analisados e o padrão de escrita previamente conhecido.

3.3.7 Análise Comportamental Digital e Detecção de Padrões

O avanço das tecnologias de Inteligência Artificial também tem ampliado as possibilidades de análise comportamental em ambientes digitais. A partir do processamento automatizado de publicações em redes sociais, mensagens eletrônicas e outros registros digitais, algoritmos podem identificar padrões de comportamento, alterações de linguagem e sinais associados a situações de risco, contribuindo tanto para ações preventivas quanto para investigações posteriores aos eventos analisados.

No contexto forense, a análise de dados digitais pode auxiliar na identificação de padrões temporais, relações entre indivíduos e informações relevantes para a reconstrução de eventos. Técnicas de Processamento de Linguagem Natural permitem examinar grandes volumes de conteúdo textual, identificando temas recorrentes, mudanças comportamentais e possíveis indícios relacionados ao estado emocional dos indivíduos.

Além das aplicações textuais, métodos baseados em Inteligência Artificial vêm sendo utilizados na análise de registros financeiros, comunicações eletrônicas e outros vestígios digitais, ampliando a capacidade investigativa dos órgãos responsáveis pela apuração dos fatos (Al Marri e Alali, 2020). Dessa forma, a análise comportamental digital representa uma ferramenta complementar às técnicas periciais tradicionais, contribuindo para a identificação de padrões e para a produção de informações que possam auxiliar a interpretação dos vestígios.

3.4 POTENCIAL TRANSFORMADOR DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA PERÍCIA BRASILEIRA

3.4.1 Comparativo entre o Brasil e Países Desenvolvidos

A comparação entre o cenário brasileiro e a realidade de países desenvolvidos evidencia diferenças significativas na incorporação de tecnologias avançadas às atividades periciais. Países como Estados Unidos, Reino Unido, Alemanha e Israel já utilizam soluções baseadas em Inteligência Artificial em áreas como reconhecimento biométrico, análise balística automatizada, apoio ao processamento de material genético e reconstrução digital de cenas de crime (Cunha et al., 2020). Em contrapartida, a adoção dessas tecnologias no Brasil ainda ocorre de forma limitada e heterogênea entre os diferentes institutos de criminalística.

Essa diferença está relacionada, em grande parte, às desigualdades de investimento em infraestrutura, capacitação profissional e modernização tecnológica. Como consequência, estados com maior disponibilidade de recursos tendem a apresentar melhores condições operacionais, enquanto unidades com restrições orçamentárias enfrentam dificuldades para incorporar novas ferramentas e metodologias investigativas (Santos et al., 2021).

Nesse contexto, a Inteligência Artificial apresenta potencial para contribuir com a modernização das atividades periciais, apoiando a análise de vestígios, a organização de informações, a padronização documental e a integração de diferentes fontes de dados. Tais aplicações podem favorecer maior eficiência operacional e uniformidade nos procedimentos, desde que implementadas em conformidade com os requisitos técnicos, éticos e legais que regem a atividade pericial.

3.4.2 Integração de Dados e Corpus Forense Brasileiro

Um dos potenciais mais relevantes da Inteligência Artificial para a perícia criminal brasileira está relacionado à integração de dados em escala nacional. A criação de uma plataforma unificada para armazenamento e compartilhamento estruturado de informações periciais, incluindo descrições textuais, imagens, vídeos e laudos técnicos, poderia favorecer o desenvolvimento de soluções treinadas com dados representativos da realidade brasileira. Essa abordagem contribuiria para reduzir limitações decorrentes da utilização de modelos desenvolvidos em contextos culturais e institucionais distintos.

No caso específico das investigações de suicídio e de outras mortes violentas de classificação complexa, a integração entre bases de dados periciais e sistemas

oficiais de informação permitiria ampliar a disponibilidade de informações para análise, favorecendo estudos, validações e o desenvolvimento de ferramentas especializadas.

Nesse contexto, propõe-se a criação de um Corpus Forense Brasileiro (CFB), entendido como um repositório estruturado de dados forenses anonimizados destinados à pesquisa, ao desenvolvimento tecnológico e ao treinamento de sistemas de Inteligência Artificial aplicados à perícia criminal. A existência de uma base nacional padronizada poderia apoiar iniciativas relacionadas a modelos de linguagem em português, sistemas de recuperação de informações e aplicações multimodais voltadas à realidade brasileira.

Para garantir segurança e confiabilidade, a construção desse corpus deve observar princípios de padronização dos registros, anonimização dos dados, controle de acesso e conformidade com a legislação vigente. Inspirado em iniciativas nacionais de integração de dados, o CFB pode representar um passo importante para o fortalecimento da pesquisa e da inovação tecnológica nas ciências forenses brasileiras.

3.4.3 O Exoesqueleto Cognitivo na Atividade Pericial

A aplicação da Inteligência Artificial na perícia criminal não deve ser compreendida como substituição do perito, mas como um mecanismo de ampliação de suas capacidades analíticas. Nesse contexto, propõe-se o conceito de exoesqueleto cognitivo, entendido como um conjunto de ferramentas tecnológicas destinadas a apoiar a coleta, organização, análise e interpretação de informações durante o processo investigativo.

Na atividade pericial, sistemas baseados em Inteligência Artificial podem auxiliar na identificação de vestígios, na organização de registros digitais, na recuperação de casos semelhantes e na padronização da documentação técnica. Essas funcionalidades permitem reduzir tarefas repetitivas e otimizar o tratamento de grandes volumes de dados, liberando tempo para atividades que exigem avaliação especializada e tomada de decisão humana.

A utilização dessas tecnologias também favorece a preservação da memória institucional, uma vez que sistemas de recuperação de informações podem disponibilizar conhecimentos acumulados em laudos, protocolos e casos anteriores. Dessa forma, a experiência pericial deixa de estar restrita ao conhecimento individual

dos profissionais e passa a compor um patrimônio informacional acessível e estruturado.

Entretanto, a interpretação dos vestígios, a validação das evidências e a elaboração das conclusões permanecem sob responsabilidade do perito. Assim, a Inteligência Artificial atua como ferramenta de suporte à atividade técnico-científica, ampliando a capacidade de análise sem substituir a autonomia, a responsabilidade e o julgamento profissional necessários à produção da prova pericial. O Quadro 3 apresenta exemplos de aplicações operacionais compatíveis com essa abordagem.

Quadro 3 – Casos hipotéticos de aplicação operacional de IA na perícia criminal

Situação hipotética	Arquitetura	Uso operacional	Controle necessário
Fotografia forense borrada de mancha, projétil ou documento	GAN / super-resolução	Gerar imagem auxiliar mais nítida para orientar a leitura técnica e a comparação com o vestígio original.	Preservar o arquivo original; registrar hash e metadados; identificar a imagem gerada como material de apoio analítico, vedado seu uso como substituta da evidência original.
Busca de casos semelhantes em laudos anteriores	RAG + SLM local	Recuperar laudos anonimizados, normas técnicas e literatura especializada para sugerir estrutura documental, hipóteses investigativas e referências correlatas.	Exigir rastreabilidade das fontes recuperadas, validação humana das informações e restrição a bases documentais autorizadas.
Nota de suicídio associada a imagens da cena	IA multimodal	Correlacionar texto, documento digitalizado, características gráficas observáveis e elementos visuais da cena para identificar possíveis inconsistências investigativas.	Submeter os resultados à análise documentoscópica e pericial especializada; vedar conclusões automáticas sobre autoria, estado emocional ou intenção.
Atendimento em campo com tablet institucional	Visão computacional + checklist inteligente	Auxiliar o registro da cena por meio de sugestões de fotografias obrigatórias, captura de metadados, catalogação preliminar de vestígios e alerta de lacunas documentais.	Utilizar ambiente seguro, controle de acesso por perfil funcional, registros de auditoria, assinatura digital e validação formal pelo perito responsável.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

3.5 ASPECTOS ÉTICOS, LEGAIS E REGULATÓRIOS

3.5.1 Marco Legal e Regulatório

A adoção de sistemas de Inteligência Artificial na perícia criminal exige observância dos requisitos legais relacionados à proteção de dados, à produção da prova pericial e à preservação da cadeia de custódia. No Brasil, a Lei nº 13.964/2019 (Pacote Anticrime) introduziu dispositivos específicos no Código de Processo Penal voltados ao controle, à rastreabilidade e à documentação dos vestígios coletados durante a investigação criminal (Brasil, 2019). Esses requisitos tornam especialmente relevante a adoção de mecanismos capazes de garantir a integridade, a confiabilidade e a auditabilidade das informações processadas por sistemas digitais.

Outro marco normativo fundamental é a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD), que estabelece princípios e diretrizes para o tratamento de dados pessoais, especialmente aqueles classificados como sensíveis (Brasil, 2018). Considerando que a atividade pericial envolve informações relacionadas à identidade, à saúde, à biometria e a outros dados protegidos, a utilização de soluções baseadas em Inteligência Artificial deve observar critérios rigorosos de segurança, finalidade, necessidade e responsabilização.

Além da legislação vigente, o debate regulatório sobre Inteligência Artificial tem avançado no país por meio de propostas legislativas voltadas à transparência, à supervisão humana e à gestão de riscos associados aos sistemas automatizados. Esse cenário evidencia a necessidade de que a modernização tecnológica da perícia criminal seja acompanhada por mecanismos de governança capazes de assegurar conformidade legal, proteção dos direitos fundamentais e confiabilidade dos resultados produzidos pelas ferramentas de IA.

Nesse contexto, a utilização de modelos executados em ambientes controlados e compatíveis com os requisitos de segurança institucional pode representar alternativa adequada para conciliar inovação tecnológica, proteção de dados e preservação da cadeia de custódia digital.

3.5.2 Cadeia de Custódia Digital e Auditabilidade

A incorporação de sistemas de Inteligência Artificial à perícia criminal exige mecanismos que assegurem rastreabilidade, transparência e controle sobre todas as etapas do processamento das evidências. Nesse contexto, a auditabilidade constitui requisito fundamental para garantir a confiabilidade dos resultados produzidos pelos sistemas computacionais e sua compatibilidade com os princípios da cadeia de custódia digital.

Com o objetivo de atender às exigências legais e éticas associadas ao uso da IA em atividades periciais, propõe-se um protocolo de auditabilidade estruturado em cinco fases, apresentado no Quadro 4. O modelo contempla procedimentos relacionados à documentação da origem dos sistemas utilizados, validação prévia de desempenho, preservação da integridade dos vestígios digitais, revisão humana obrigatória e auditorias periódicas.

Entre os princípios centrais do protocolo destaca-se a supervisão humana contínua, segundo a qual nenhuma informação produzida por sistemas de Inteligência Artificial deve integrar o laudo pericial sem análise e validação de profissional habilitado. Dessa forma, a tecnologia atua como ferramenta de apoio ao processo investigativo, preservando a responsabilidade técnica do perito sobre as conclusões apresentadas.

A adoção de mecanismos de auditabilidade contribui não apenas para a conformidade com a legislação vigente, mas também para o fortalecimento da confiança institucional na utilização de sistemas de Inteligência Artificial aplicados às ciências forenses.

Quadro 4 – Protocolo de auditabilidade para sistemas de IA na cadeia de custódia digital forense

Fase	Ação	Instrumento / Protocolo	Base Legal
1	Registro de proveniência do modelo de IA (versão, data de treinamento, conjunto de dados, origem dos embeddings e parâmetros de configuração)	Arquivo de metadados imutável com hash SHA-256 do modelo; controle de versionamento em repositório institucional; registro de origem das mídias coletadas em campo	Arts. 158-A e 158-B do CPP (cadeia de custódia); Art. 46 da LGPD (segurança e responsabilização)
2	Validação prévia à implantação: teste de desempenho por grupo étnico-racial, faixa etária e ambiente computacional	Métricas de desempenho, taxa de falsos positivos e falsos negativos, análise de equidade e benchmark operacional em infraestrutura institucional	Art. 20 da LGPD (revisão de decisões automatizadas); CF, art. 5º, LIV (devido processo legal)
3	Rastreabilidade dos insumos: preservação criptográfica das imagens, vídeos, áudios e documentos submetidos ao sistema	Registro imutável com carimbo temporal, assinatura digital e verificação de integridade por hash; análise de autenticidade das mídias por ferramentas especializadas antes da utilização pericial	Art. 158-B do CPP (rastreabilidade dos vestígios); Art. 49 da LGPD (segurança)
4	Revisão humana obrigatória (human-in-the-loop): nenhuma saída de IA integra o laudo sem validação de perito habilitado	Formulário de revisão com registro de concordância ou discordância, justificativa técnica e assinatura digital do responsável	Art. 159 do CPP (perícia oficial); Art. 20, §1º, da LGPD (revisão humana)
5	Auditoria periódica pós-implantação: reavaliação semestral de amostras de casos e monitoramento do desempenho do sistema	Comitê multidisciplinar composto por perito, cientista de dados, profissional jurídico e representante institucional; acompanhamento de métricas de desempenho e estabilidade do modelo ao longo do tempo	Art. 6º, X, da LGPD (prestação de contas); CF, art. 71 (controle externo)

Fonte: Elaborado pelos autores (2026), com base em Brasil (2019), Brasil (2018) e Oliveira et al. (2025).

3.5.3 Viés Algorítmico e Reconhecimento Biométrico

A utilização de sistemas de reconhecimento facial e de outras tecnologias biométricas no contexto forense requer atenção especial aos riscos associados ao viés algorítmico. Modelos treinados com bases de dados pouco representativas podem apresentar diferenças de desempenho entre grupos populacionais, gerando

impactos relacionados à idade, gênero, origem regional e características étnico-raciais (Oliveira et al., 2025).

Nesse contexto, a avaliação dos sistemas não deve se restringir à acurácia global. Torna-se necessário analisar indicadores de desempenho para diferentes grupos, verificar taxas de falsos positivos e falsos negativos e validar os modelos em condições compatíveis com a realidade operacional dos institutos de criminalística. Tais medidas contribuem para reduzir riscos de interpretações equivocadas e para aumentar a confiabilidade dos resultados produzidos.

A literatura também destaca a importância da adoção de mecanismos de governança voltados à transparência, à documentação dos modelos utilizados e à supervisão humana dos resultados. A revisão por profissionais capacitados, associada à possibilidade de contestação e verificação independente das evidências, constitui elemento essencial para a utilização responsável dessas tecnologias em investigações criminais.

Dessa forma, o reconhecimento biométrico deve ser compreendido como ferramenta de apoio à atividade investigativa, contribuindo para a triagem e análise de informações, mas não substituindo a avaliação técnica realizada pelos profissionais responsáveis pela produção da prova pericial.

3.5.4 Capacitação Profissional e Desafios de Infraestrutura

A incorporação da Inteligência Artificial às atividades periciais exige não apenas investimentos tecnológicos, mas também o desenvolvimento de novas competências profissionais. Segundo Douglas, Greco e CSI (2022), a utilização adequada dessas ferramentas demanda conhecimentos relacionados à ciência de dados, ao funcionamento dos modelos de Inteligência Artificial, à interpretação crítica dos resultados gerados e aos aspectos éticos e legais envolvidos em sua aplicação.

Nesse contexto, programas de capacitação continuada tornam-se essenciais para preparar os profissionais para a utilização responsável dessas tecnologias. A formação deve contemplar temas como fundamentos de Inteligência Artificial, identificação de limitações e vieses algorítmicos, proteção de dados, cadeia de custódia digital e uso de ferramentas aplicadas à análise forense. Além disso, a atualização curricular de academias de polícia e centros de formação profissional

pode contribuir para aproximar as competências exigidas pelas novas tecnologias das necessidades práticas da atividade pericial.

Paralelamente aos desafios de capacitação, a modernização da perícia criminal depende da existência de infraestrutura tecnológica adequada. A adoção de modelos executados localmente e de projetos-piloto de menor custo pode representar alternativa viável para os institutos brasileiros, reduzindo barreiras de entrada e permitindo a avaliação gradual das soluções propostas. Entretanto, a consolidação dessas iniciativas ainda requer investimentos em armazenamento de dados, ambientes computacionais seguros, equipamentos padronizados e mecanismos de governança capazes de assegurar a confiabilidade das informações processadas.

Dessa forma, a transformação digital da perícia criminal depende da combinação entre tecnologia, capacitação profissional e planejamento institucional. A integração desses elementos é condição necessária para que os benefícios potenciais da Inteligência Artificial possam ser incorporados de forma segura, eficiente e compatível com as exigências legais e operacionais da atividade pericial.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo analisou o panorama tecnológico da perícia criminal brasileira e as contribuições potenciais da Inteligência Artificial para a modernização das atividades periciais, com especial atenção às investigações de mortes violentas de classificação complexa, como os suicídios. A revisão da literatura permitiu identificar limitações estruturais, tecnológicas e organizacionais que dificultam a adoção de soluções avançadas nos institutos de criminalística, evidenciando diferenças significativas em relação ao cenário observado em países que já utilizam ferramentas de IA de forma mais consolidada.

Os resultados analisados indicam que tecnologias como modelos de linguagem, sistemas de recuperação de informações, Inteligência Artificial multimodal e ferramentas de análise de dados apresentam potencial para ampliar a eficiência, a padronização e a capacidade analítica da perícia criminal. Entretanto, sua implementação deve ocorrer de forma compatível com os requisitos legais relacionados à proteção de dados, à cadeia de custódia digital e à supervisão humana das decisões técnicas.

Entre as contribuições deste trabalho destaca-se a proposição do conceito de exoesqueleto cognitivo aplicado à atividade pericial, compreendido como um modelo no qual a Inteligência Artificial atua como ferramenta de apoio ao perito, ampliando sua capacidade de análise sem substituir sua responsabilidade profissional. Também se destaca a relevância da construção de bases de dados estruturadas e representativas da realidade brasileira, condição importante para o desenvolvimento de soluções tecnológicas adequadas ao contexto nacional.

Conclui-se que a transformação digital da perícia criminal brasileira depende da integração entre inovação tecnológica, governança de dados, capacitação profissional e investimentos institucionais. Nesse cenário, a Inteligência Artificial apresenta potencial para contribuir significativamente para a produção de provas mais consistentes, processos mais eficientes e respostas mais qualificadas ao sistema de justiça, desde que sua utilização seja conduzida de forma ética, auditável e cientificamente validada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA BRASIL. **Estudos apontam risco e impacto positivo entre tecnologia e suicídio.** Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2018-08/estudos-apontam-risco-e-impacto-positivo-entre-tecnologia-e-suicidio>. Acesso em: 21 maio 2025.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PERITOS CRIMINAIS FEDERAIS (APCF). **O que é a perícia criminal?** Disponível em: <https://apcf.org.br/pericia-criminal/o-que-e-a-pericia-criminal/>. Acesso em: 21 maio 2025.

AL MARRI, Matar; ALALI, Ahmad. **Financial Fraud Detection using Machine Learning Techniques.** 2020. Master's Capstone (Master of Science in Professional Studies: Data Analytics) – Rochester Institute of Technology, Dubai, 2020. Disponível em: <https://repository.rit.edu/theses/10695/>. Acesso em: 21 maio 2025.
SILVA, José da. **Introdução à metodologia científica**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2020.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil.** Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 5 out. 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 21 maio 2025.

BRASIL. Decreto-Lei nº 3.689, de 3 de outubro de 1941. **Código de Processo Penal.** Diário Oficial da União, Rio de Janeiro, RJ, 13 out. 1941. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del3689.htm. Acesso em: 21 maio 2025.

BRASIL. Lei nº 12.965, de 23 de abril de 2014. **Estabelece princípios, garantias, direitos e deveres para o uso da Internet no Brasil.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 24 abr. 2014. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/lei/l12965.htm. Acesso em: 21 maio 2025.

BRASIL. Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. **Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD).** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 ago. 2018. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm. Acesso em: 21 maio 2025.

BRASIL. Lei nº 13.964, de 24 de dezembro de 2019. **Aperfeiçoa a legislação penal e processual penal.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 dez. 2019. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/lei/l13964.htm. Acesso em: 21 maio 2025.

BRASIL. Câmara dos Deputados. Projeto de Lei nº 2.338, de 2023. **Dispõe sobre o desenvolvimento, o fomento e o uso ético e responsável da inteligência artificial com base na centralidade da pessoa humana.** Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2025. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2487262. Acesso em: 12 maio 2026.

BRASIL. Ministério da Justiça e Segurança Pública. **Diagnóstico da perícia criminal no Brasil.** Brasília, DF: Ministério da Justiça e Segurança Pública, 2012. Disponível em: https://dspace.mj.gov.br/bitstream/1/2310/1/2diagnostico-pericia-criminal.pdf. Acesso em: 21 maio 2025.

CAMARGO, Roberto Mattos Mendes. **Reagente de biureto como ferramenta forense para detecção de sêmen simulado.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/16482. Acesso em: 21 maio 2025.

COSTA, C. Z. G. da; ABREU, D. Q. **O uso de Inteligência Artificial na análise de documentos forenses: uma revisão sistemática.** Revista Base Científica, v. 2, 2024. DOI: 10.52832/rbc503. Disponível em: https://bio10publicacao.com.br/base/article/view/503. Acesso em: 21 maio 2025.

DE MIRANDA, Leví Inimá. **Balística forense: do criminalista ao legista.** Rio de Janeiro: Rubio, 2014. Disponível em: https://issuu.com/editorarubio/docs/issuu_bal__stica. Acesso em: 21 maio 2025.

DE SANTANA, Camila Santos; VILAS BOAS, Daniel Siquieroli. **Entomologia forense: insetos auxiliando a lei.** 2012. Disponível em: https://sites.unisanta.br/revistaceciliana/edicao_08/5.pdf. Acesso em: 21 maio 2025.

DINOV, Ivo D. **Data science and predictive analytics: biomedical and health applications using R.** 2. ed. Cham: Springer International Publishing, 2023.

Disponível em: https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-17483-4. Acesso em: 21 maio 2025.

DOS SANTOS MESQUITA, Luanna Katryne et al. **A importância do odontolegista na identificação forense: uma revisão de literatura.** Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences, v. 7, n. 5, p. 767–787, 2025. Disponível em: https://bjihs.emnuvens.com.br/bjihs/article/view/5770. Acesso em: 21 maio 2025.

DOUGLAS, William; GRECO, Rogério; CSI, Amanda. **Medicina legal à luz do direito penal e do direito processual penal.** 15. ed. Rio de Janeiro: Impetus, 2022.

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ (FIOCRUZ). **Estudo aponta que taxas de suicídio e autolesões aumentam no Brasil.** Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: https://fiocruz.br/noticia/2024/02/estudo-aponta-que-taxas-de-suicidio-e-autolesoes-aumentam-no-brasil. Acesso em: 21 maio 2025.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/150/o/Anexo_C1_como_elaborar_projeto_de_pesquisa_-_antonio_carlos_gil.pdf. Acesso em: 21 maio 2025.

GOODFELLOW, Ian; BENGIO, Yoshua; COURVILLE, Aaron. **Deep learning**. Cambridge: MIT Press, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/320703571_Ian_Goodfellow_Yoshua_Bengio_and_Aaron_Courville_Deep_learning_The_MIT_Press_2016_800_pp_ISBN_0262035618. Acesso em: 21 maio 2025.

GUERREIRO, I. L.; SAMPAIO, C. G. **Papiloscopia forense e revelação de impressões digitais na cena do crime.** Research, Society and Development, v. 8, n. 9, p. e03891229, 2019. Disponível em: https://www.redalyc.org/journal/5606/560662200003/560662200003.pdf. Acesso em: 21 maio 2025.

HILL, Kashmir**. Your face belongs to us: a secretive startup's quest to end privacy as we know it.** New York: Random House, 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **IBGE divulga estudo sobre indicadores ODS e G20, nova versão do Atlas Escolar Geográfico e Relatório de Gestão 2023.** Agência IBGE Notícias, 17 maio 2024. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/39715-ibge-divulga-estudo-sobre-indicadores-ods-e-g20-nova-versao-do-atlas-escolar-geografico-e-relatorio-de-gestao-2023. Acesso em: 21 maio 2025.

KOPPENHAVER, Katherine M. **Forensic document examination: principles and practice.** Totowa, NJ: Humana Press, 2007.

DOUGLAS, William; GRECO, Rogério; CSI, Amanda. **Medicina legal à luz do direito penal e do direito processual penal.** 15. ed. Rio de Janeiro: Impetus, 2022.

OLIVEIRA, A. M. de et al. **Influence of racial bias in the use of facial recognition applied to access control: a critical analysis.** Research, Society and Development, v. 14, n. 2, p. e3014248186, 2025. Disponível em: https://rsdjournal.org/rsd/article/view/48186. Acesso em: 21 maio 2025.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Suicide.** Geneva: World Health Organization, 2024. Disponível em: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/suicide. Acesso em: 21 maio 2025.

PADILHA, Rafael et al. **A Inteligência Artificial e os desafios da Ciência Forense Digital no século XXI.** Estudos Avançados, São Paulo, v. 35, n. 101, p. 113-138, 2021. DOI: 10.1590/S0103-4014.2021.35101.009. Disponível em: https://revistas.usp.br/eav/pt_BR/article/view/185039. Acesso em: 21 maio 2025.

PASSAGLI, Marcos et al. **Toxicologia forense: teoria e prática**. Campinas: Millennium, 2011.

RODRIGUES, Victor Emanuel; MARTINS, Grazieli Olinda; PEDRO, Maria Angélica Marques. **Mimetização da morfologia de manchas de sangue em cenas de crimes.** Revista Científica Unilago, v. 1, n. 1, 2023. Disponível em: https://revistas.unilago.edu.br/index.php/revista-cientifica/article/view/1033. Acesso em: 21 maio 2025.

ROSA, Edson Carlos Zaher et al. **Rigor e livor mortis: o funcionamento do corpo humano após a morte sob a ótica da medicina legal e tanatologia forense.** Revista Tópicos, v. 2, n. 15, p. 1-12, 2024. Disponível em: https://revistatopicos.com.br/artigos/rigor-e-livor-mortis-o-funcionamento-do-corpo-humano-apos-a-morte-sob-a-otica-da-medicina-legal-e-tanatologia-forense. Acesso em: 21 maio 2025.

RUSSELL, Stuart; NORVIG, Peter. **Artificial intelligence: a modern approach.** 4. ed. Hoboken: Pearson, 2020. Disponível em: http://lib.ysu.am/disciplines_bk/efdd4d1d4c2087fe1cbe03d9ced67f34.pdf. Acesso em: 21 maio 2025.

SANTOS, Agostinho. **Tanatologia forense.** Porto: Faculdade de Medicina da Universidade do Porto, 2003. Disponível em: https://www.academia.edu/8913421/Faculdade_de_Medicina_da_Universidade_do_Porto_TANATOLOGIA_FORENSE. Acesso em: 21 maio 2025.

TAVARES, Samuel Lucas Bezerra et al. **Asfixiologia forense: a investigação criminal alicerçada na medicina legal.** Derecho y Cambio Social, v. 18, n. 66, 2021. Disponível em: https://ojs.revistadcs.com/index.php/revista/article/view/2828. Acesso em: 21 maio 2025.

UNIÃO EUROPEIA. **Regulamento (UE) 2024/1689 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 13 de junho de 2024, que estabelece regras harmonizadas em matéria de inteligência artificial.** Jornal Oficial da União Europeia, 2024. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj?locale=pt. Acesso em: 21 maio 2025.

VALENTE, Marília et al**. Fatores de risco e proteção para tentativa de suicídio na adultez emergente.** Ciência & Saúde Coletiva, v. 27, n. 6, p. 2251-2262, 2022. Disponível em: https://cienciaesaudecoletiva.com.br/artigos/fatores-de-risco-e-protecao-para-tentativa-de-suicidio-na-adultez-emergente/15952. Acesso em: 21 maio 2025.

WOLF, Thomas et al. **Transformers: state-of-the-art natural language processing.** In: Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing: System Demonstrations. Association for Computational Linguistics, 2020. p. 38-45. Disponível em: https://aclanthology.org/2020.emnlp-demos.6/. Acesso em: 21 maio 2025.

Fatec Itapetininga | PERSPECTIVA
EDUCAÇÃO, GESTÃO & TECNOLOGIA
v.15 n.29 jan-jun/2026

INFLUÊNCIA DO TIPO DE ALIMENTAÇÃO NO PROCESSO GTAW AUTOMÁTICO SOBRE A MICROESTRUTURA DO AÇO SAE 1020
INFLUENCE OF FEEDING TYPE IN THE AUTOMATED GTAW PROCESS ON THE MICROSTRUCTURE OF SAE 1020 STEEL

Luís Gustavo Capello[1]
Edgar de Souza Dutra[2]
Nasareno das Neves[3]
Felipe Carneiro da Silva[4]
Cleber Marques[5]

RESUMO: O processo de soldagem G*as Tungsten Arc Welding* (GTAW) é amplamente reconhecido pela elevada qualidade metalúrgica e pelo controle térmico proporcionado. Com a evolução dos sistemas de alimentação de material de adição, surgem variações como a alimentação contínua (C-GTAW) e a dinâmica GTAW-DWF (*Dynamic Wire Feed*), que introduz uma dinâmica controlada no fornecimento do arame. Este estudo, fundamentado na tese de doutorado de Neves (2022), investigou a influência da frequência de alimentação dinâmica no processo GTAW automático, evidenciando diferenças significativas entre os modos contínuo e dinâmico. O presente trabalho apresenta um comparativo técnico entre ambos, com foco na análise microestrutural da zona fundida e da zona afetada pelo calor. São discutidos aspectos como taxa de resfriamento, morfologia dos grãos, diluição, estabilidade do arco e influência no controle térmico. Os resultados indicam que o processo GTAW-DWF proporciona refinamento microestrutural superior e maior controle do aporte térmico, contribuindo para melhores propriedades mecânicas e repetibilidade do processo.
Palavras-chave: Acicular, Ferrita, Microestrutura, Perlita, Soldagem, Widmanstätten,

ABSTRACT: The Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) process is widely recognized for its high metallurgical quality and thermal control. With the evolution of filler material feeding systems, variations such as continuous feeding (C-GTAW) and dynamic wire feeding GTAW-DWF (Dynamic Wire Feed) have emerged, introducing controlled wire motion during the process. This study, based on the doctoral thesis of Neves (2022), investigated the influence of dynamic wire feeding frequency in the automated GTAW process, highlighting significant differences between continuous and dynamic modes. The present work presents a technical comparison between both processes, focusing on the microstructural analysis of the fusion zone and heat-affected zone. Aspects such as cooling rate, grain morphology, dilution, arc stability, and influence on thermal control are discussed. The results indicate that the GTAW-DWF process provides superior microstructural refinement and greater heat input control, contributing to improved mechanical properties and process repeatability.
Keywords: Acicular, Ferrite, Microstructure, Pearlite, Welding, Widmanstätten.

Tecnólogo Mecânico: Processos de Soldagem – Faculdade de Tecnologia de Itaquera “Miguel Reale”
E-mail: luis.capello@fatec.sp.gov.br[1]
Mestre em Processos Industriais – Faculdade de Tecnologia de São Paulo – FATEC SP
E-mail: edgar.dutra@cps.sp.gov.br[2]
Doutor em Eng. Mecânica – Faculdade de Tecnologia de São Paulo – FATEC SP
E-mail: nasareno.neves@cps.sp.gov.br[3]
Doutor em Eng. Metalúrgica – Faculdade de Tecnologia de Cotia – FATEC Cotia
E-mail: fcarneirosilva@fatec.sp.gov.br [4]
Doutor em Eng. Mecânica - Universidade Federal de Santa Catarina - LABSOLDA – Departamento de Engenharia Mecânica, E-mail: c.marques@posgrad.ufsc.br[5]

1 INTRODUÇÃO

A soldagem por arco com eletrodo não consumível, conhecida como G*as Tungsten Arc Welding* (GTAW), destaca-se pela elevada qualidade metalúrgica, sendo amplamente utilizada em aplicações que exigem alto controle do aporte térmico e elevada integridade estrutural. Tradicionalmente, o material de adição é introduzido manualmente ou por meio da alimentação contínua, ou *Continuos GTAW* (C-GTAW), o que pode limitar o controle da transferência metálica, da estabilidade da poça de fusão e da uniformidade térmica ao longo do cordão de solda.

Com os avanços tecnológicos, surgiram sistemas automatizados mais sofisticados, como o *GTAW Dynamic Wire Feed* (GTAW-DWF) nos quais a alimentação do arame ocorre de forma dinâmica e sincronizada com o arco elétrico. Essa abordagem possibilita maior controle do processo, reduzindo variações térmicas, favorecendo a estabilidade do arco e promovendo melhorias na qualidade metalúrgica da junta soldada.

Nesse contexto, a análise metalográfica assume papel fundamental na compreensão dos fenômenos envolvidos na soldagem, uma vez que permite correlacionar as condições térmicas do processo com a formação das fases, a morfologia dos grãos e a evolução microestrutural nas regiões da zona fundida (ZF) e da zona afetada pelo calor (ZAC).

A caracterização microestrutural é, portanto, essencial para interpretar o comportamento metalúrgico do material soldado, bem como prever seu desempenho mecânico e sua confiabilidade em serviço. Estudos recentes, como o de Neves (2022), demonstram que a variação da frequência de alimentação dinâmica influencia diretamente a microestrutura e o comportamento metalúrgico e mecânico do material soldado.

Diante desse contexto, torna-se relevante investigar os efeitos desses diferentes modos de alimentação na microestrutura da solda, uma vez que tais características influenciam diretamente as propriedades mecânicas e o desempenho em serviço da junta soldada.

O presente trabalho, tem por objetivo, realizar um comparativo entre as variantes dos processos C-GTAW e GTAW-DWF com foco na análise microestrutural da zona fundida e zona afetada pelo calor.

2 METODOLOGIA

2.1 METAL DE BASE

O metal de base utilizado corresponde ao aço carbono estrutural conforme a *Society of Automotive Engineers* (SAE) classificação SAE 1020, de acordo com a norma SAE J403:2024 (UNS: G10200) e classificado comercialmente, segundo o sistema da *American Iron and Steel Institute* (AISI).

Esse aço é apresenta baixo teor de carbono, cerca de 0,20%, boa soldabilidade e conformabilidade, sendo amplamente empregado em componentes mecânicos como eixos, engrenagens e estruturas metálicas.

A equivalência composicional foi adotada com base na norma SAE J403:2024 e correlacionada por meio do *American Society For Testing And Materials* por sua norma ASTM DS67B — *Handbook of Comparative World Steel Standards*, permitindo relacionar diferentes sistemas normativos com base na composição química dos aços certificados.

As propriedades mecânicas e a composição química encontram-se apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 – Composição química do aço com especificação SAE J403:2024

Designação	Grau	%C	%Mn	%Si	%P	%S	Cr	Ni	Mo
SAE 1020	1020	0,18 – 0,23	0,30 – 0,60	---	≤ 0,04	≤ 0,05	---	---	---

Fonte: Adaptado de ArcelorMittal (2026).

Tabela 2 – Propriedades mecânicas do aço com especificação SAE J403:2024

Designação	Propriedades	Valores
SAE 1020	**Resistência a Tração**	380 MPa
	Limite de Escoamento	210 MPa
	Alongamento	25%
	Dureza Brinell	111

Fonte: Adaptado de ArcelorMittal (2026).

2.2 CONSUMÍVEIS DE SOLDAGEM

Para as variantes do processo (C-GTAW e GTAW-DWF) utilizou-se os mesmos consumíveis, gás de proteção conforme detalhados a seguir.

2.2.1 Arame sólido

O material de adição utilizado nesta pesquisa, foi o arame com a classificação ER70S-6, bitola de 1,2 mm de diâmetro, especificado no código ASME II – Parte C – SFA 5.18 (2025). A composição química e as propriedades mecânicas do material, encontram-se apresentadas nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

Tabela 3 – Composição química do ER70S-6

Designação	%C	%Mn	%Si	%P	%S	Ni	%Cr	%Mo	%V	%Cu
ER70S-6	0,06 - 0,15	1,40 - 1,85	0,80 – 1,15	0,025	0,035	0,15	0,15	0,15	0,03	0,50 (máx)

Fonte: Adaptado de ASME II Parte C - SFA 5.18 (2025).

Tabela 4 – Propriedades mecânicas do ER70S-6

Propriedades	Requisitos
Resistência a Tração	480 MPa
Limite de Escoamento	400 MPa
Alongamento	22%

Fonte: Adaptado de ASME II Parte C - SFA 5.18 (2025).

2.2.2 Eletrodo de tungstênio

O processo GTAW baseia-se na geração de um arco elétrico entre o metal de base e um eletrodo de tungstênio não consumível, sob atmosfera de proteção gasosa inerte, geralmente composta por argônio, hélio ou suas misturas. Apesar do desgaste natural durante a operação, o eletrodo não fornece material metálico à poça de fusão.

Para a execução dos ensaios, emprega-se o eletrodo EWTh-2 de 2,0 mm de diâmetro, constituído de tungstênio com adição de 2% de óxido de tório (ThO_2),

conforme código ASME II Parte C especificação SFA 5.12 (2025), sendo amplamente utilizado devido à sua estabilidade de arco e desempenho térmico no processo GTAW.

2.2.3 Gás de proteção

Para o experimento, utiliza-se o gás de proteção argônio com pureza de 99,99%, para os processos C-GTAW e GTAW-DWF, garantindo um ambiente adequado para a formação e a estabilidade do arco elétrico.

O processo GTAW é caracterizado pela formação de arco elétrico entre o eletrodo não consumível de tungstênio e o metal de base, sob proteção de gás inerte, como argônio ou hélio. Nesse processo, não há transferência metálica pelo arco, o que proporciona maior controle da soldagem. A utilização de gases inertes, como o argônio, proporciona elevada estabilidade do arco e maior limpeza da poça de fusão, reduzindo a presença de gases reativos e eliminando a formação de escória. Além disso, contribui para a diminuição dos níveis de hidrogênio no metal depositado, fator importante para a prevenção de defeitos metalúrgicos.

2.3 EQUIPAMENTOS E PROCESSOS

2.3.1 Sistema e processo de soldagem

Os cordões de solda foram realizados pelos processos C-GTAW e GTAW-DWF, utilizando o sistema automatizado Tartílope V2F com controle de tensão de arco (AVC), conforme ilustrado na Figura 1. Esse sistema possui movimentação motorizada em múltiplos eixos, garantindo estabilidade do arco durante a soldagem. A alimentação dinâmica do arame foi realizada por meio do módulo de alimentação dinâmica (MAD), modelo A7PMDAC, permitindo o controle da frequência e da amplitude do movimento do arame, por meio de integração com a fonte de soldagem. Os equipamentos utilizados contaram com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) através do projeto n° 2018/18904-7, da Fundação de Apoio à Tecnologia (FAT), o Laboratório de Soldagem da Universidade Federal de Santa Catarina (Labsolda-UFSC) e da empresa IMC Soldagem.

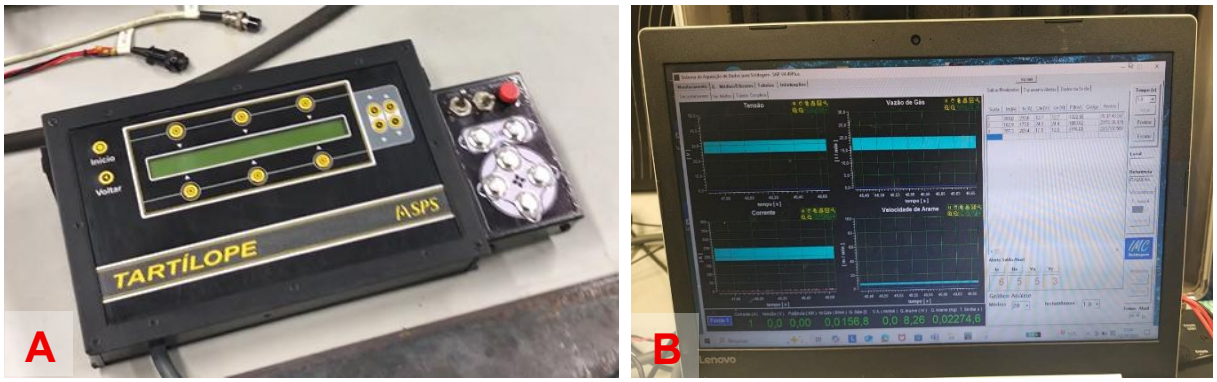
Figura 1 – Componentes do sistema automatizado



Fonte: Adaptado de Neves *et al* (2022) e Labsolda/SPS/UFSC (2019).
Nota: (A) Tartílope V2F com eixo AVC; (B) módulo de alimentação dinâmica (MAD) modelo A7PMDAC.

O equipamento foi operado através de uma unidade de controle eletrônico externo da tocha de soldagem (Figura 2A), visando a programação do sentido de deslocamento, velocidade de soldagem, tipo de oscilação, além do acionamento da alimentação dinâmica. Para a coleta de dados em tempo real, foi utilizado o sistema de aquisição de parâmetros (SAP), conforme visualizado na Figura 2B, sendo possível verificar os parâmetros de soldagem, dentre eles, a tensão de arco (V), a corrente de soldagem (A), a velocidade de alimentação de arame (m/min.) e a vazão do gás de proteção (l/min.).

Figura 2 – Sistema de controle e monitoramento

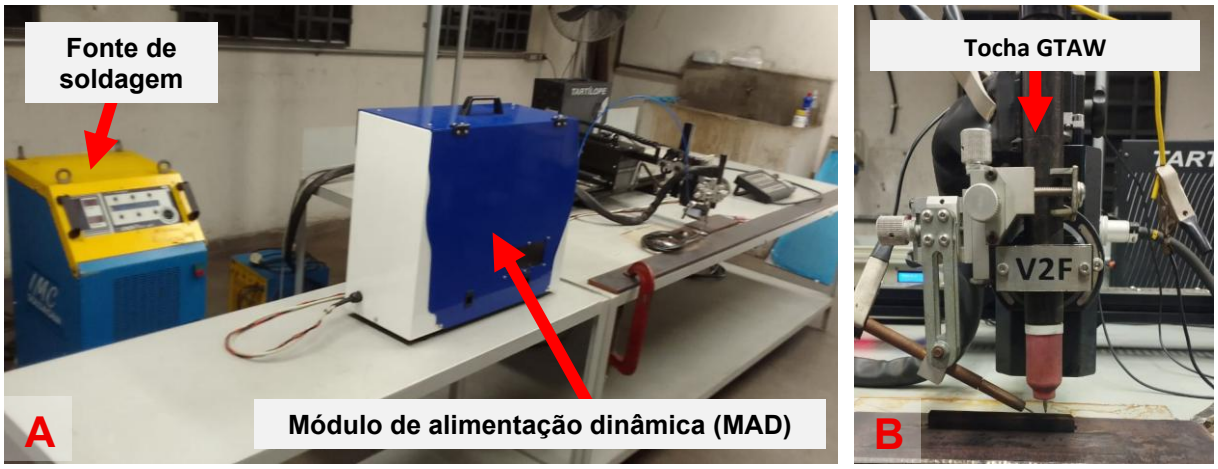


Fonte: Autores (2026).
Nota: (A) controle e joystick; (B) tela do sistema de aquisição de parâmetros de soldagem.

A Figura 3 apresenta a configuração experimental utilizada na soldagem GTAW automatizada. Na figura 3A, observa-se a integração entre a fonte de soldagem, o sistema automatizado Tartílope, o módulo de alimentação dinâmica (MAD), o sistema de monitoramento e a tocha GTAW com suporte do arame de adição. Já a Figura 3B, apresenta a configuração da alimentação de arame na forma radial com um ângulo

de inclinação de 60°, sendo o consumível posicionado a uma distância de 8 mm em relação ao eletrodo de tungstênio com 2% de tório e diâmetro de 3,2 mm.

Figura 3 – Equipamento de soldagem



Fonte: Autores (2026).
Nota: (A) bancada; (B) detalhe do Tartílope com a tocha de soldagem GTAW e suporte de arame.

2.4 PRODUÇÃO DAS CHAPAS TESTE

2.4.1 Parâmetros de soldagem

Os parâmetros de soldagem para ambos os processos GTAW, como a velocidade de alimentação do arame, a tensão do arco e o fluxo de gás de proteção, foram aplicados conforme as especificações estabelecidas individualmente para cada processo, sendo a nomenclatura C-GTAW, adotada para alimentação contínua e GTAW-DWF para alimentação dinâmica.

Os parâmetros de soldagem utilizados e monitorados nos experimentos, seguem os estudos de Neves (2022), para o aço estrutural conforme apresentado na Tabela 5, onde na especificação ASME II Parte C SFA-5.18, estes influenciam diretamente a estabilidade do arco, a transferência térmica e a qualidade da junta soldada.

As variáveis como corrente de soldagem (A), tensão de arco (V), velocidade de avanço (cm/min.) e vazão do gás de proteção (l/min.) afetam a penetração, a geometria do cordão e as transformações microestruturais da ZAC. O controle inadequado pode gerar defeitos e comprometer as propriedades mecânicas, tornando essencial o ajuste correto dos parâmetros para garantir a integridade da solda.

Tabela 5 – Parâmetros de soldagem adotados para C-GTAW e GTAW-DWF

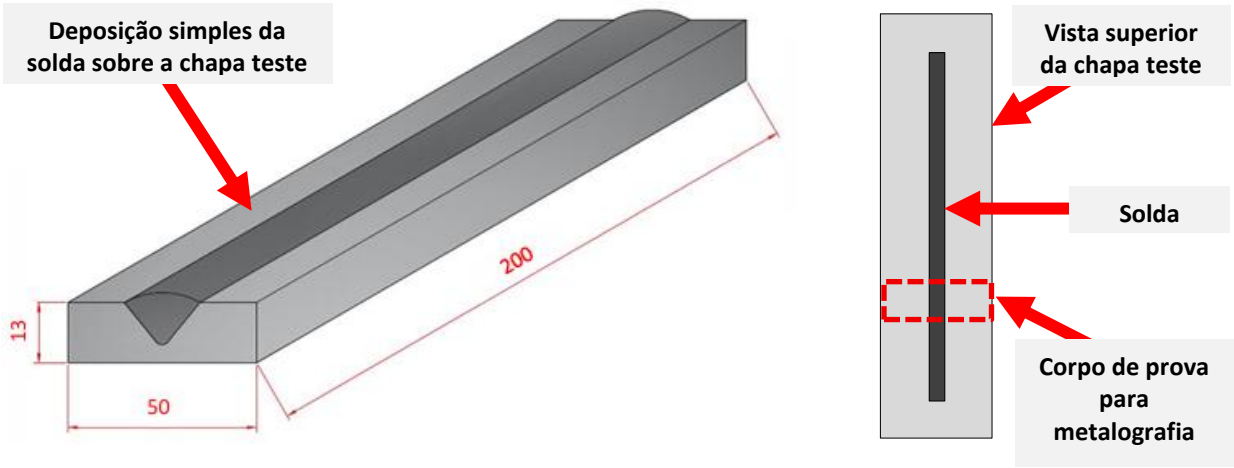
Parâmetros	C-GTAW	GTAW-DWF
Corrente de soldagem (A)	210	210
Tensão do arco (V)	13,5	13,5
Velocidade de soldagem (cm/min)	13	13
Vazão do gás Ar (l/min)	12	12
Eletrodo de tungstênio EWTh-2 (Ø mm)	EWTh-2 Ø 3,2	EWTh-2 Ø 3,2
Material de adição ER70S 6 (Ø mm)	Arame ER70S-6	Arame ER70S-6
Velocidade de alimentação do arame (m/min)	1,5	1,5
Avanço médio do arame (mm)	4	4
Ângulo do arame (º)	60	60
Distância arame x eletrodo (mm)	5	5
Aporte térmico (kJ/cm)	12,6	12,6
Frequência de alimentação (Hz)	---	10
Controle da tensão do arco (AVC) (mm)	12,5	12,5

Fonte: Adaptado de Neves (2022).

2.4.2 Preparação dos corpos de prova

Os corpos de prova (CPs) utilizados em ambos os processos, foram desenvolvidos para uma simples deposição sobre chapas de SAE 1020, sendo dimensionados para garantir uma análise de perfil de solda. A Figura 4, apresenta a preparação da chapa teste, bem como a geometria da solda e sua deposição.

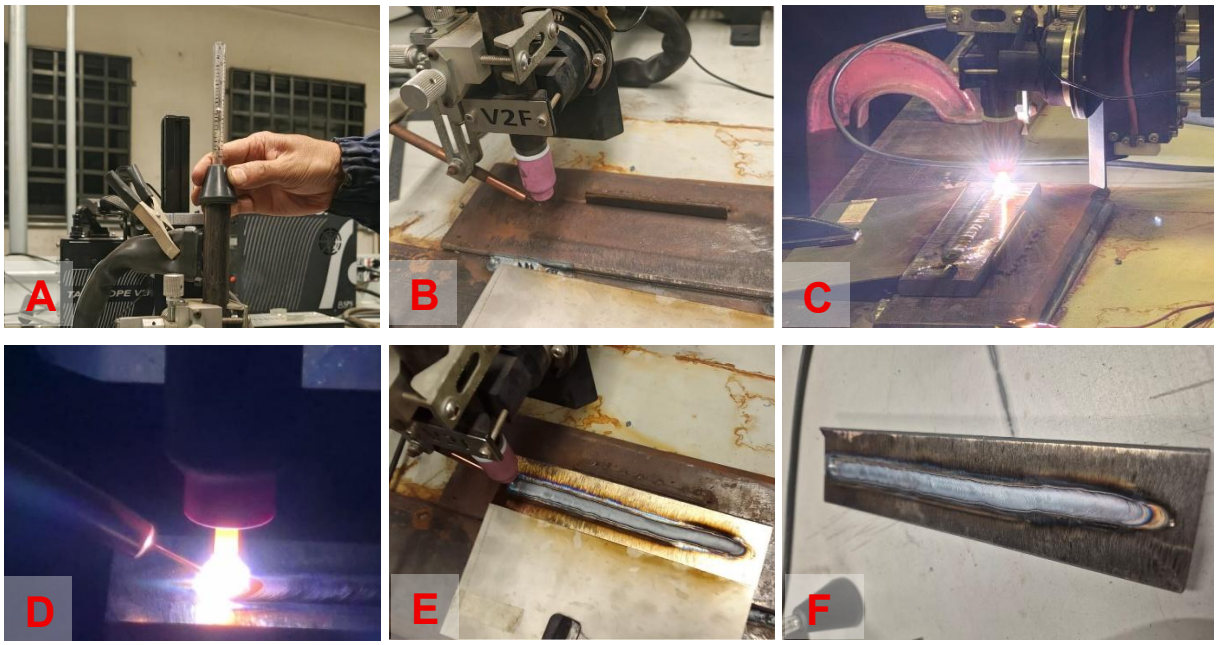
Figura 4 – Vista superior da chapa teste com deposição simples do cordão de solda



Fonte: Autores (2026).

O procedimento para a preparação da chapa teste foi iniciado com uma limpeza utilizando-se de uma esmerilhadeira, permitindo a deposição da solda sobre metal brilhante. As imagens contidas na Figura 5 apresentam as principais etapas de preparação, configuração e execução do processo de soldagem.

Figura 5 – Execução da preparação dos corpos de prova



Fonte: Autores (2026).

Nota: (A) checagem da vazão de gás; (B) programação on-line da trajetória da soldagem; (C) soldagem; (D) disposição do arame em relação à poça de fusão; (E) finalização da soldagem sobre a chapa teste e (F) chapa teste apresentado a deposição da solda.

2.4.3 Preparação e caracterizações das amostras

Durante a preparação e caracterização das amostras metálicas, seguem-se as recomendações das normas ASTM E3-11 — *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens* (2017), ASTM E45-05 — *Standard Test Methods for Determining the Inclusion Content of Steel* (2025) e da *American Welding Society* (AWS D1.1M/D1.1:2025).

Na Figura 6, são apresentadas as etapas de preparação metalográfica das amostras, iniciando-se pelo corte da seção representativa com a serra fita industrial Franho modelo FMG 500, de modo a evitar alterações térmicas e mecânicas capazes de comprometer a integridade microestrutural. Posteriormente, realizam-se as etapas de lixamento e polimento com abrasivos de diferentes granulometrias, obtendo-se

superfícies com acabamento espelhado e adequadas para as análises macrográficas e micrográficas.

Figura 6 – Etapas da preparação metalográfica das amostras



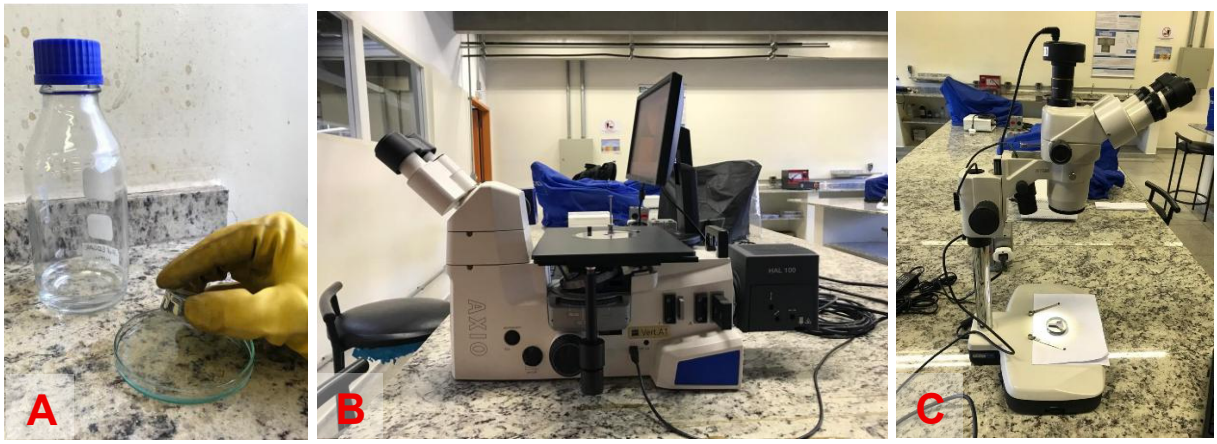
Fonte: Autores (2026). Colaboração: (A) Laboratório de Soldagem Fatec Itaquera (2026); (B) Laboratório de Microscopia Fatec SP (2026).

Nota: (A) corte da seção transversal; (B) lixamento inicial; (C) polimento; (D) sequência de abrasivos utilizados; (E) acabamento espelhado das amostras preparadas para análise.

Posteriormente, realiza-se o ataque químico das amostras com solução de Nital 3% e 97% de álcool isopropílico, conforme apresentado na Figura 7, visando à revelação dos contornos de grão e das fases microestruturais.

A análise microestrutural é conduzida em microscópio óptico, permitindo observar fases presentes, contornos de grão e a zona termicamente afetada. Já a análise macroestrutural é realizada em estereoscópio, possibilitando avaliar a geometria do cordão de solda, penetração, fusão e eventuais descontinuidades. Para ambas as caracterizações, utiliza-se o software *ImageJ*.

Figura 7 – Etapas e equipamentos utilizados na caracterização das amostras



Fonte: Autores (2026). Colaboração: Laboratório de Microscopia Fatec Itaquera (2026).
Nota: (A) ataque químico com solução de Nital 3%; (B) microscópio óptico ZEISS Axion 10 utilizado na análise microestrutural; (C) estereoscópio ZEISS Axion empregado na análise macroestrutural.

2.4.4 Critérios de análise

As análises foram conduzidas com base em referenciais normativos e literatura especializada, incluindo os autores Callister e Rethwisch (2019), Neves (2022), Vera *et al* (2022), Sarruf *et al* (2015), os quais abordam, respectivamente, procedimentos de preparação metalográfica e métodos de análise quantitativa de microestruturas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 METALOGRAFIA

3.1.1 Micrografias

A análise micrográfica consiste na caracterização detalhada da microestrutura de metais e ligas metálicas, sendo realizada por microscopia óptica ou eletrônica após adequada preparação metalográfica. Esse procedimento envolve etapas de lixamento, polimento e ataque químico, permitindo a revelação das fases constituintes, do tamanho de grão e dos efeitos térmicos decorrentes da soldagem, especialmente no metal de base (MB) e na zona afetada pelo calor (ZAC).

Segundo Callister e Rethwisch (2019), a micrografia é fundamental para compreender a relação entre microestrutura e propriedades mecânicas, uma vez que

características como tamanho de grão, morfologia das fases e presença de precipitados influenciam diretamente a resistência e a ductilidade dos materiais.

No contexto da soldagem, Chiaverini (2017) destaca que a micrografia permite identificar transformações metalúrgicas no cordão de solda e na ZAC, como a formação de martensita, ferrita, perlita e bainita, dependentes da composição química e das taxas de resfriamento. Além disso, possibilita a detecção de descontinuidades microscópicas, como inclusões não metálicas e microtrincas.

Complementarmente, estudos como os de Vera *et al.* (2022) destacam que a qualidade da preparação metalográfica é determinante para a confiabilidade das análises microestruturais, especialmente em aços de baixo carbono. Paralelamente, Sarruf *et al.* (2015) evidencia a importância de técnicas quantitativas na caracterização microestrutural, permitindo correlacionar parâmetros de soldagem com a distribuição de fases e tamanho de grão.

No contexto do processo GTAW, essas abordagens tornam-se particularmente relevantes para a avaliação de microestruturas formadas sob diferentes condições térmicas, como aquelas impostas pela alimentação contínua e dinâmica do arame.

3.1.2 Macrografias

A análise macrográfica é utilizada para avaliar a estrutura do material em escala macroscópica, sendo realizada a olho nu ou com baixo aumento. O procedimento envolve a preparação de seções transversais da junta soldada, submetidas a ataque químico, permitindo a visualização do perfil do cordão, penetração, fusão e defeitos internos.

Além disso, normas como a AWS D1.1:2025 estabelecem critérios de aceitação para descontinuidades observadas em análises macrográficas, consolidando essa técnica como fundamental no controle de qualidade das soldas.

3.1.3 Processos de Soldagem C-GTAW e GTAW-DWF

O processo C-GTAW com alimentação contínua, caracteriza-se pela introdução constante do arame na poça de fusão, o que pode resultar em crescimento de grãos colunares. Em contrapartida, o processo GTAW-DWF, utiliza alimentação dinâmica do arame, geralmente pulsada ou sincronizada com o arco, promovendo melhor controle

da poça de fusão, redução do aporte térmico médio e maior refinamento microestrutural.

Conforme demonstrado por Neves (2022), a alimentação dinâmica do arame promove perturbações controladas na poça de fusão, alterando as condições de solidificação e favorecendo o refinamento microestrutural. Em contraste, o processo C-GTAW com alimentação contínua tende a apresentar maior estabilidade térmica global, porém com menor capacidade de controle sobre a nucleação e crescimento dos grãos.

3.2 NORMAS TÉCNICAS E PROCEDIMENTOS APLICÁVEIS

As análises macrográficas e micrográficas em soldagem são orientadas por normas técnicas internacionalmente reconhecidas, garantindo a padronização dos resultados. A AWS D1.1 – *Structural Welding Code Steel* (2025) estabelece critérios para a avaliação de juntas soldadas por inspeção macrográfica. Embora não seja específica para metalografia, essa norma utiliza a macrografia como ferramenta complementar para verificar a qualidade do cordão de solda, a penetração, a fusão e possíveis descontinuidades. Já a metalografia é mais associada às normas ASTM, voltadas ao estudo da microestrutura dos metais.

Nesse contexto, a ASTM E3-11 – *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens* (2017), apresenta diretrizes para a preparação de amostras metalográficas destinadas a análises microscópicas, contemplando etapas como corte, montagem, lixamento, polimento e ataque químico. Isto garante que os resultados obtidos sejam comparáveis e reprodutíveis entre diferentes laboratórios.

Além disso, a ASTM E45 — *Standard Test Methods for Determining the Inclusion Content of Steel* (2005) estabelece métodos para a determinação e classificação de inclusões não metálicas em aços por análise microscópica, incluindo procedimentos metalográficos aplicados à preparação e diferenciação das inclusões, como óxidos e sulfetos.

Complementarmente, a ABNT NBR 15454 — Metalografia das ligas ferro-carbono - Terminologia, padroniza os termos técnicos empregados na caracterização metalográfica de ligas ferro-carbono, servindo como referência para a identificação e análise microestrutural das amostras, incluindo fases, constituintes e inclusões não metálicas, como óxidos e sulfetos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISES MACROESTRUTURAL

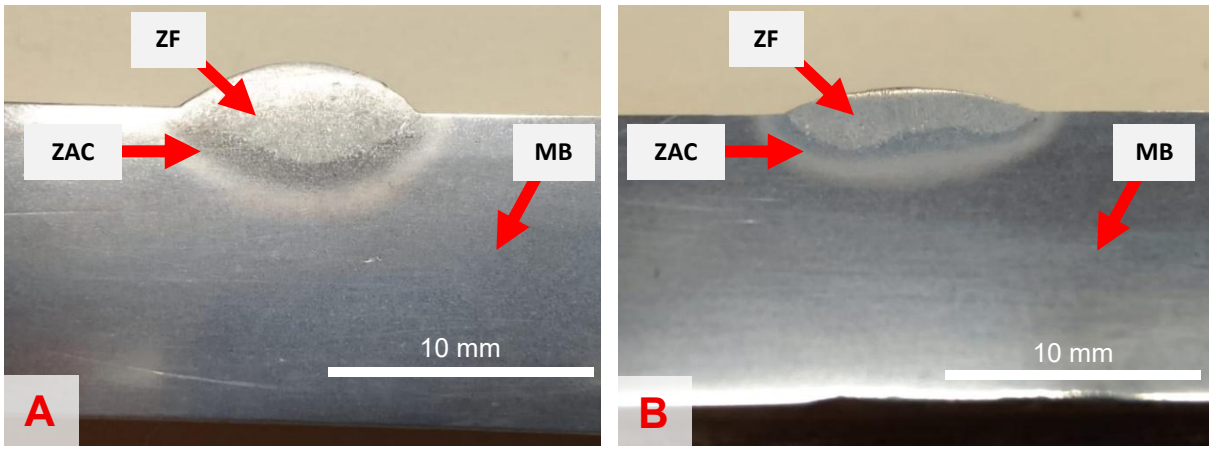
A análise macroestrutural foi realizada com o objetivo de verificar a integridade das juntas soldadas e identificar, de forma global, as regiões características do cordão de solda, incluindo o metal de base (MB), a zona afetada pelo calor (ZAC) e a zona fundida (ZF) para a realização da microscopia.

4.1.1 Comparativo macroestrutural das amostras

De modo geral, observa-se que ambas as amostras apresentam cordões de solda isentos de descontinuidades macroscópicas relevantes, tais como trincas, porosidade visível ou falta de fusão, indicando que os parâmetros de soldagem adotados foram adequados para a obtenção de juntas com boa qualidade metalúrgica.

As macrografias também evidenciam diferenças na geometria do cordão de solda entre os processos analisados, onde no C-GTAW, verifica-se a largura da ZF de 9,7 mm, 2,08 mm de altura do cordão e 1,91 mm de penetração (Figura 8A), em contrapartida, no processo GTAW-DWF, observa-se assimetria na geometria do cordão de solda, apresentando 11 mm de largura de cordão, 1,5 mm de penetração máxima e 0,82 mm de altura do cordão (Figura 8-B).

Figura 8 – Macrografias dos corpos de prova, evidenciando as áreas de interesse



Fonte: Autores (2026).
Nota: (A) CP com C-GTAW; (B) CP com GTAW-DWF.

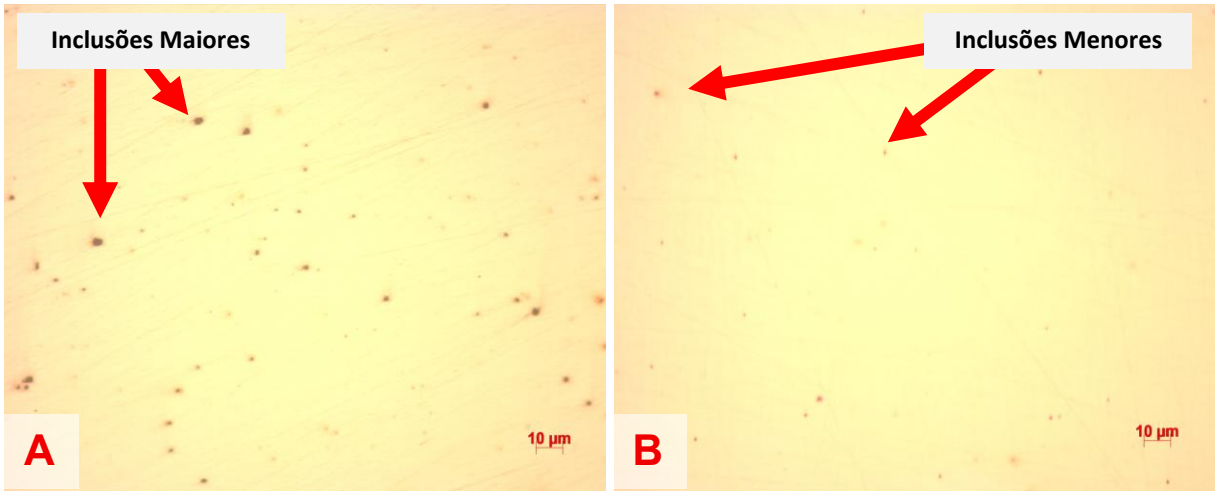
As amostras permitiram a clara identificação das regiões de interesse para as análises microestruturais subsequentes, evidenciando os limites entre o metal de base (MB), a ZAC e a zona fundida (ZF). A partir dessas regiões, foram selecionados pontos específicos para a obtenção das micrografias, conforme discutido adiante.

4.2 ANÁLISE MICROESTRUTURAL

4.2.1 Comparativo de inclusões

As micrografias das amostras polidas evidenciam a presença de inclusões não metálicas dispersas na zona fundida, predominantemente associadas a óxidos e silicatos oriundos do material de adição e das condições do processo. Nota-se maior incidência dessas inclusões nas amostras produzidas por C-GTAW entre 2,036 µm e 3,999 µm (Figura 9A), possivelmente em função do menor controle da transferência metálica. Na amostra obtida por GTAW-DWF (Figura 9B), observa-se redução na quantidade e tamanho dessas inclusões na faixa entre 0,947 µm a 1,009 µm, indicando maior estabilidade do processo e menor aprisionamento de impurezas. Tais características são relevantes, uma vez que inclusões podem atuar como pontos de nucleação de falhas, influenciando negativamente o desempenho mecânico da junta soldada.

Figura 9 – Análise microestrutural das inclusões no metal de base SAE 1020



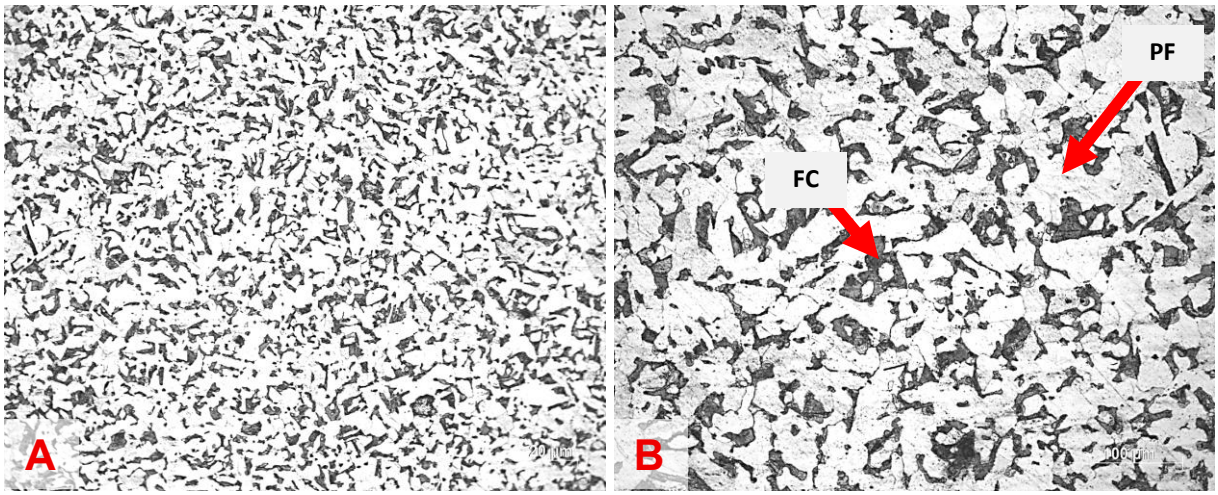
Fonte: Autores (2026).
Nota: (A) no processo C-GTAW; (B) no processo GTAW-DWF.

Correlacionando a menor incidência das inclusões na zona fundida da solda realizada com o processo GTAW-DWF evidenciada na Figura 9B, se comparada a solda realizada pelo processo C-GTAW (Figura 9A); com os estudos de Neves (2022), onde ele afirma que a ausência de micro defeitos de solidificação foram associados à melhoria da vida em fadiga; pode-se refletir que a frequência dinâmica de alimentação do arame (10 Hz) na poça de fusão, foi benéfica do ponto de vista das propriedades mecânicas.

4.2.2 Micrografias do Metal de Base (MB)

As micrografias do metal de base apresentadas na Figura 10, confirmam a microestrutura típica do aço SAE 1020, caracterizada por matriz ferrítica com colônias de perlita distribuídas de forma heterogênea. A ferrita (PF), de coloração mais clara, predomina na microestrutura, enquanto a perlita (FC), de aspecto lamelar e mais escuro, contribui para o aumento da resistência mecânica do material. Essa estrutura inicial serve como referência para avaliar as transformações metalúrgicas induzidas pelo processo de soldagem nas regiões adjacentes.

Figura 10 – Micrografia do metal de base (MB) do SAE 1020



Fonte: Autores (2026).
Nota: (A) MB ampliado em 100X; (B) MB com ampliação a 200X.

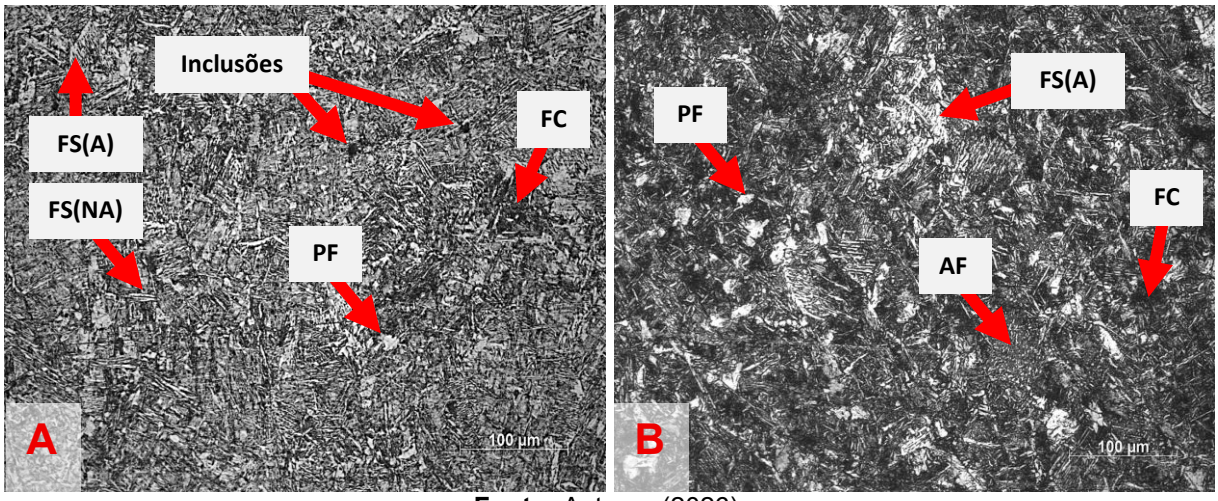
4.2.3 Micrografias da Zona Fundida (ZF)

As micrografias da zona fundida revelam diferenças marcantes na morfologia dos grãos em função do modo de alimentação do arame. No processo C-GTAW,

conforme observado na Figura 11A, nota-se a predominância de grãos colunares com orientação preferencial, indicando crescimento direcional associado à direção do fluxo térmico, característica típica de condições de solidificação com elevado gradiente térmico e menor taxa de nucleação. A matriz apresenta-se constituída majoritariamente por ferritas primária (PF), aciculares (AF) e de segunda fase alinhada (FS-A) e não alinhadas (FS-NA), com presença de perlita (FC).

Por outro lado, a amostra produzida por GTAW-DWF (Figura 11B), apresenta microestrutura mais refinada, com maior presença de grãos equiaxiais e estruturas aciculares mais finas, resultado da perturbação dinâmica da poça de fusão, que favorece a nucleação heterogênea. A ferrita acicular (AF) observada na ZF do corpo de prova soldado por GTAW-DWF, apresenta-se mais refinada associada a perlita dispersa (FC), indicando maior taxa de nucleação durante a solidificação, além de evidenciar a presença de ferrita primária (PF). Foi evidenciada também, a presença da ferrita de segunda fase não alinhada (FS-NA). Essa modificação na morfologia dos grãos está diretamente associada à melhoria das propriedades mecânicas e à maior presença de perlita dispersa e ferrita acicular.

Figura 11 – Micrografias da zona fundida (ZF) com ampliação de 200x



Fonte: Autores (2026).
Nota: À esquerda (A) ZF com C-GTAW; À direita (B) com GTAW-DWF.

4.2.4 Micrografias da Zona Afetada pelo Calor (ZAC)

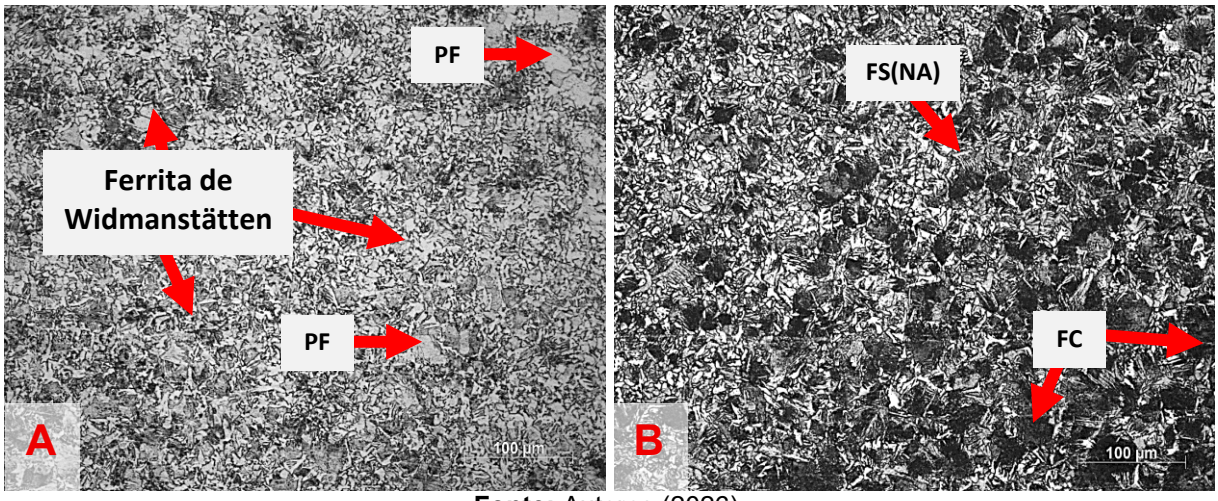
Na região da zona afetada pelo calor (Figura 12-A), observa-se que o processo C-GTAW promove uma ZAC com evidências de crescimento de grãos e transformação microestrutural mais pronunciada.

A presença de ferrita grosseira (PF) nas regiões mais próximas à zona fundida e regiões parcialmente transformadas, indicam exposição prolongada a temperaturas elevadas. Também se observa a presença significativa de ferrita de Widmanstätten em placas primárias e secundárias, possivelmente causado pelo maior aquecimento da alimentação contínua da poça de fusão (Figura 12A).

De acordo com Colpaert (2008), em condições de resfriamento lento, a estrutura apresenta morfologia equiaxial, enquanto, com o aumento da taxa de resfriamento, evolui progressivamente para formas aciculares (em formato de agulha).

Em contrapartida, no processo GTAW-DWF, a ZAC apresenta maior presença de esboroamento da perlita (FC) nas regiões próximas à linha de fusão em sinergia com a ferrita de segunda fase não alinhada (FS-NA), compreendendo um balanço entre as diferentes taxas de resfriamento entre as fases observadas na Figura 12B.

Figura 12 – Micrografias da zona afetada pelo calor com ampliação de 200x



Fonte: Autores (2026).
Nota: À esquerda (A) ZAC com C-GTAW; À direita (B) ZAC com GTAW-DWF.

Essa diferença é fundamental para preservar as propriedades mecânicas do material de base, reduzindo a degradação estrutural associada ao ciclo térmico da soldagem. O esboroamento da perlita da ZAC do GTAW-DWF observado na Figura 12B refletirá em maior ductilidade e menor dureza, além de reduzir as concentrações de tensões internas, tornando o material menos suscetível a trincas e fraturas frágeis. Entretanto, conforme discutido por Colpaert (2008), a perlita esboroada também poderá apresentar efeitos deletérios quando distribuída de forma grosseira ou heterogênea, especialmente em regiões submetidas a ciclos térmicos intensos, como a ZAC, sendo pertinente uma análise de tenacidade para corroborar as propriedades mecânicas com as micrografias obtidas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ambas as amostras soldadas com alimentação contínua (C-GTAW) e alimentação dinâmica (GTAW-DWF), apresentaram soldas satisfatórias, isentas de descontinuidades macroscópicas relevantes.

As análises de inclusões das zonas fundidas, revelaram que o processo GTAW com alimentação dinâmica de 10 Hz, possui maior estabilidade de arco na poça de fusão favorecendo a difusão dos gases e consequentemente, reduzir significativamente o aprisionamento de impurezas, corroborando com a maior resistência à fadiga, observada nos estudos de Neves (2022).

As micrografias das zonas fundidas diferenciam-se principalmente pela presença marcante da ferrita acicular e ferrita primária na solda realizada pelo processo GTAW-DWF, além da ferrita de segunda fase alinhada e perlita, refletindo um balanço de fases.

No que diz respeito às zonas afetadas pelo calor foram evidenciadas diferenças significativas, onde o corpo de prova dos processos GTAW com alimentação contínua, apresentou ferrita primária na região de granulometria grosseira e ferrita de Widmanstätten**,** enquanto, na solda realizada por GTAW-DW, observa-se o esboroamento da perlita em sinergia com a ferrita de segunda fase não alinhada, o que poderá refletir em melhorias nas propriedades mecânicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNATIONAL. **ASTM E3-11**: Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNATIONAL. **ASTM E45-05:** Standard Test Methods for Determining the Inclusion Content of Steel. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNATIONAL. **ASTM handbook of comparative world steel standards**. 3. ed. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2004.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME Boiler and Pressure Vessel Code – Section II**: Materials, Part C: Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals (SFA-5.12). New York: ASME, 2025.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME Boiler and Pressure Vessel Code – Section II**: Materials, Part C: Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals (SFA-5.18). New York: ASME, 2025.

AMERICAN WELDING SOCIETY. **AWS D1.1/D1.1M:2020 – Structural Welding Code – Steel**. Miami, FL: AWS, 2020.

ARCELORMITTAL. **Guia do aço**. Essel Engenharia, 2024. Disponível em: <https://essel.com.br/download/arcelormittal-guia-do-aco/>. Acesso em: 5 maio 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15454:** Metalografia das ligas de ferro-carbono — Terminologia. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2007.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais**: uma introdução. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia mecânica**: materiais de construção mecânica. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2017.

COLPAERT, H. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2008.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, **A. Soldagem**: fundamentos e tecnologia. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.

MODENESI, P. J. **Soldagem**: fundamentos e tecnologia. Belo Horizonte: UFMG, 2001.

NEVES, N. **Estudo da influência da frequência de alimentação dinâmica do processo de soldagem TIG automático no comportamento de fadiga axial do aço C-Mn-Si. 2022**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2022.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS INTERNATIONAL. **SAE J403_202402**: Chemical Compositions of SAE Carbon Steels. Warrendale, PA: SAE International, 2024. Stabilized February 2024. Revised June 2014. Issued June 1911. Disponível em: <https://saemobilus.sae.org/standards/j403_202402-chemical-compositions-sae-carbon-steels>. Acesso em: 05 maio 2026. DOI: 10.4271/J403_202402.

SARRUF, B. et al. Avaliação do desempenho de classificadores em metalografia quantitativa. **Revista Matéria**, v. 20, n. 2, p. 384–391, 2015. ISSN 1517-7076.

VERA, N. O.; PIO, I. H. P.; BARBOSA, F. L.; BRANDIM, A. S.; LEITE, R. C. **Procedures for preparing metallic specimens for submission to optical microscopy**. Conjecturas, v. 22, n. 5, p. 1-15, 2022. DOI: https://doi.org/10.53660/CONJ-934-K05

IMPACTOS DA MANUFATURA ADITIVA NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL
IMPACTS OF ADDITIVE MANUFACTURING IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY

Italo Brendo de Araújo Visnóveski[1]
Nasareno das Neves[2]

RESUMO: A manufatura aditiva, conhecida como impressão 3D, tem se destacado como uma tecnologia inovadora na construção civil, com potencial para transformar os métodos construtivos tradicionais. Este estudo tem como objetivo analisar as aplicações da manufatura aditiva no setor, com foco na redução de resíduos, nos custos e no tempo de execução das obras. A pesquisa caracteriza-se como qualitativa, de natureza exploratória, baseada em revisão bibliográfica e análise de estudos de caso. Foram examinados dois casos reais de construções impressas em 3D, comparando-os com obras tradicionais equivalentes, a partir de dados quantitativos relacionados ao desempenho construtivo. Os resultados analisados indicam reduções significativas no tempo de execução, além de potencial diminuição de custos e redução na geração de resíduos em comparação aos métodos construtivos tradicionais. Observou-se também potencial aumento da produtividade e maior precisão nos processos construtivos. Contudo, identificaram-se desafios relacionados ao alto custo inicial da tecnologia e à necessidade de mão de obra especializada. Conclui-se que a manufatura aditiva representa uma alternativa promissora para o setor da construção civil, contribuindo para maior eficiência, sustentabilidade e inovação nos processos construtivos.
Palavras-chave: Impressão 3D; Automação construtiva; Construção sustentável; Eficiência produtiva; Tecnologia digital.

ABSTRACT: Additive manufacturing, commonly known as 3D printing, has emerged as an innovative technology in the construction industry, with the potential to transform traditional building methods. This study aims to analyze the applications of additive manufacturing in the sector, focusing on waste reduction, cost efficiency, and execution time. The research is characterized as qualitative and exploratory, based on a literature review and case study analysis. Two real cases of 3D-printed constructions were examined and compared with equivalent traditional buildings using quantitative performance data. The analyzed results indicate significant reductions in construction time, as well as the potential for cost reduction and lower waste generation when compared to traditional construction methods. A potential increase in productivity and greater precision in construction processes were also observed. However, challenges such as high initial investment costs and the need for specialized labor were identified. It is concluded that additive manufacturing represents a promising alternative for the construction sector, contributing to greater efficiency, sustainability, and innovation in construction processes.
Keywords: 3D printing; Construction automation; Sustainable construction; Production efficiency; Digital technology.

1 INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva, amplamente conhecida como impressão 3D, destaca-se como uma das mais relevantes inovações tecnológicas do século XXI (ELNAWAWI et

Tecnologia em Controle de Obras - Fatec Votorantim - E-mail: italo.visnoveski@aluno.cps.sp.gov.br [1]
Professor - Fatec Votorantim - E-mail: nasareno.neves@fatec.sp.gov.br [2]

al., 2025). Inicialmente desenvolvida na década de 1980 para aplicações industriais voltadas à prototipagem rápida, essa tecnologia evoluiu significativamente ao longo das últimas décadas, expandindo-se para diferentes setores, como medicina, indústria automotiva e, mais recentemente, construção civil (KHOSHNEVIS, 2006; ZAREI et al., 2021).

No contexto da construção civil, a adoção da manufatura aditiva vem sendo impulsionada pela necessidade de modernização dos processos construtivos, tradicionalmente marcados por baixa produtividade, elevado desperdício de materiais e impactos ambientais significativos (BUSWELL et al., 2018; ZAREI et al., 2021). Nesse cenário, a impressão 3D aplicada à construção apresenta-se como uma alternativa promissora, ao possibilitar a execução de elementos construtivos por meio de processos automatizados, com maior precisão, redução de resíduos e otimização do tempo de execução (SOUZA; NUNES, 2023; BUSWELL et al., 2018).

Além disso, a tecnologia contribui para a ampliação das possibilidades de projeto, favorecendo soluções arquitetônicas mais complexas e o uso de materiais sustentáveis, alinhando-se às demandas contemporâneas por eficiência, inovação e responsabilidade ambiental no setor construtivo (ELNAWAWI et al., 2025; AHMAD et al., 2024).

Diante desse contexto, torna-se relevante investigar como a manufatura aditiva tem sido aplicada na construção civil e quais são seus principais impactos. Assim, o presente estudo tem como objetivo analisar, com base em estudos de caso reais e em uma abordagem comparativa, os impactos da manufatura aditiva na construção civil, evidenciando seus efeitos na redução de resíduos, nos custos e no tempo de execução das obras.

2 METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como qualitativa, de natureza exploratória, tendo como objetivo compreender as aplicações da manufatura aditiva na construção civil, bem como suas principais vantagens e limitações.

O estudo foi desenvolvido com base em três etapas principais. Inicialmente, realizou-se uma revisão bibliográfica em fontes acadêmicas, incluindo artigos científicos, livros e relatórios técnicos, com o intuito de identificar e analisar os

principais avanços, aplicações e desafios relacionados ao uso da impressão 3D no setor da construção civil.

Na sequência, foram examinados estudos de caso de projetos reais que utilizaram a manufatura aditiva na construção civil. Essa análise teve como objetivo avaliar, de forma qualitativa, os impactos da tecnologia em aspectos como eficiência construtiva, sustentabilidade, redução de custos e tempo de execução. A seleção dos estudos considerou a disponibilidade de informações comparativas relacionadas aos métodos construtivos analisados.

Por fim, realizou-se uma análise comparativa entre os métodos construtivos tradicionais e aqueles baseados em impressão 3D, considerando critérios como tempo de execução, custo, sustentabilidade e viabilidade técnica. Para essa etapa, foram utilizados dados secundários obtidos em estudos publicados, relatórios técnicos e documentos especializados.

Os dados obtidos foram analisados por meio da técnica de análise de conteúdo, permitindo a identificação de padrões, tendências, vantagens e limitações associadas ao uso da manufatura aditiva na construção civil.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 MANUFATURA ADITIVA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A manufatura aditiva, também conhecida como impressão 3D, consiste em um processo de fabricação baseado na deposição de material camada por camada, a partir de um modelo digital previamente desenvolvido (KHOSHNEVIS, 2006; BUSWELL et al., 2018). Inicialmente aplicada em processos industriais de prototipagem rápida, essa tecnologia evoluiu significativamente e passou a ser utilizada em diferentes setores, incluindo a construção civil.

Na construção civil, a aplicação da manufatura aditiva ocorre principalmente por meio da impressão 3D de concreto, utilizando equipamentos automatizados, como braços robóticos ou impressoras de grande escala. Esses sistemas operam com base em modelos digitais desenvolvidos em softwares de modelagem, como CAD e BIM, permitindo a execução precisa de elementos construtivos sem a necessidade de fôrmas convencionais (BUSWELL et al., 2018; ZAREI et al., 2021).

Entre as principais características da manufatura aditiva destacam-se a automação do processo construtivo, a redução de desperdícios, a maior precisão na execução e a possibilidade de personalização das estruturas. Essas características contribuem para a modernização do setor, tradicionalmente marcado por baixa produtividade e elevado consumo de recursos.

Dessa forma, a manufatura aditiva vem se consolidando como uma tecnologia inovadora na construção civil, com potencial para transformar os métodos construtivos e promover maior eficiência, sustentabilidade e integração digital nos processos de edificação (ELNAWAWI et al., 2025; CARBONARI et al., 2023).

3.2 REDUÇÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A construção civil é um dos setores mais relevantes para o desenvolvimento socioeconômico, mas também figura entre os que mais impactam o meio ambiente. Estima-se que, em escala global, o setor seja responsável por cerca de 30% a 40% da geração de resíduos sólidos urbanos e por aproximadamente 11% das emissões anuais de dióxido de carbono (CO_2). No Brasil, esse cenário se repete, com a geração de cerca de 48 milhões de toneladas de resíduos da construção e demolição (RCD) em 2021, o que corresponde a uma média de 227 kg por habitante. Apesar do elevado potencial de reciclagem, superior a 80%, menos de 20% desses resíduos são efetivamente reaproveitados (ABRELPE, 2022; SPRINGER, 2025).

Grande parte desses resíduos é composta por materiais como concreto, tijolos, argamassa, madeira e metais. Quando descartados de forma inadequada, podem causar impactos ambientais significativos, como contaminação do solo, obstrução de corpos hídricos e agravamento de problemas urbanos. Além disso, a gestão ineficiente desses resíduos implica custos logísticos e operacionais elevados, contribuindo para a baixa produtividade do setor (KRAVCHENKO et al., 2025).

Diante desse contexto, torna-se necessário repensar os métodos construtivos tradicionais, buscando soluções tecnológicas mais sustentáveis. A manufatura aditiva, também conhecida como impressão 3D, surge como uma alternativa promissora, ao permitir a produção sob demanda e a redução significativa de desperdícios, alinhando-se aos princípios da economia circular (PrintingConstructionTeam, 2025; Khoshnevis, 2006).

A aplicação da manufatura aditiva na construção civil baseia-se em um processo de fabricação camada por camada, no qual o material é depositado de forma controlada por equipamentos automatizados, como braços robóticos ou impressoras de grande escala, a partir de modelos digitais desenvolvidos em softwares como CAD ou BIM. Esse processo elimina a necessidade de fôrmas convencionais, uma das principais fontes de resíduos na construção tradicional (Khoshnevis, 2006; Buswell et al., 2018).

Diferentemente dos métodos construtivos convencionais, que frequentemente utilizam processos subtrativos, a manufatura aditiva adota um princípio aditivo, no qual o material é aplicado apenas onde necessário. Essa característica contribui diretamente para a redução de desperdícios, uma vez que minimiza a geração de sobras de matéria-prima durante a execução (Buswell et al., 2018; PrintingConstructionTeam, 2025).

Outro aspecto relevante refere-se ao uso mais eficiente dos materiais. O controle digital do processo permite a aplicação precisa do volume necessário de concreto ou argamassa, evitando excessos e garantindo maior uniformidade. Estudos indicam que essa tecnologia pode reduzir o consumo de materiais em até 60% em comparação aos métodos tradicionais, sem comprometer o desempenho estrutural, além de reduzir a necessidade de retrabalhos (PrintingConstructionTeam, 2025; 3DPRINTING.COM, 2025).

Adicionalmente, a manufatura aditiva possibilita a incorporação de materiais reciclados em suas misturas, como cinzas volantes, escória de alto-forno e agregados reciclados, contribuindo para a redução da extração de matérias-primas e das emissões associadas à produção de cimento. Essa abordagem reforça a adoção de práticas alinhadas à economia circular (Kravchenko et al., 2025; Ahmad, Li & Nasir, 2024; RMIT University, 2022).

Além disso, o planejamento digital e a produção sob demanda reduzem erros de execução e incompatibilidades entre projeto e obra, diminuindo a ocorrência de retrabalhos e perdas de materiais. A possibilidade de produção local também contribui para a redução de impactos logísticos, como transporte e armazenamento (Buswell et al., 2018).

Dessa forma, a redução de resíduos na manufatura aditiva resulta de um conjunto de fatores integrados, incluindo a eliminação de fôrmas, o uso otimizado de materiais, a redução de retrabalhos, a possibilidade de reciclagem de insumos e a

produção sob demanda. Esses elementos convergem para um modelo construtivo mais sustentável, eficiente e alinhado aos princípios da construção limpa e da economia circular (PrintingConstructionTeam, 2025).

3.3 IMPACTOS NOS CUSTOS DA CONSTRUÇÃO

A manufatura aditiva na construção civil, especialmente por meio da impressão 3D de concreto, representa um avanço significativo na eficiência econômica do setor. Essa tecnologia promove a redução de custos ao transformar etapas tradicionalmente onerosas da construção convencional, por meio da diminuição de desperdícios, da redução da mão de obra e da otimização dos prazos de execução (Zarei et al., 2021; Gallio, 2024).

Um dos principais fatores responsáveis pela redução de custos está na eliminação das fôrmas. Nos métodos tradicionais, as fôrmas podem representar uma parcela expressiva do orçamento, chegando a até 50% do custo do concreto estrutural, dependendo do tipo de projeto. Além do consumo de materiais, como madeira, aço ou plástico, essas estruturas demandam mão de obra especializada e tempo significativo para montagem e desmontagem. Na manufatura aditiva, a deposição do material diretamente na geometria desejada torna as fôrmas praticamente desnecessárias, reduzindo custos diretos e indiretos (Zarei et al., 2021; Gallio, 2024).

Outro aspecto relevante refere-se ao uso otimizado de materiais. O controle digital do processo construtivo permite a aplicação precisa do volume necessário de concreto ou argamassa, evitando excessos e reduzindo o consumo global de insumos. Alguns estudos apontam potencial redução entre 30% e 60% no volume de materiais utilizados, sem comprometer o desempenho estrutural. Essa eficiência pode impactar diretamente na diminuição dos custos com cimento, agregados e aditivos (3DPRINTING.COM, 2025; Mahmood et al., 2025; Ahmad et al., 2024).

A redução da necessidade de mão de obra também constitui um fator relevante. Enquanto a construção convencional exige equipes numerosas para execução de diversas etapas, a impressão 3D permite a operação com equipes reduzidas, frequentemente compostas por poucos técnicos responsáveis pelo monitoramento do equipamento e preparo dos materiais. Essa característica contribui para a diminuição

de custos relacionados a salários, encargos trabalhistas e infraestrutura de apoio (Boissonneault, 2019).

Adicionalmente, a redução do tempo de execução impacta diretamente os custos indiretos da obra. A capacidade de produzir elementos construtivos em períodos significativamente menores reduz despesas com aluguel de equipamentos, consumo de energia, supervisão e logística de canteiro. Esse encurtamento do ciclo construtivo também possibilita maior produtividade e retorno financeiro mais rápido.

Outro fator relevante é a diminuição de retrabalhos, decorrente da maior precisão do processo construtivo. A fidelidade ao modelo digital reduz erros de execução, minimizando gastos com correções, desperdícios adicionais e incompatibilidades entre projetos (Buswell et al., 2018).

Além disso, a possibilidade de produção local e sob demanda contribui para a redução de custos logísticos, como transporte e armazenamento de materiais, além de diminuir perdas associadas ao estoque.

De forma geral, a combinação desses fatores — eliminação de fôrmas, otimização de materiais, redução da mão de obra, diminuição do tempo de execução e menor ocorrência de retrabalhos — evidencia o potencial da manufatura aditiva para reduzir os custos globais da construção. Estudos indicam economias que podem variar entre 20% e 50% em comparação aos métodos convencionais (Zarei et al., 2021; Gallio, 2024).

Assim, a manufatura aditiva não apenas reduz custos em etapas específicas, mas pode contribuir para transformações estruturais na lógica econômica da construção civil, com potencial para tornar o setor mais eficiente, competitivo e sustentável.

3.4 OTIMIZAÇÃO DO TEMPO DE EXECUÇÃO

A manufatura aditiva na construção civil representa um avanço significativo na redução do tempo necessário para a execução de obras. Em comparação aos métodos tradicionais, esse sistema automatizado permite a realização de etapas construtivas de forma mais rápida, previsível e eficiente. Esse ganho de desempenho está associado à automação dos processos, à simplificação das etapas construtivas, à redução de retrabalhos e à integração digital entre projeto e execução (BUSWELL et al., 2018; ZAREI et al., 2021).

Um dos principais fatores responsáveis por essa redução é a automatização do processo construtivo. A impressão 3D de concreto possibilita a produção contínua de elementos estruturais e arquitetônicos, camada por camada, sem a necessidade de interrupções para montagem de fôrmas ou deslocamento de equipes. Em muitos casos, estruturas que levariam dias ou semanas para serem executadas por métodos convencionais podem ser concluídas em poucas horas, reduzindo significativamente o tempo total da obra (BUSWELL et al., 2018; ELNAWAWI et al., 2025).

Outro aspecto relevante é a eliminação de etapas manuais. Processos tradicionais, como transporte interno de materiais, assentamento de blocos, ajustes de alinhamento e correções de execução, demandam tempo e estão sujeitos a falhas humanas. A manufatura aditiva substitui grande parte dessas atividades por um sistema automatizado orientado por modelos digitais, reduzindo atrasos e aumentando a eficiência do cronograma (BUSWELL et al., 2018; ZAREI et al., 2021).

A redução de retrabalhos também contribui de forma significativa para a otimização do tempo. A precisão dos modelos digitais, frequentemente integrados a tecnologias como BIM, diminui incompatibilidades entre projetos e execução, reduzindo a necessidade de ajustes e correções que poderiam prolongar o cronograma (BUSWELL et al., 2018; ELNAWAWI et al., 2025).

Além disso, a integração entre disciplinas é facilitada pelo uso de modelos digitais, permitindo a previsão de instalações e sistemas ainda na fase de projeto. Isso evita intervenções posteriores, como cortes e adaptações, contribuindo para um fluxo de execução mais contínuo e eficiente.

A simplificação da logística de canteiro também exerce papel relevante na redução do tempo. A utilização de menos materiais e a eliminação de fôrmas reduzem o número de operações de transporte, armazenamento e movimentação, tornando o ambiente de trabalho mais organizado e produtivo. A possibilidade de produção diretamente no local da obra também reduz etapas logísticas, acelerando o processo construtivo.

Outro fator importante é a menor sensibilidade às condições climáticas. Diferentemente de métodos tradicionais, que podem sofrer interrupções devido a fatores como chuva ou umidade, a impressão 3D tende a apresentar maior previsibilidade operacional, reduzindo pausas no cronograma.

De forma geral, a otimização do tempo na manufatura aditiva resulta da combinação de fatores como automação, redução de etapas manuais, precisão digital,

diminuição de retrabalhos, simplificação logística e maior previsibilidade. Esses elementos convergem para um modelo construtivo mais ágil, eficiente e alinhado aos princípios da construção industrializada e digital.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ESTUDO DE CASO: RESIDÊNCIA IMPRESSA EM 3D NO BRASIL (RIO GRANDE DO NORTE)

A análise do primeiro estudo de caso refere-se a uma residência construída no Rio Grande do Norte, considerada uma das primeiras aplicações de impressão 3D em concreto no Brasil. A Figura 1 apresenta a residência impressa em 3D no Rio Grande do Norte. A Figura 2 apresenta a equipe envolvida na execução do projeto (CARBONARI et al., 2023).

Figura 1 – Casa no Rio Grande do Norte feita por M.A.



Fonte: Disponível em: https://www.inovahouse3d.com.br/post/brasil-constr%C3%B3i-sua-primeira-casa-modelo-impressa-em-3d (acesso em: 15 mar. 2026)

Figura 2 – Participantes da Obra no Rio Grande do Norte



Fonte: Disponível em: https://www.cimentoitambe.com.br/projeto-no-rn-constroi-1a-casa-do-brasil-com-impressora-3d/ (acesso em: 15 mar. 2026).

A edificação possui aproximadamente 66 m², com execução das paredes em um intervalo entre 18 e 30 horas de operação, utilizando concreto extrudável e reduzida interferência de mão de obra direta.

Para fins comparativos, considerou-se uma residência convencional de habitação social com área entre 50 e 70 m², construída por meio de alvenaria tradicional. Os dados indicam uma redução significativa no tempo de execução da estrutura, uma vez que a impressão 3D permitiu a conclusão das paredes em aproximadamente 24 horas, enquanto o método convencional demandaria entre 20 e 30 dias para alvenaria, além de 10 a 15 dias adicionais para reboco. Os dados analisados sugerem uma redução significativa no tempo de execução das paredes, podendo variar entre 70% e 85% em comparação aos métodos convencionais.

No que se refere aos custos, os estudos analisados indicam potencial de economia entre 20% e 30% em comparação ao método convencional, principalmente devido à redução de mão de obra, eliminação de fôrmas e menor necessidade de retrabalho. Em relação aos resíduos, os casos analisados indicam perdas inferiores a 5% no processo de impressão, enquanto a construção tradicional apresenta perdas entre 12% e 25%.

Outro aspecto relevante diz respeito à mão de obra, sendo necessária uma equipe reduzida de aproximadamente 3 a 5 operadores na impressão 3D, em contraste com equipes de 12 a 20 trabalhadores em métodos convencionais. Esses

resultados evidenciam ganhos expressivos em eficiência produtiva e racionalização de recursos.

4.2 ESTUDO DE CASO: EDIFÍCIO IMPRESSO EM 3D EM DUBAI

O segundo estudo de caso analisa a construção de um edifício impresso em 3D em Dubai, considerado uma das maiores aplicações da manufatura aditiva na construção civil. A edificação possui área aproximada de 640 m², sendo executada em um único pavimento com paredes portantes espessas. As Figuras 3 e 4 apresentam diferentes perspectivas do edifício, evidenciando a aplicação da tecnologia em construções de maior escala (PRINTINGCONSTRUCTIONTEAM, 2025).

Figura 3 – Edifício em Dubai feito com Impressão 3D



Fonte: Disponível em: https://www.dwell.com/article/worlds-largest-3d-printed-building-apis-cor-6a4b7f45 (acesso em: 15 mar. 2026).

Figura 4 – Outra vista do Edifício em Dubai



Fonte: Disponível em: https://singularityhub.com/2020/01/27/worlds-biggest-3d-printed-building-opens-in-dubai/ (acesso em: 15 mar. 2026).

De acordo com dados da Apis Cor, a impressão de toda a envoltória da estrutura foi realizada em aproximadamente 48 horas de operação efetiva, distribuídas ao longo do cronograma devido a paradas técnicas e ajustes. Para fins comparativos, considera-se uma edificação tradicional de um pavimento e área similar (entre 600 e 700 m²), construída em alvenaria estrutural.

No que se refere ao tempo de execução, observa-se uma redução significativa, uma vez que a construção por impressão 3D permite a conclusão das paredes em cerca de 48 horas, enquanto o método convencional demandaria entre 45 e 90 dias para execução da alvenaria, instalações embutidas e reboco. Os dados analisados sugerem potencial redução significativa no tempo de execução quando comparada aos métodos convencionais, podendo variar entre 90% e 95% em determinados contextos.

Os estudos analisados indicam potencial redução entre 20% e 25% no custo estrutural, principalmente devido à eliminação de fôrmas e à menor necessidade de mão de obra. Em contrapartida, os métodos tradicionais envolvem custos elevados com carpintaria, concretagem, reboco e logística de materiais.

Os dados analisados indicam perdas inferiores a 3% do volume total de material no processo de impressão, devido ao alto nível de controle digital da execução. Já a construção convencional registra perdas entre 15% e 30%. Nesse contexto, os

resultados sugerem potencial redução significativa na geração de resíduos quando comparada aos métodos tradicionais.

Além disso, a produtividade do processo construtivo é significativamente superior na manufatura aditiva, com taxas de extrusão superiores a 1 metro linear por minuto, enquanto métodos convencionais apresentam produtividade média entre 0,15 e 0,25 m² por trabalhador por hora. Esses dados sugerem potencial aumento de produtividade em relação aos métodos tradicionais, especialmente em projetos com maior nível de automação construtiva.

4.3 ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta uma síntese comparativa entre os métodos construtivos tradicionais e a manufatura aditiva, com base nos estudos de caso analisados.

Tabela 1 – Comparação entre Construção Tradicional e Manufatura Aditiva com base nos Estudos de Caso

Critério	Impressão 3D	Método Tradicional
Tempo (execução da estrutura/paredes)	24-48 horas	20 a 90 dias
Custo	Potencial redução de 20% a 50%	Mais elevado
Resíduos	Redução significativa	12% a 30%
Mão de Obra	3 a 5 trabalhadores	12 a 20 trabalhadores
Produtividade	Alta	Baixa

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A partir da análise dos estudos de caso, observa-se que a manufatura aditiva apresenta melhorias consistentes em indicadores fundamentais da construção civil, especialmente em relação ao tempo de execução, à geração de resíduos, aos custos e à produtividade.

Os resultados indicam que a redução do tempo de execução está diretamente associada à automação do processo construtivo e à eliminação de etapas intermediárias. Da mesma forma, a diminuição de resíduos decorre do uso preciso de materiais e da ausência de processos subtrativos. A redução de custos, por sua vez,

resulta da combinação de menor consumo de materiais, redução da mão de obra e diminuição de retrabalhos.

Além disso, os ganhos de produtividade observados demonstram que a manufatura aditiva possui potencial para transformar significativamente os processos construtivos, independentemente do contexto geográfico ou da escala do projeto.

Entretanto, apesar dos benefícios evidenciados, a literatura aponta desafios para a ampla adoção da manufatura aditiva, como o elevado custo inicial dos equipamentos e a necessidade de mão de obra especializada.

Além disso, aspectos relacionados à regulamentação técnica, padronização dos processos construtivos e validação estrutural ainda representam desafios para a ampla consolidação da tecnologia, especialmente em países onde a manufatura aditiva na construção civil ainda se encontra em estágio inicial de desenvolvimento, como o Brasil. Questões relacionadas ao alto investimento inicial, à necessidade de qualificação profissional e à adaptação das normas técnicas também limitam sua adoção em larga escala.

Dessa forma, os resultados obtidos corroboram a literatura apresentada no referencial teórico, sugerindo que a manufatura aditiva possui potencial para promover maior eficiência, sustentabilidade e competitividade na construção civil. Entretanto, sua ampla consolidação ainda depende do avanço tecnológico, da ampliação de estudos aplicados e do desenvolvimento de normas e regulamentações específicas para o setor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise realizada demonstra que a manufatura aditiva na construção civil se configura como uma alternativa altamente promissora em relação aos métodos construtivos tradicionais, especialmente diante dos desafios ambientais, econômicos e operacionais enfrentados pelo setor. Ao considerar os aspectos relacionados à geração de resíduos, aos custos e ao tempo de execução, verificou-se que a aplicação da impressão 3D contribui de forma significativa para a melhoria da eficiência e da sustentabilidade das obras.

No que se refere aos resíduos, a tecnologia apresenta potencial para reduzir significativamente o desperdício de materiais, principalmente pela eliminação de fôrmas, pelo uso otimizado de insumos e pela possibilidade de incorporação de

materiais reciclados. Esse fator contribui diretamente para a diminuição dos impactos ambientais e dos custos associados ao gerenciamento de resíduos.

Em termos econômicos, observou-se que a manufatura aditiva possibilita a redução de custos por meio da diminuição do consumo de materiais, da redução da necessidade de mão de obra e da maior eficiência nos processos construtivos. Esses elementos, aliados à precisão digital, resultam em maior previsibilidade e racionalização dos recursos empregados.

Quanto ao tempo de execução, a automação do processo construtivo, a eliminação de etapas manuais e a redução de retrabalhos permitem uma significativa aceleração das obras, além de maior estabilidade do cronograma.

Dessa forma, os resultados obtidos indicam que os objetivos propostos foram alcançados, evidenciando que a manufatura aditiva contribui para a redução de resíduos, custos e tempo de execução na construção civil. As evidências também sugerem a confirmação das hipóteses inicialmente levantadas. Entretanto, apesar dos benefícios identificados, a adoção da manufatura aditiva ainda enfrenta desafios, como os altos custos iniciais de implementação e a necessidade de qualificação técnica especializada. Tais fatores indicam que, embora promissora, a tecnologia ainda se encontra em processo de consolidação no setor.

Por fim, conclui-se que a manufatura aditiva não representa apenas uma inovação tecnológica pontual, mas um novo paradigma construtivo, capaz de redefinir padrões de produtividade, sustentabilidade e competitividade. Nesse sentido, sua adoção tende a se expandir à medida que a tecnologia se torna mais acessível e consolidada no mercado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio da bolsa de Iniciação Científica do Centro Paula Souza (CPS), que possibilitou o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3DPRINTING.COM. **New study finds 25% 3D printed concrete material savings through thickness optimisation.** 2025. Disponível em: https://3dprinting.com/news/new-study-finds-25-3d-printed-concrete-material-savings-

through-thickness-optimisation/. Acesso em: 12 nov. 2025.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2022**. São Paulo: ABRELPE, 2022.

AHMAD, J.; LI, Z.; NASIR, M. **Waste materials utilization in 3D printable concrete for sustainable construction applications: a review**. Emergent Materials, 2024. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s42247-024-00942-4. Acesso em: 18 nov. 2025.

BOISSONNEAULT, T. ICON launches Vulcan II 3D printer, announces new constructionplans. VoxelMatters,2019. Disponível em: https://www.voxelmatters.com /icon-vulcan-ii-3d-printer-construction/. Acesso em: 11 dez. 2025.

BUSWELL, R. A. et al. **3D printing using concrete extrusion: a roadmap for research.** Cement and Concrete Research, v. 112, p. 37–49, 2018.

CARBONARI, L. T. et al. **Impressão 3D com materiais cimentícios: uma análise comparativa de projetos residenciais.** Mix Sustentável, v. 9, n. 4, p. 27–39, 2023.

ELNAWAWI, O. et al. **Advances in sustainable additive manufacturing: a systematic review for construction industry.** Frontiers in Built Environment, 2025. Disponível em: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbuil.2025.1535626/full. Acesso em: 18 nov. 2025.

GALLIO, L. C. **Comparação de custos para construção em alvenaria estrutural e impressão 3D. 2024.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – PUCRS, Porto Alegre, 2024.

KHOSHNEVIS, B. **Automated construction by contour crafting**. Automation in Construction, v. 13, n. 1, p. 5–19, 2006.

KRAVCHENKO, E. et al. **Transforming construction waste into resources for 3D printed concrete.** ISARC, 2025.

MAHMOOD, A. et al. **Recycled waste materials utilised in 3D concrete printing.** Buildings, v. 15, n. 19, 2025.

PRINTINGCONSTRUCTIONTEAM. Environmental impact analysis of 3D printing construction.2025. Disponível em: https://www.printingconstruction.com/learn/environmental-impact-analysis-of-3d-printing-construction. Acesso em: 28 ago. 2025.

RMIT UNIVERSITY. **Recycled materials open new doors for 3D concrete printing.** 2022. Disponível em: https://www.rmit.edu.vn/news/all-news/2022/jun/recycled-materials-open-new-doors-for-3d-concrete-printing.

SOUZA, G. F.; NUNES, D. P. **A manufatura aditiva na construção civil como**

instrumento de redução do déficit habitacional. Revista de Engenharia e Tecnologia,
v. 31, n. 3, 2023.

SPRINGER. **3D printing in construction: sustainable technology for building industry.** Progress in Additive Manufacturing, 2025. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s40964-025-01314-y.

ZAREI, M.; PAAVILAINEN, J.; HAVUKAINEN, J. **Additive manufacturing in the construction industry.** Applied Sciences, v. 11, n. 9, 2021.

COMPARATIVO MACROESTRUTURAL DAS VARIANTES DO PROCESSO GTAW COM ALIMENTAÇÃO CONTÍNUA E DINÂMICA
MACROSTRUCTURAL COMPARISON OF GTAW PROCESS VARIANTS WITH CONTINUOUS AND DYNAMIC WIRE FEEDING

Luís Gustavo Capello[1]
Edgar de Souza Dutra[2]
Nasareno das Neves[3]
Juliano Neves Panão[4]
Cleber Marques[5]

RESUMO: O processo de soldagem *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) destaca-se pela excelência metalúrgica e estabilidade térmica. Com os avanços nos sistemas de adição de material, surgem variações como a alimentação contínua (C-GTAW) e a dinâmica GTAW-DWF (*Dynamic Wire Feed*), caracterizadas pelo movimento controlado do arame. Este estudo, baseado na tese de Neves (2022), analisa a influência da frequência de oscilação do arame nos processos C-GTAW e GTAW-DWF, evidenciando diferenças entre os modos contínuo e dinâmico. O trabalho apresenta um comparativo estrutural entre ambos aplicados ao aço SAE 1020, utilizando arame ER70S-6 e gás argônio. As amostras passam por corte, lixamento, polimento e ataque químico com Nital 3%, sendo avaliadas por estereoscopia e *softwares Top View e ImageJ*. São discutidos aspectos como geometria do cordão, penetração, diluição, estabilidade e extensão da zona afetada pelo calor (ZAC). Os resultados indicam que o processo GTAW-DWF gera menor diluição, penetração e ZAC, contribuindo para melhor controle térmico e geométrico da solda.
Palavras-chave: Diluição, Metalografia, Macrografia, Soldagem,

ABSTRACT: The Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) process stands out for its metallurgical quality and thermal stability. With advances in filler material feeding systems, variations such as continuous feeding (C-GTAW) and dynamic wire feeding GTAW-DWF (Dynamic Wire Feed) have emerged, characterized by controlled wire movement. This study, based on the thesis of Neves (2022), analyzes the influence of wire oscillation frequency on the C-GTAW and GTAW-DWF processes, highlighting differences between continuous and dynamic feeding modes. The work presents a structural comparison between both processes applied to SAE 1020 steel, using ER70S-6 filler wire and argon shielding gas. The samples undergo cutting, grinding, polishing, and chemical etching with 3% Nital, followed by evaluation through stereoscopy and the Top View and ImageJ software. Aspects such as weld bead geometry, penetration, dilution, stability, and heat-affected zone (HAZ) extension are discussed. The results indicate that the GTAW-DWF process produces lower dilution, penetration, and HAZ, contributing to improved thermal and geometric control of the weld.
Keywords: Dilution, Macrography, Welding

Tecnólogo Mecânico: Processos de Soldagem – Faculdade de Tecnologia de Itaquera “Miguel Reale”
E-mail: luis.capello@fatec.sp.gov.br[1]
Mestre em Processos Industriais – Faculdade de Tecnologia de São Paulo – FATEC SP
E-mail: edgar.dutra@cps.sp.gov.br[2]
Doutor em Eng. Mecânica – Faculdade de Tecnologia de São Paulo – FATEC SP
E-mail: nasareno.neves@cps.sp.gov.br[3]
Especialista em Eng. de Produção - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP
E-mail: juliano.panao@unesp.br[4]
Doutor em Eng. Mecânica - Universidade Federal de Santa Catarina - LABSOLDA – Departamento de Engenharia Mecânica, E-mail: c.marques@posgrad.ufsc.br[5]

1 INTRODUÇÃO

O processo de soldagem por arco com eletrodo não consumível, do inglês *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) é amplamente empregado na indústria pela alta qualidade das juntas soldadas e pelo controle preciso das condições térmicas. É um processo indicado para aplicações que exigem alta confiabilidade estrutural, pois proporciona estabilidade do arco elétrico e controle da poça de fusão. Historicamente, a inserção de material é feita de modo manual ou por sistemas de alimentação contínua (C-GTAW), que, embora eficazes, podem ter restrições quanto à uniformidade térmica e ao controle da forma do cordão durante a soldagem.

Com o avanço das tecnologias de automação, foram desenvolvidas soluções mais sofisticadas, como o processo GTAW-DWF (*Dynamic Wire Feed*), no qual a alimentação do arame ocorre de forma dinâmica e controlada, sincronizada com os parâmetros do arco elétrico. Essa abordagem contribui para maior estabilidade do processo, redução de flutuações térmicas e melhor controle da formação do cordão de solda, influenciando diretamente sua geometria e qualidade final.

Nesse contexto, a análise macroestrutural destaca-se como ferramenta fundamental para avaliação do desempenho desses processos, pois permite observar, em escala macroscópica, características como geometria do cordão, penetração, diluição e extensão da zona afetada pelo calor (ZAC). Esses parâmetros refletem diretamente as condições térmicas impostas durante a soldagem e estão relacionados à integridade e ao desempenho da junta.

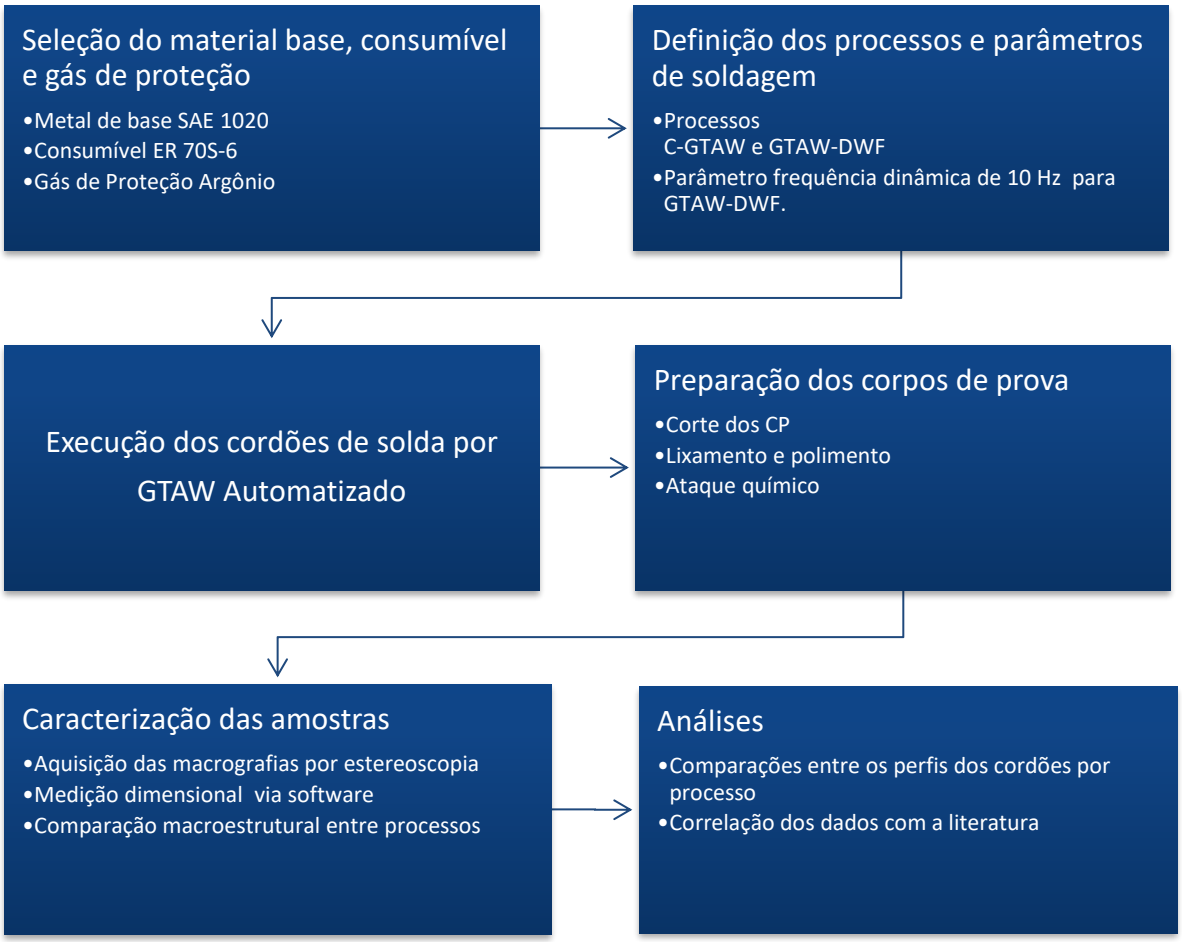
Estudos como o de Neves (2022) indicam que a variação da frequência de alimentação dinâmica influencia o comportamento do processo de soldagem. Assim, a investigação sob a ótica macroestrutural permite compreender como esses modos de alimentação afetam a formação do cordão, contribuindo para a otimização dos parâmetros e a melhoria da qualidade das juntas soldadas.

O presente trabalho tem como objetivo realizar um comparativo entre os processos C-GTAW e GTAW-DWF, com foco na análise macroestrutural do cordão de solda, da zona fundida e da zona afetada pelo calor.

2 METODOLOGIA

A Figura 1 apresenta o fluxograma das metodologias empregadas neste estudo. A análise dos resultados foi conduzida de forma descritiva e comparativa, com base nas observações macrográficas obtidas para os dois modos de alimentação avaliados. Foram comparadas as dimensões do cordão, a área da zona fundida, a penetração, a diluição e a extensão da zona afetada pelo calor.

Figura 1 – Fluxograma das etapas metodológicas do estudo



Fonte: Autores (2026).

2.1 MATERIAIS

A relação entre frequência de alimentação dinâmica e diluição, apresentada com base em Neves (2022), foi utilizada apenas como referência comparativa para a interpretação dos resultados. Neste estudo, a análise dos dados experimentais foi conduzida de forma descritiva e comparativa, considerando as medições

macrográficas de geometria do cordão, penetração, área da zona fundida, diluição e extensão da zona afetada pelo calor.

2.1.1 Metal de base

O metal de base empregado corresponde ao aço carbono estrutural SAE 1020 (UNS G10200), em conformidade com os limites de composição química estabelecidos pelo SAE J403:2024. Esse material apresenta baixo teor de carbono, em torno de 0,20%, sendo amplamente utilizado na fabricação de componentes mecânicos, como eixos, engrenagens e estruturas metálicas.

A composição química do aço SAE 1020 está apresentada na Tabela 1, enquanto suas propriedades mecânicas na condição laminada encontram-se descritas na Tabela 2.

Tabela 1 – Composição química do aço com especificação SAE J403:2024

Designação	Grau	%C	%Mn	%Si	%P	%S	Cr	Ni	Mo
SAE 1020	1020	0,18 – 0,23	0,30 – 0,60	---	≤ 0,04	≤ 0,05	---	---	---

Fonte: Adaptado de ArcelorMittal (2026).

Tabela 2 – Propriedades mecânicas do aço com especificação SAE J403:2024

Designação	Propriedades	Valores
SAE 1020	**Resistência a tração**	380 MPa
	Limite de escoamento	210 MPa
	Alongamento	25%
	Dureza Brinell	111

Fonte: Adaptado de ArcelorMittal (2026).

2.1.2 Arame sólido

Nos processos C-GTAW e GTAW-DWF, utilizou-se como material de adição o arame classificado como ER70S-6, conforme especificado no código ASME II – Parte C – SFA 5.18 (2025). Sua composição química e suas propriedades mecânicas estão apresentadas, respectivamente, nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Composição química do ER70S-6

Designação	%C	%Mn	%Si	%P	%S	Ni	%Cr	%Mo	%V	%Cu
ER70S-6	0,06 - 0,15	1,40 - 1,85	0,80 – 1,15	0,025	0,035	0,15	0,15	0,15	0,03	0,50 (máx.)

Fonte: Adaptado de ASME II Parte C - SFA 5.18 (2025).

Tabela 4 – Propriedades mecânicas do ER70S-6

Propriedades	Requisitos
Resistência a Tração	480 MPa
Limite de Escoamento	400 MPa
Alongamento	22%

Fonte: Adaptado de ASME II Parte C - SFA 5.18 (2025).

2.1.3 Eletrodo de Tungstênio

O processo de soldagem GTAW é caracterizado pela formação do arco elétrico entre um eletrodo não consumível de tungstênio (W – Wolfrâmio) e o metal de base, sob proteção de gás inerte, como argônio ou hélio. Embora apresente desgaste durante a soldagem, o eletrodo de tungstênio não participa da transferência metálica através do arco elétrico.

Neste estudo, utiliza-se o eletrodo EWTh-2 com diâmetro de 2,0 mm, composto por tungstênio com adição de 2% de óxido de tório (ThO_2), conforme classificação da ASME SFA 5.12 (2025), destacando-se pela boa estabilidade do arco e resistência térmica no processo GTAW.

2.1.4 Gás de proteção

Nos ensaios, utilizou-se argônio 99,99% em ambos os processos (C-GTAW e GTAW-DWF). O GTAW emprega arco elétrico entre eletrodo de tungstênio não consumível e o metal de base, protegido por gases inertes. Essa configuração impede a transferência metálica, garantindo maior controle da soldagem. O argônio assegura estabilidade do arco e pureza da poça de fusão, reduzindo gases reativos e eliminando escória. Também diminui o hidrogênio no metal depositado, evitando falhas metalúrgicas.

2.2 EQUIPAMENTOS E PROCESSOS

2.2.1 Sistema experimental de soldagem automatizada

Os cordões de solda foram produzidos pelos métodos C-GTAW e GTAW-DWF, utilizando o sistema automatizado Tartílope V2F com ajuste da tensão e comprimento do arco através do controle automático de voltagem (*automatic voltage control* — AVC), conforme mostrado na Figura 2. Esse equipamento possui movimentação motorizada em vários eixos, assegurando a estabilidade do arco durante a soldagem.

A alimentação dinâmica do arame foi realizada pelo módulo de alimentação dinâmica (MAD), modelo A7PMDAC, permitindo controlar a frequência e a amplitude do movimento do arame por meio da integração com a fonte de soldagem. Os recursos empregados contaram com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), projeto nº 2018/18904-7, da Fundação de Apoio à Tecnologia (FAT), do Laboratório de Soldagem da Universidade Federal de Santa Catarina (Labsolda-UFSC) e da IMC Soldagem.

Figura 2 – Componentes do sistema automatizado

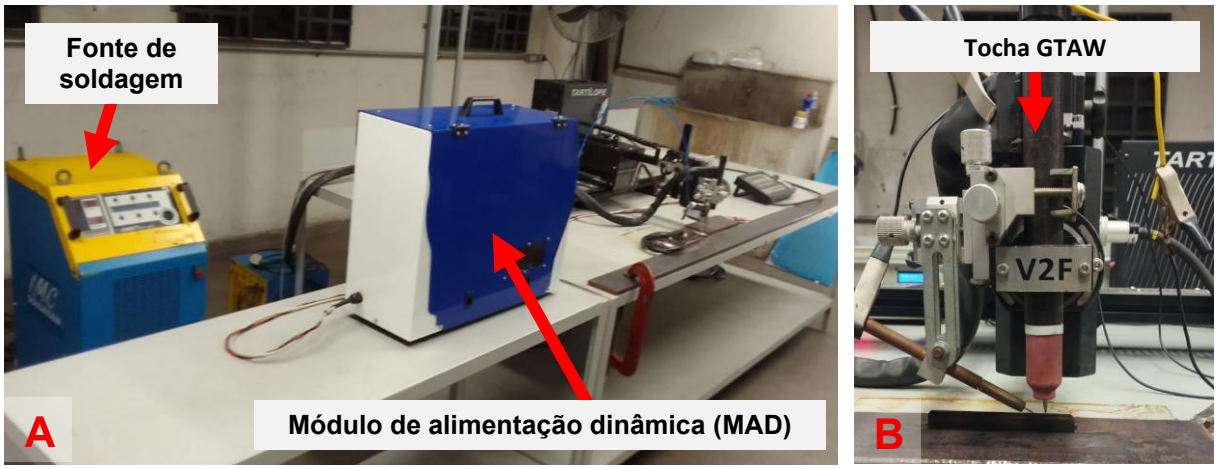


Fonte: Adaptado de Neves et al (2022) e Labsolda/SPS/UFSC (2019).
Nota: (A) Tartílope V2F com eixo AVC; (B) módulo de alimentação dinâmica (MAD) modelo A7PMDAC.

O sistema automatizado de soldagem GTAW com alimentação de arame é operado por meio de uma unidade de controle eletrônico externo da tocha de soldagem, permitindo a programação do sentido de deslocamento, da velocidade de soldagem, do tipo de oscilação e do acionamento da alimentação dinâmica do arame. Para a aquisição de dados em tempo real, utiliza-se o módulo do sistema de aquisição de parâmetros (SAP).

A Figura 3 ilustra a configuração de alimentação de arame em disposição radial à tocha GTAW, com ângulo de inclinação de 60° em relação à mesma. O consumível foi posicionado a 8 mm de distância do eletrodo de tungstênio com 2% de tório, que possui diâmetro de 3,2 mm.

Figura 3 – Equipamento de soldagem



Fonte: Autores (2026).
Nota: (A) bancada. (B) detalhe do Tartílope com a tocha de soldagem GTAW e suporte de arame.

2.3 PRODUÇÃO DAS CHAPAS TESTE

2.3.1 Parâmetros de soldagem

Os parâmetros de soldagem utilizados e monitorados nos experimentos seguem os estudos de Neves (2022), para aço estrutural, conforme apresentado na Tabelas 5 e 6, variando-se apenas o modo de alimentação do arame.

Tabela 5 – Parâmetros de soldagem adotados para C-GTAW e GTAW-DWF

Parâmetros	C-GTAW	GTAW-DWF
Corrente de soldagem (A)	210	210
Tensão do arco (V)	13,5	13,5
Velocidade de soldagem (cm/min)	13	13
Vazão do gás Ar (l/min)	12	12
Eletrodo de tungstênio EWTh-2 (Ø mm)	EWTh-2 Ø 3,2	EWTh-2 Ø 3,2
Material de adição ER70S-6 (Ø mm)	Arame ER70S-6	Arame ER70S-6
Velocidade de alimentação do arame (m/min)	1,5	1,5

Fonte: Adaptado de Neves (2022).

Tabela 6 – Parâmetros de soldagem adotados para C-GTAW e GTAW-DWF

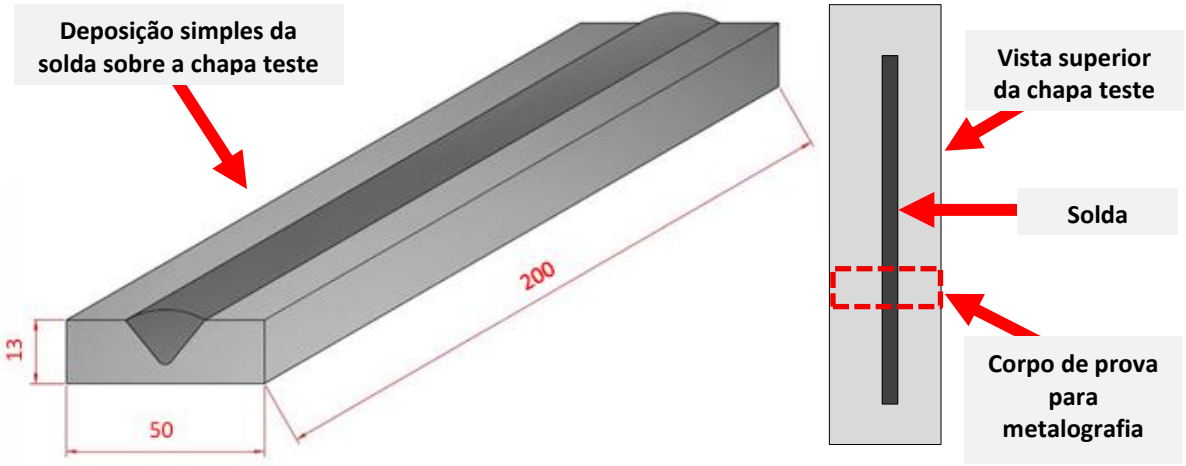
Parâmetros	C-GTAW	GTAW-DWF
Avanço médio do arame (mm)	4	4
Ângulo do arame (º)	60	60
Distância arame x eletrodo (mm)	5	5
Aporte térmico (kJ/cm)	12,6	12,6
Frequência de alimentação (Hz)	---	10
Controle da tensão do arco (AVC) (mm)	12,5	12,5

Fonte: Adaptado de Neves (2022).

2.3.2 Preparação dos corpos de prova

Os corpos de prova (CPs) utilizados em ambos os processos consistem em deposições simples realizadas sobre chapas de aço SAE 1020, sendo dimensionados de modo a possibilitar a análise do perfil do cordão de solda. A Figura 4 apresenta o detalhamento da preparação da chapa de teste, bem como a geometria e a configuração da deposição realizada.

Figura 4 – Configuração da chapa teste com deposição simples do cordão de solda



Fonte: Autores (2026).

Inicialmente, realizou-se a limpeza das peças, de modo a garantir uma superfície metálica brilhante e livre de impurezas, Após posicionamento e execução do processo automático de soldagem GTAW, observou-se a alimentação radial do arame durante a execução da rotação automática, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Soldagem da chapa teste



Fonte: Autores (2026).
Nota: (A) Execução da deposição simples do cordão de solda sobre a chapa; (B) Alimentação radial do arame na poça de fusão.

2.3.3 Preparação metalográfica e análise de correlação linear

Com o objetivo de garantir que não houvesse alterações térmicas ou mecânicas capazes de comprometer a integridade macroscópica, as amostras foram cortadas seguindo as recomendações das normas ASTM E3-11 — *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens* (2017), ASTM E112-13: *Standard Test Methods for Determining Average Grain Size* e da *American Welding Society* (AWS D1.1M/D1.1:2025).

O corte dos corpos de prova foi realizado em serra fita industrial Franho, modelo FMG 500, conforme apresentado na Figura 6. Em seguida, as amostras foram submetidas aos processos de lixamento e polimento progressivo.

Figura 6 – Equipamentos utilizados na preparação dos corpos de prova

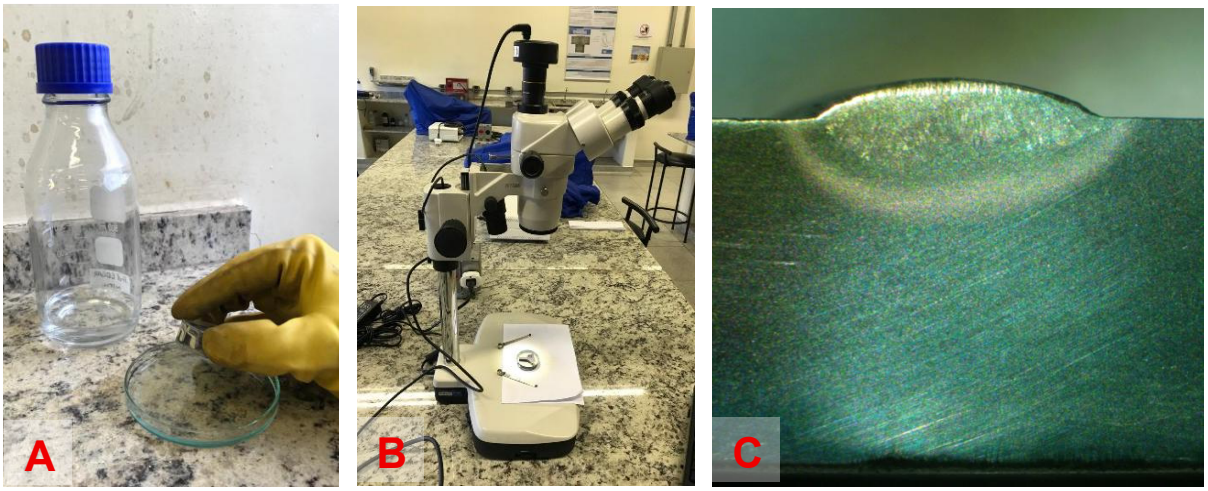


Fonte: Autores (2026). Colaboração: (A) Laboratório de Soldagem Fatec Itaquera (2026); (B) Laboratório de Microscopia Fatec SP (2026).
Nota: (A) para corte da seção transversal; (B) lixamento e polimento.

Após preparação metalográfica, os corpos de prova foram submetidos aos procedimentos de caracterização, conforme apresentados na Figura 7. Foi realizado o ataque químico com solução de Nital a 3% de HNO_3 e 97% de álcool isopropílico.

A macroestrutura foi obtida através de um estereoscópio ZEISS, no qual as análises dimensionais foram realizadas no *software Top View* 64 *bit*. *Release* 4.8.3, possibilitando verificar aspectos como geometria do cordão de solda, penetração, fusão e eventuais descontinuidades, e os dados foram tratados no *software ImageJ* sobre a macrografia.

Figura 7 – Etapas da caracterização das amostras



Fonte: Autores (2026). Colaboração: Laboratório de Microscopia Fatec Itaquera (2026).
Nota: (A) ataque químico com Nital; (B) estereoscópio ZEISS Axion para a análise macroestrutural; (C) imagem macrográfica.

Após as macrografias, estas foram correlacionadas aos dados obtidos no estudo de Neves (2022), utilizando um modelo de regressão linear envolvendo o coeficiente de Pearson entre a variáveis de diluição e frequência dinâmica.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 SOLDAGEM GTAW

Segundo Brandi *et al* (1992 apud Souza et al 2019), os métodos de união por soldagem englobam uma imensa e diversificada área de estudo, considerando além de suas definições, os princípios e conceitos históricos que o compõem, o processo de soldagem GTAW, sendo considerado um dos processos mais utilizados e recomendados quando se trata de excelência em qualidade do produto.

3.1.2 Soldagem GTAW com alimentação contínua e dinâmica

No processo GTAW com alimentação contínua (C-GTAW), o arame é introduzido de forma constante na poça de fusão, resultando em um regime térmico mais estável e contínuo. Sob essa condição, conforme discutido por Neves (2022), a solidificação tende a ocorrer com menor perturbação da poça, favorecendo o crescimento direcional dos grãos, frequentemente com morfologia colunar, associado a gradientes térmicos mais elevados e menor taxa de nucleação heterogênea.

Por outro lado, no processo com alimentação dinâmica (GTAW-DWF), a alimentação do arame ocorre de maneira dinâmica, com movimentos controlados de avanço e recuo, sincronizados com os parâmetros do arco. De acordo com Neves (2022), essa dinâmica impõe perturbações periódicas na poça de fusão, promovendo alterações nas condições locais de solidificação, como variações no gradiente térmico e na taxa de crescimento. Como consequência, observa-se um aumento na taxa de nucleação e uma tendência ao refinamento microestrutural, com possível formação de grãos mais equiaxiais.

3.2 METALOGRAFIA

3.2.1 Macrografias

A análise macrográfica consiste na avaliação da estrutura dos materiais em escala macroscópica, realizada a olho nu ou com baixos aumentos. No contexto da soldagem, envolve a preparação de seções transversais com ataque químico, permitindo observar o perfil do cordão, a penetração, a extensão da zona fundida e da zona afetada pelo calor, além da identificação de descontinuidades como porosidade, falta de fusão e trincas.

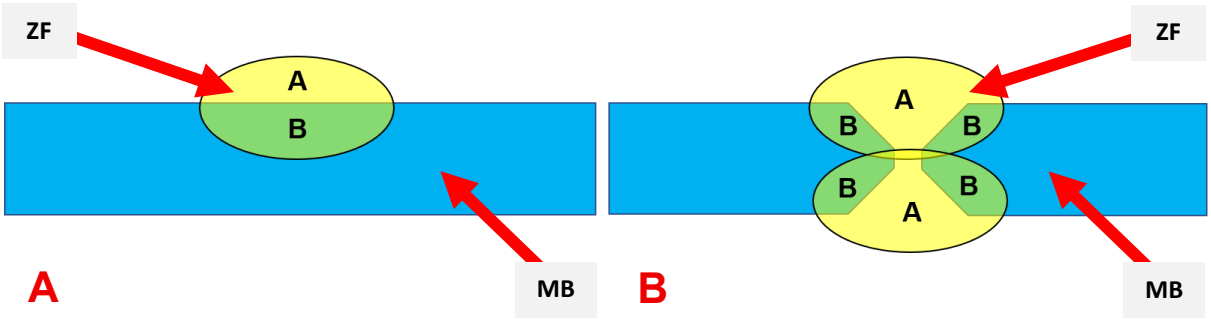
Segundo Totten (2018), a macrografia é uma ferramenta fundamental para a avaliação da qualidade de juntas soldadas, permitindo analisar a homogeneidade do cordão, a profundidade de penetração e a presença de descontinuidades, como porosidades, trincas e falta de fusão. Além disso, possibilita correlacionar as características geométricas do cordão com parâmetros de processo, como corrente, tensão, velocidade de soldagem e aporte térmico.

No contexto da soldagem, Marques, Modenesi e Bracarense (2019) destacam que a macrografia é fundamental para avaliar a influência de parâmetros como corrente, tensão, velocidade de soldagem e aporte térmico na geometria do cordão. Ademais, permite analisar a estabilidade do arco, a eficiência da fusão, a uniformidade da deposição metálica e a identificação das regiões características da junta, como o metal de base (MB), a zona afetada pelo calor (ZAC) e a zona fundida (ZF).

3.2.2 Diluição

De Segundo Rodrigues et al. (2022), a diluição pode ser definida como a participação do metal de base na zona fundida, correspondendo à mistura entre o metal de adição e o metal de base fundido durante operações de soldagem de revestimento sobre chapa ou soldagem de união de topo. A Figura 8 e Equação 1, exemplificam as formas de análises da diluição e método de cálculo, respectivamente.

Figura 8 – Diluição



Fonte: Adaptado de Rodrigues *et al* (2022).
Nota: (A) Soldagem de revestimento e (B) soldagem tipo junta de topo.

$$Diluição\ (\%) = \frac{B}{B+A} * 100 \qquad (1)$$

B = Área da participação do metal de base na zona fundida

A = Zona fundida

3.3 REGRESSÃO LINEAR

De acordo com Filho e Júnior (2009), o coeficiente de correlação de Pearson (r) consiste em uma medida de associação linear entre variáveis, utilizada para avaliar

tanto a direção quanto a intensidade da relação linear existente entre duas variáveis quantitativas, onde a Equação 2, demonstra a forma de calcular o mesmo.

$$r = \frac{1}{n-1}\sum\left(\frac{x_1 - \bar{X}}{S_x}\right)\left(\frac{y_1 - \bar{Y}}{S_y}\right) \quad (2)$$

Onde:

r = Coeficiente de Pearson;

n = Número de variáveis analisadas;

x e y = valores observados da 1ª e 2ª variável quantitativa, respectivamente;

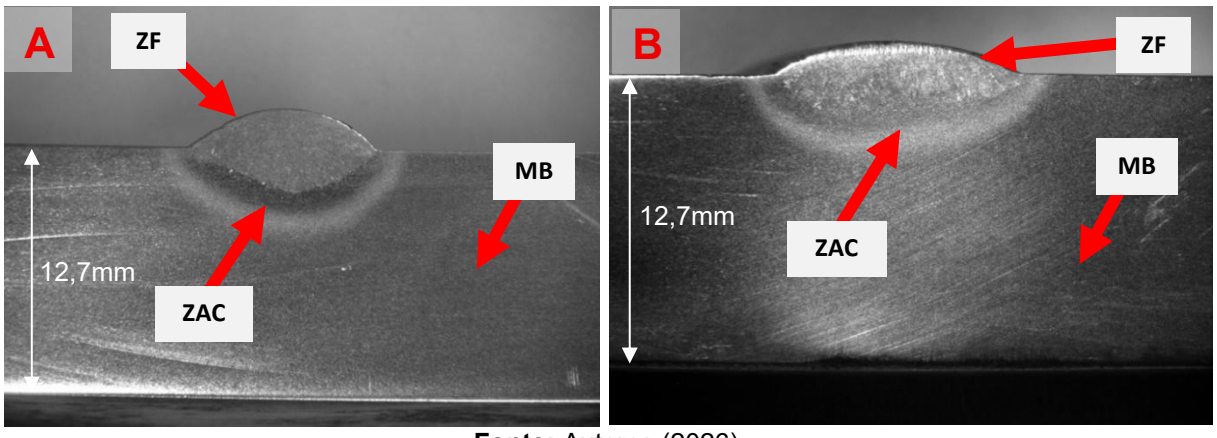
$\bar{X}$ e $\bar{Y}$ = médias dos valores das variáveis X e Y, respectivamente;

Sx e Sy = Desvios padrões de variáveis “x” e “y”.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise macroestrutural foi conduzida com a finalidade de avaliar a integridade das juntas soldadas e identificar as regiões características do cordão de solda, abrangendo o metal de base (MB), a zona afetada pelo calor (ZAC) e a zona fundida (ZF), conforme demonstrado na Figura 9A (C-GTAW) e Figura 9B (GTAW-DWF), sem evidência de descontinuidades em ambas as soldas.

Figura 9 – Macrografias dos corpos de prova



Fonte: Autores (2026).

Nota: (A) em C-GTAW; (B) em GTAW-DWF.

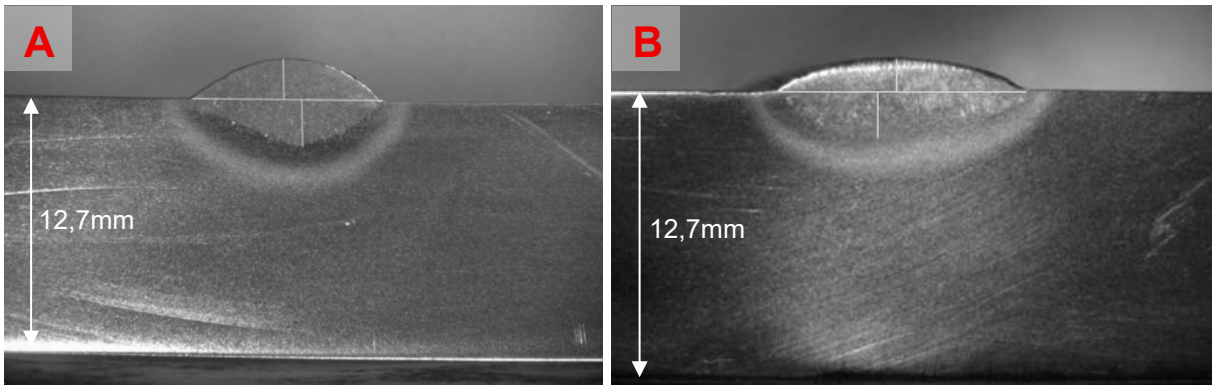
As macrografias revelaram diferenças na geometria do cordão de solda entre os processos analisados. No processo C-GTAW, a zona fundida (ZF) apresentou 9,66 mm de largura, cordão com altura de 2,01 mm e penetração de 2,4 mm (Figura 10A).

No processo GTAW-DWF, observa-se uma maior assimetria do cordão com largura de 10,63 mm, penetração máxima de 1,7 mm e altura de 1,41 mm (Figura 10B).

A maior profundidade observada no processo C-GTAW pode estar associada à alimentação contínua do arame, que favorece maior estabilidade da poça de fusão e maior regularidade na transferência do metal de adição.

No processo GTAW-DWF, por sua vez, o movimento dinâmico do arame pode contribuir para a maior distribuição lateral do cordão depositado, resultando em cordões com maior largura e menor altura. Esse comportamento sugere que a alimentação dinâmica do arame influencia a geometria da solda, mesmo quando os principais parâmetros de modulação são mantidos constantes.

Figura 10 – Perfis macrográficos das soldas

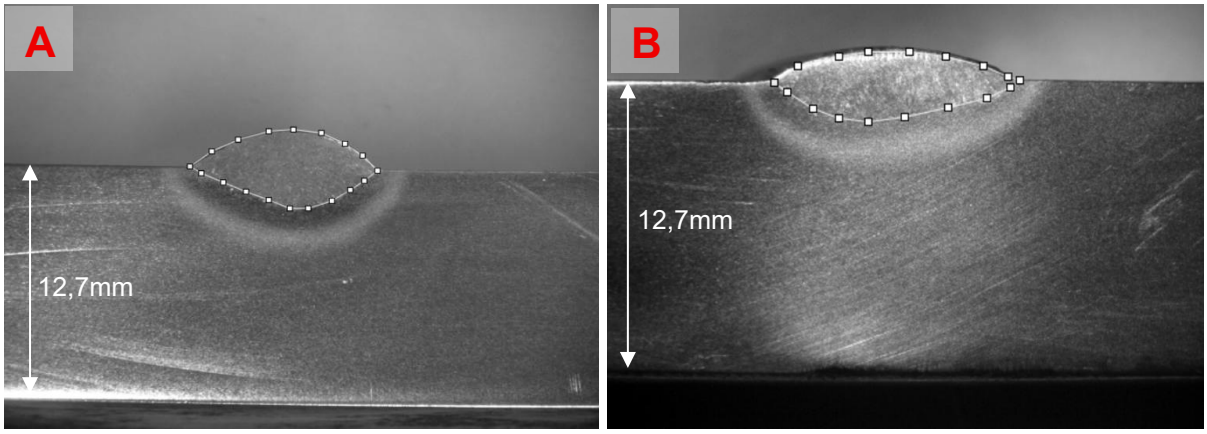


Fonte: Autores (2026).
Nota: (A) em C-GTAW; (B) em GTAW-DWF.

No que diz respeito à zona fundida (ZF), a análise macrográfica, revelou uma área de 27,8 mm² para o processo C-GTAW (Figura 11A) e 28,08 mm² para a área da solda executada com alimentação dinâmica (GTAW-DWF), conforme visualizado na Figura 11, o que correspondeu a uma diferença reduzida de 1,01%. Esse resultado indica que, nas condições avaliadas, o modo de alimentação do arame exerceu ínfima influência sobre a área total da zona fundida.

Entretanto, embora as áreas tenham sido semelhantes, os perfis geométricos dos cordões foram distintos, demonstrando que a alimentação dinâmica influenciou principalmente a forma como o metal fundido se distribuiu na seção transversal da solda.

Figura 11 – Zonas Fundidas

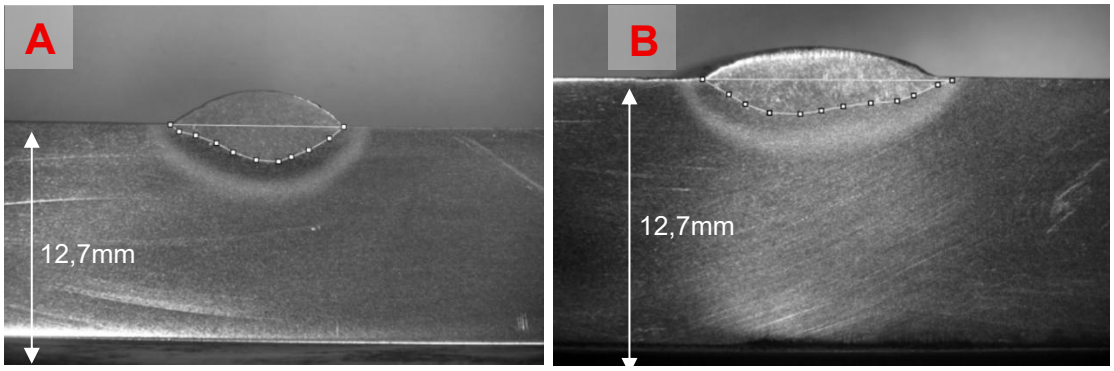


Fonte: Autores (2026).
Nota: (A) em C-GTAW; (B) em GTAW-DWF.

Observou-se que a soldagem realizada com alimentação contínua (C-GTAW) conforme Figura 12, o corpo de prova apresentou uma diluição de 50,54% em comparação à soldagem com alimentação dinâmica de 10 Hz (GTAW-DWF), com um valor de 43,87%, refletido em uma queda de 6,67%. Tais evidências corroboram com o estudo de diluição efetuado na tese de Neves (2022).

Os dados acima, refletem a preocupação de Riffel (2016), quanto à obtenção de baixos níveis de diluição de ligas especiais sobre ligas ferrosas, constituindo-se como um fator fundamental nos processos de soldagem de revestimento, uma vez que a elevada diluição pode comprometer a resistência à corrosão. Dessa forma, a seleção dos consumíveis de soldagem deve considerar a minimização da incorporação de elementos provenientes do metal de base, especialmente o ferro, visando preservar a composição química e o desempenho anticorrosivo da junta soldada.

Figura 12 – Diluição

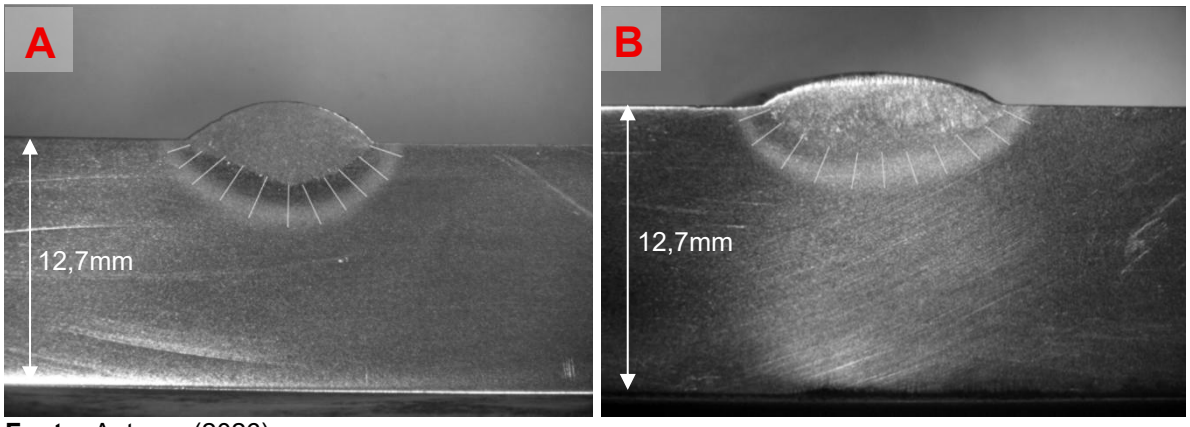


Fonte: Autores (2026).
Nota: (A) CP com C-GTAW; (B) CP com GTAW-DWF.

A menor variação na ZAC no GTAW-DWF também sugere maior regularidade térmica ao longo da seção analisada. Enquanto no processo C-GTAW apresentou variação de 1,19 mm a 2,30 mm, o GTAW-DWF apresentou variação de 1,33 mm a 1,72 mm. Essa menor dispersão pode indicar melhor controle térmico local, possivelmente associado ao movimento alternado do arame frio e ao modo de transferência de energia para a poça de fusão.

A extensão da zona afetada pelo calor (ZAC) foi avaliada por meio de 11 medições realizadas com o auxílio do software *ImageJ*. O corpo de prova soldado com alimentação contínua (Figura 13A), apresentou uma ZAC variando de 1,19 mm a 2,30 mm com média de 1,93 mm.

Figura 13 – Área da zona afetada pelo calor

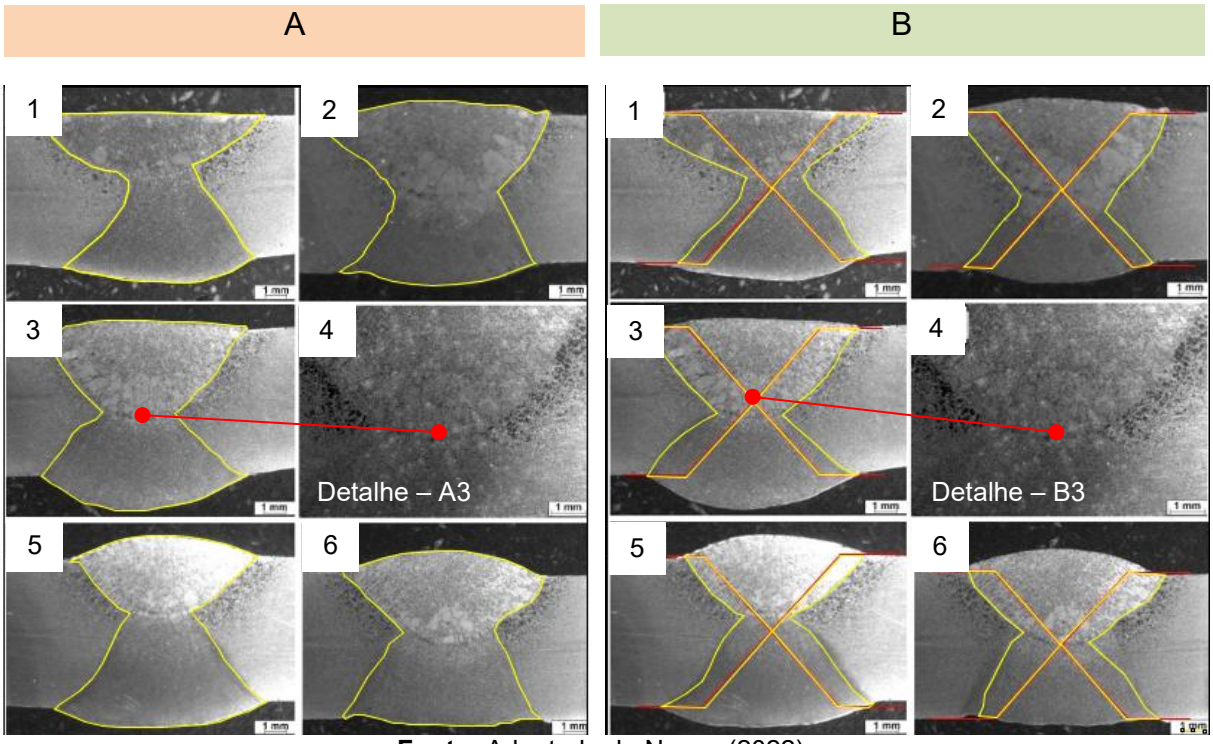


Fonte: Autores (2026).
Nota: (A) Zona fundida e (B) Diluição.

Para a solda realizada com alimentação dinâmica de 10 Hz (Figura 13B), utilizando-se a mesma metodologia, a ZAC variou de 1,33 mm a 1,72 mm, com média de 1,22 mm, representando uma redução de aproximadamente 36,79% em relação ao processo C-GTAW. Esse resultado sugere que o processo GTAW-DWF favoreceu maior controle térmico local, possivelmente devido ao movimento alternado do arame e à forma de transferência de energia para a poça de fusão.

No estudo de Neves (2022), foram realizadas soldas pelo processo GTAW-DWF com consumível ER70S-6 sobre aço estrutural C-Mn-Si, em junta de topo com chanfro em “X”. A Figura 14 apresenta a delimitação da zona fundida e a participação do metal de base, utilizadas para a determinação da diluição. Os resultados reportados corroboram as observações de Riffel *et al.* (2018).

Figura 14 – Estudo de diluição

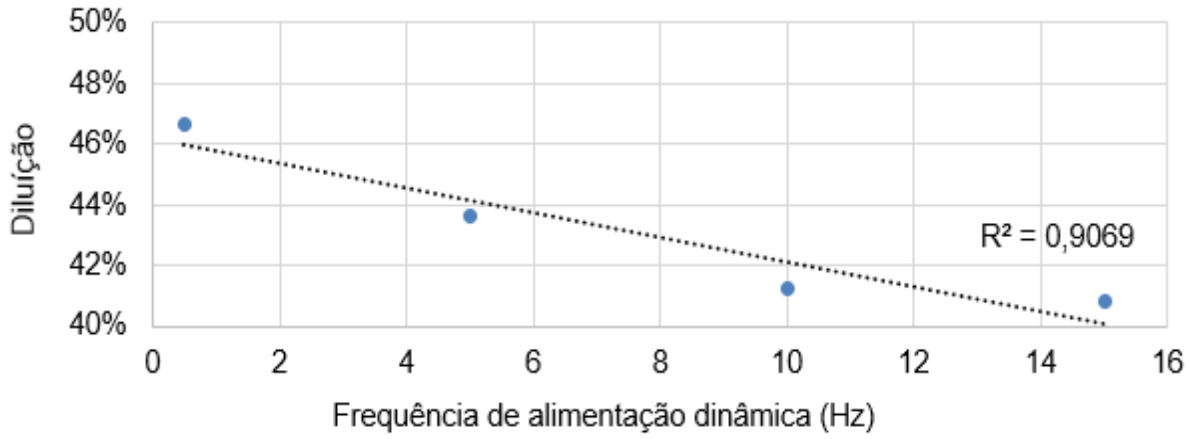


Fonte: Adaptado de Neves (2022).

Nota: (A) Zona fundida e (B) Diluição.

Aplicando o coeficiente de Pearson (Figura 15), constatou-se uma correlação negativa entre a frequência dinâmica de alimentação e a diluição, ou seja, quanto maior a frequência, menor a diluição. A diluição consiste na participação do metal de base na zona fundida. No estudo de Neves (2022), também observou o mesmo tipo de correlação, com coeficiente de determinação de $R^2 = 0,9069$, indicando forte associação entre as variáveis analisadas naquele estudo.

Figura 15 – Correlação entre a diluição e frequência de alimentação dinâmica (0,5 Hz – 15 Hz)



Fonte: Adaptado de Neves (2022).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises macrográficas das soldas realizadas pelo processo GTAW automatizado, com alimentação contínua e dinâmica, indicaram ausência de descontinuidades visíveis nas condições avaliadas, evidenciando a adequação dos parâmetros utilizados no presente estudo.

As geometrias dos cordões foram influenciadas pelo modo de alimentação do arame. O processo C-GTAW apresentou maior penetração e maior altura do cordão, enquanto o processo GTAW-DWF resultou em maior largura e menor altura. Esse comportamento sugere que a alimentação dinâmica modifica a distribuição do metal depositado e a interação térmica na poça de fusão, mesmo quando os principais parâmetros de transferência são mantidos constantes.

As áreas das zonas fundidas foram semelhantes, com diferença aproximada de 1,01%, indicando que o modo de alimentação teve pouca influência sobre a área total fundida. Entretanto, houve alteração no perfil da solda, demonstrando que a dinâmica da alimentação influencia principalmente a geometria da secção transversal.

Em relação à diluição, a solda realizada com alimentação dinâmica de 10 Hz apresentou menor participação do metal de base na zona fundida, com redução de 6,67% em comparação à soldagem com alimentação contínua. Esse resultado é relevante para aplicações em que se busca maior controle da composição química do metal depositado, como na soldagem de revestimento e em aplicações industriais que exigem menor interação entre metal de base e metal de adição.

A extensão média da ZAC também foi menor no processo GTAW-DWF, indicando maior controle térmico na condição avaliada. Esse comportamento pode estar associado aos movimentos sucessivos do arame, que influenciam a transferência de calor e a distribuição do metal na poça de fusão.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se ampliar o número de amostras, avaliar outras frequências de alimentação dinâmica e complementar a análise macrográfica com ensaios de dureza, caracterização microestrutural e análise estatística dos resultados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNATIONAL. **ASTM E3-11**: Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNATIONAL. **ASTM E112-13**: Standard Test Methods for Determining Average Grain Size. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNATIONAL. **ASTM handbook of comparative world steel standards**. 3. ed. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2004.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME Boiler and Pressure Vessel Code – Section II**: Materials, Part C: Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals (SFA-5.12). New York: ASME, 2025.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME Boiler and Pressure Vessel Code – Section II**: Materials, Part C: Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals (SFA-5.18). New York: ASME, 2025.

AMERICAN WELDING SOCIETY. **AWS D1.1/D1.1M:2020 – Structural Welding Code – Steel**. Miami, FL: AWS, 2020.

ARCELORMITTAL. **Guia do aço**. Essel Engenharia, 2024. Disponível em: <https://essel.com.br/download/arcelormittal-guia-do-aco/>. Acesso em: 5 maio 2026.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais**: uma introdução. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia mecânica**: materiais de construção mecânica. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2017.

COLPAERT, H. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2008.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, **A. Soldagem**: fundamentos e tecnologia. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.

MODENESI, P. J. **Soldagem**: fundamentos e tecnologia. Belo Horizonte: UFMG, 2001.

NEVES, N. **Estudo da influência da frequência de alimentação dinâmica do processo de soldagem TIG automático no comportamento de fadiga axial do aço C-Mn-Si. 2022**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2022.

RIFFEL, K. C.; **Soldagem de união interna em tubos de aço C-Mn cladeados com Inconel 625.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 2016.

RIFFEL, C.R. **Avanços Tecnológicos do processo TIG: Técnicas inovadoras de alimentação de arame e procedimentos automatizados como contribuição para a união de tubos internamente cladeados.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina. UFSC Florianópolis, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/ xmlui/ bitstream/ handle/ 123456789/176703/347848.pdf sequence =1&isAllowed=y>. Acesso em 05 mai. 2020.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS INTERNATIONAL. **SAE J403_202402**: Chemical Compositions of SAE Carbon Steels. Warrendale, PA: SAE International, 2024. Stabilized February 2024. Revised June 2014. Issued June 1911. Disponível em: <https://saemobilus.sae.org/standards/j403_202402-chemical-compositions-sae-carbon-steels>. Acesso em: 22 maio 2026. DOI: 10.4271/J403_202402.

SOUZA, S. S.; NUNES, W. M. M.; PAGANINI, P. Processo de soldagem: uma introdução aos princípios básicos do processo de soldagem TIG aplicado na indústria mecânica**. Revista Científica de Ciências Exatas e Tecnologia**, Contagem, MG, v. 14, n. 14, p. 27–29, 2019.

SISTEMA LOGÍSTICO DE DISTRIBUIÇÃO DO BOTICÁRIO PARA AS UNIDADES FRANQUEADAS DA REGIÃO DE ITAPETININGA
LOGISTICS DISTRIBUTION SYSTEM OF O BOTICÁRIO FOR FRANCHISE UNITS IN THE ITAPETININGA REGION

Camile Amancio Martins [1]
Sofhia Moreira [2]
Helder Boccaletti [3]

RESUMO: A pesquisa exploratória e descritiva, visa compreender como os processos logísticos impactam a eficiência operacional das unidades franqueadas, analisando a demanda por região, a abrangência das linhas de produtos e ao atendimento efetuado pelo Centro de Distribuição responsável pelo fornecimento direto para as unidades. Os resultados demonstram que as atividades da logística de distribuição são fundamentais para o fornecimento contínuo das lojas, através de Centros de Distribuição estruturados, sistemas automatizados de gestão, roteirização do transporte e armazenagem informacionais. A agilidade na entrega e reposição garante a disponibilidade de produtos, a qualidade do serviço prestado e a competitividade no mercado local. O sistema de distribuição do Boticário tem papel estratégico no desempenho das franquias para um atendimento padronizado, fidelização dos consumidores e consolidar o posicionamento da marca. Os objetivos foram alcançados, evidenciando a integração entre infraestrutura logística, gestão e tecnologia para maximizar a eficiência e competitividade através do sistema de franchising, que demonstrado um significativo crescimento mesmo em condições econômicas adversas.
Palavras-chave: *Franchising*; Logística de Distribuição; Reabastecimento; Satisfação do Cliente; Eficiência Operacional.

ABSTRACT: The exploratory and descriptive research aims to understand how logistics processes impact the operational efficiency of franchised units, analyzing regional demand, the scope of product lines, and the service provided by the Distribution Center responsible for directly supplying the units. The results show that distribution logistics activities are essential for the continuous supply of stores, through structured Distribution Centers, automated management systems, transportation routing, and information-based storage. Delivery and replenishment agility ensure product availability, service quality, and competitiveness in the local market. Boticário's distribution system plays a strategic role in franchise performance by enabling standardized service, customer loyalty, and strengthening the brand's market position. The objectives were achieved, highlighting the integration of logistics infrastructure, management, and technology to maximize efficiency and competitiveness through the franchising system, which has shown significant growth even under adverse economic conditions.
Keywords: Franchising; Distribution Logistics; Replenishment; Customer Satisfaction; Operational Efficiency.

Formanda em Comércio Exterior - Fatec Itapetininga - E-mail: camilem580@gmail.com [1]
Formanda em Comércio Exterior - Fatec Itapetininga - E-mail: sofhiamoreira392@gmail.com [2]
Professor Orientador, Especialista em Marketing de Produtos e Serviços – Docente de PósGraduação na MBA da FGV polo Sorocaba e graduação na FATEC Itapetininga e FKB em Itapetininga– helder@fatecitapetininga.edu.br[3]

1 INTRODUÇÃO

Este artigo busca evidenciar como a integração entre infraestrutura logística, gestão e tecnologia maximiza a eficiência e competitividade do grupo Boticário para as unidades franqueadas da região de Itapetininga, localizada no estado de São Paulo, através do sistema de *franchising*.

O grupo Boticário fundado em 1977, na cidade de Curitiba (PR), por Miguel Krisgner, um dos maiores fabricantes no segmento de cosméticos no Brasil, com uma infraestrutura logística apta para atender suas quatro mil lojas, espalhadas em diversos pontos do território nacional, de grandes centros urbanos até localidades mais remotas, através de uma logística de distribuição sendo o alicerce principal, garantindo a demanda de seus consumidores no país e no exterior (Grupo Boticário, 2019).

Uma gestão estratégica com a participação de transportadoras parceiras na otimização de rotas, asseguram a entrega dos produtos, desde suas três fábricas no Brasil, seus dez centros de distribuição para suas unidades franqueadas ou ao destinatário final através do *e-commerce* (Mundo Logística, 2025).

O *franchising* é uma estratégia de negócios que surgiu em resposta às dificuldades encontradas por empresários, uma ideia criativa que visa atender uma necessidade presente em quase todos os segmentos e em constante evolução. Para Cherto *et al.* (2006), o *franchising* permite que uma organização possa expandir seus negócios através das competências por ela desenvolvidas.

O modelo de *franchising* oferece aos franqueados suporte operacional, de marketing e reconhecimento de marca. A Associação Brasileira de Franchising (ABF, 2025), evidencia a competência do setor mesmo em cenários econômicos complexos, movido pela busca contínua por novas estratégias e excelência, tornando o negócio viável para o franqueador e para os franqueados, por meio de um modelo de negócio já foi testado, a marca consolidada, permitindo que os riscos e incertezas presentes ao abrir um negócio sejam minimizados (Endeavor, 2023).

Segundo o Guia Franquias (2025), evidencia-se que a busca de novas estratégias, abrem novas oportunidades de negócio, para investidores de diferentes perfis com o intuito de aumentar sua renda mensal diante de uma circunstância apropriada, ou seja, um planejamento para investir. A ampla rede O Boticário demanda por um sistema logístico eficaz para promover um atendimento de

excelência e o fornecimento apropriado de produtos. O estudo aplicado à operacionalização da logística de distribuição, envolve a reposição de produtos, onde a distância dos Centros de Distribuição e prazos de entrega, são fundamentais para garantir a fidelização dos clientes e a competitividade.

A logística de distribuição do Boticário tem entre seus Centros de Distribuição, o localizado na cidade de Varginha (MG) que atende as unidades franqueadas O Boticário na região de Itapetininga gerenciadas através de uma unidade central, responsável pelo abastecimento de cada uma das unidades na região, através da reposição de produtos de maneira contínua e dentro dos prazos determinados. A eficácia desse método, é importante para que, cada loja possa assegurar uma ágil reposição de seus estoques e garantir a satisfação dos clientes (Mundo Logística, 2025).

Nesse contexto, este artigo visa entender a logística de distribuição para as franquias do Grupo Boticário, com foco nas unidades de Itapetininga (SP), e através da análise do processo logístico de reposição dos produtos, identificar as particularidades logísticas que afetam a distribuição devido à gama de produtos, os prazos de entrega e de reposição na satisfação e fidelização dos clientes das unidades locais

A necessidade de compreender as particularidades operacionais e logísticas da estrutura de franquias em uma região específica, onde a gestão centralizada do abastecimento é indispensável, permite entender as principais dificuldades enfrentadas para o atendimento das unidades franqueadas, os métodos utilizados para solucioná-las e os resultados desse gerenciamento, a fim de permitir estendê-los para outros segmentos de franquias.

2 METODOLOGIA

Tendo como questão norteadora os aspectos operacionais do sistema de logística de distribuição do Grupo Boticário para as unidades franqueadas situadas na região de Itapetininga (SP), no período de 2023 a 2026, por meio de uma abordagem qualitativa, de natureza exploratória e descritiva, buscando hipóteses e ideias para melhor verificação, conforme citado por Gil (2018), e a pesquisa bibliográfica realizada tem como base artigos científicos, livros e materiais acadêmicos ligados à logística de distribuição, infraestrutura, prazos de entrega e de reposição, *franchising* e como

impactam na satisfação e fidelização dos clientes das unidades franqueadas (Yin, 2015).

Trata-se de uma pesquisa bibliográfica e documental, sendo a abordagem de natureza qualitativa, com o objetivo de enriquecer os resultados, por meio da interpretação dos fenômenos relevantes ao estudo, segundo Freitas e Jabbour (2011) e a pesquisa documental voltou-se para a análise de relatórios institucionais, publicações corporativas e documentos do grupo Boticário e em especial os da máster franquia encarregada pelas unidades da região.

Foram utilizadas fontes oficiais como a Associação Brasileira do Franchising (ABF), o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e informações do Máster Franqueado de Itapetininga (SP), relacionando-os à pareceres que demonstram tendências relevantes para o artigo.

A pesquisa foi elaborada principalmente no Google Acadêmico em função da disponibilidade de acesso à ferramenta, em *sites* institucionais, utilizando palavras-chave como “franquias”, “logística de distribuição”, “infraestrutura” e “prazos de entrega e demanda”. A escolha dos materiais seguiu critérios de inclusão baseados em relevância temática e temporalidade (2010–2026).

As informações foram sistematizadas e analisadas de forma comparativa, permitindo identificar os principais aspectos relacionados ao *franchising*, logística de distribuição, infraestrutura, prazos de entrega e de reposição, satisfação e fidelização dos clientes.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A logística tem papel estratégico nas organizações, sendo responsável pela estruturação, realização e controle do gerenciamento eficiente da movimentação produtos, desde a matéria prima até o consumidor final. Segundo Ballou (2006), a logística empresarial envolve tarefas como controle de estoque, armazenagem, transporte, e processamento de pedidos, com o foco de possibilitar que os produtos estejam disponíveis no local e no período desejado pelos clientes.

A logística de distribuição é fundamental para assegurar o fornecimento adequado das unidades comerciais. Christopher (2016), ressalta que sua eficiência está associada diretamente à capacidade da empresa de integrar processos, reduzir despesas operacionais e elevar o nível de serviço fornecido ao cliente.

Empresas com sistemas de franquias, como o Grupo Boticário, requerem uma infraestrutura logística estruturada, constituída por Centros de Distribuição, plataformas tecnológicas para gestão e planejamento logístico de transporte, pilares essenciais para garantir o reabastecimento adequado dos estoques, manter a satisfação dos consumidores e diminuir rupturas de produtos nos pontos de venda (Mundo Logística, 2025).

3.1 *FRANCHISING*

O *Franchising* surgiu nos Estados Unidos, entre 1851 e 1852, quando a fabricante de máquinas de costura Singer decidiu ceder licenças de uso de sua marca e seus métodos de operação à comerciantes interessados em revender seus produtos em cidades e vilarejos em diferentes estados norte-americanos (Cherto *et. al*, 2006).

No Brasil segundo os autores, o início do *franchising* surgiu com os primeiros shoppings em 1996, frequentados por pessoas de classe média alta, os pontos comerciais exigiam alto investimento, e em função disso surgiram às franquias como uma solução ideal, devido envolver marcas renomadas, consagradas pelo mercado, com clientes consolidados, direito ao suporte técnico e treinamentos, tornando o negócio mais seguro, viável e o retorno de investimento inicial mais rápido.

Uma das principais redes que popularizou o sistema de franquias no mundo foi o McDonald's. O responsável por trazer a marca para o Brasil, em 1979, foi o ex-executivo do Banco Garantia, Peter Rodenbeck, responsável também por trazer recentemente o Outback (Cherto *et. al*, 2006).

> O *franchising* é um método para a distribuição de produtos e/ou serviços, cujo sucesso depende, fundamentalmente, da capacidade de se reproduzir, em diferentes locais e sob a responsabilidade de diferentes pessoas, um mesmo conceito de negócio (Cherto *et. al,* 2006).

Para Cherto *et. al,* (2006), o franqueador é beneficiado pelo sistema por expandir seu negócio rapidamente, sem que para isso utilize de capital próprio, aumentando assim o seu *market share*, ou seja, expandir e tornar sua marca renomada, participação das vendas dos produtos ou serviços, receber pela taxa de admissão de novos franqueados, receber mensalmente os *royalties*, uma taxa paga para os franqueadores pela continuidade de uso de sua marca e direito ao suporte da franquia, correspondente a uma porcentagem do faturamento bruto ou líquido,

definido em função do renome da marca, segmento de mercado e os suportes oferecidos pelo franqueador, alguns mais completos do que outros.

Tom Moreira Leite, presidente da Associação Brasileira de Franchising (ABF, 2025), afirma que o poder de se gerar benefícios mútuos para todos os participantes da rede ocorre quando uma relação de negócios é baseada na integridade e retidão.

Este sistema proporciona grandes vantagens, principalmente se o candidato a franqueado for inexperiente, pois trabalhará com marcas consagradas, testadas e aprovadas no mercado, minimizando os riscos dos investimentos, que para Maricato (2006), os riscos dos empreendedores que adquirem franquias são no mínimo cinco vezes menores do que o dos que se aventuram a empreendimentos independentes.

O sucesso de uma franquia, depende de um bom planejamento e do aperfeiçoamento contínuo de produtos e/ou serviços, atendimento e principalmente a seleção e o relacionamento com os franqueados. Para garantir o sucesso de uma rede de franquias, é importante a seleção correta e a avaliação se as características do franqueado estão alinhadas com a estratégia empresarial da franquia, e para o sucesso do franqueado é importante a escolha correta da franquia, um dos critérios mais importantes para se investir é certificar-se de que a rede oferece credibilidade e segurança para o franqueado (Cherto *et. al*, 2006).

3.1.1 ABF - Associação Brasileira de Franchising

O *franchising* no Brasil tem como referência e suporte no assunto a Associação Brasileira de Franchising (ABF), uma entidade sem fins lucrativos, com o propósito de divulgar e promover o aperfeiçoamento técnico e institucional deste modelo de negócio, um importante papel para franqueadores e franqueados, mediando as relações, fortalecendo uma política nacional para o setor, gerando postos de trabalho e distribuição de renda. Este modelo de negócio possui leis específicas que regem as relações entre franqueadores e franqueados, o que torna a negociação clara e segura. (ABF, 2025).

No dia 26 de março de 2020 entrou em vigor a Nova Lei de Franquias Lei n° 13.966/2019 (Brasil, 2019), que substituiu a Lei nº 8.955/94, obrigando as Redes de Franquias que operam no Brasil a revisão e atualização de seus instrumentos jurídicos e as informações iniciais transmitidas para o candidato à franquia e ao mercado, elevando o padrão de qualidade e confiabilidade, maior rigor na punição devido a

propostas não condizentes com a realidade, ou a omissão de informações. Em função disso a ABF proporciona o suporte necessário para todos aqueles que fazem parte ou desejam engajar neste modelo de negócio.

Segundo a ABF (2025), hoje no Brasil são cerca de 3.300 redes, com um faturamento anual em 2024 de cerca de R$ 273 bilhões. Por meio de parcerias com instituições públicas e privadas, resulta em financiamentos, incentivos, legislação e programas de apoio gerencial nas mais diversas áreas, além de benefícios para seus associados, como a divulgação da marca no "portal do *franchising",* principal mídia *online* do setor, promove eventos de conteúdo que tem por objetivo capacitar, ampliar o conhecimento, gerar *network* e a troca de experiências. Tais parcerias são grandes oportunidades de fortalecer, agregar valor e conhecimento à marca, tendo atualmente como parceiros estratégicos, o SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio à Micro e Pequena Empresa), a APEX (Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos), a FAMPE (Fundo de Aval para Pequenos Negócios).

3.2 LOGÍSTICA

De acordo com Ballou (2006), a logística atua como uma ferramenta de planejamento e controle do fluxo de produtos, desde a matéria-prima até o produto. Para Novaes (2007), a logística resulta da gestão de estoques e integração entre transporte, sendo essencial para melhorar o desempenho operacional das empresas.

Fleury e Wanke (2009), afirmam que a logística vai além do transporte, envolve organização, planejamento e o uso de tecnologias ao longo de toda a cadeia de suprimentos. Moura (2018), acrescenta que a tecnologia e a automação dos processos logísticos tornam as operações mais ágeis e eficazes, permitindo que as empresas se sobressaiam diante da concorrência.

Empresas que atuam com unidades franqueadas, como ocorre no Grupo Boticário, a logística precisa ser eficiente e uniforme para todas as unidades, assegurando a distribuição correta dos produtos. Martins (2020), destaca que a integração entre franquias e Centros de Distribuição proporcionam redução de custos operacionais e mantêm a qualidade do serviço.

3.2.1 Distribuição Física

A distribuição física envolve o fluxo de produtos acabados, da expedição até os Pontos de Venda ou até o consumidor final, a fim de garantir que o produto certo, na quantidade certa, chegue ao local e momento certo, com o menor custo possível. Moura (2018), explica que isso inclui transporte, embalagem, estoque e a separação de pedidos, sendo suas principais funções:

- Gestão de Pedidos: execução das etapas de recebimento, verificação e inclusão de pedidos no sistema por parte dos franqueados;
- Gestão de Estoques: estruturar e administrar os estoques nos Centros de Distribuição de forma que atenda a demanda sem incorrer em custos adicionais;
- Transporte: definir o modal de transporte e a rota das entregas para diminuir tempo e custos;
- Armazenagem: determinar parâmetros de quantidade, localização e capacidade para os Centros de Distribuição;
- Manuseio de Materiais: movimentação, separação (*picking*), embalagem (*packing*) e preparo das mercadorias para o despacho dentro do armazém.

3.2.2 Centros de Distribuição - CDs

São bases logísticas estratégicas, projetadas para receber, armazenar e despachar cargas de forma prática. Diferentemente de um armazém tradicional, que foca na armazenagem a longo prazo, um CD é um ponto de fluidez, onde o objetivo é diminuir o tempo de permanência do produto (Rodrigue, 2018).

Para Ballou (2006), os Centros de Distribuição são utilizados por empresas que precisam manter grandes quantidades de estoque para futuramente realizar a distribuição para unidades próprias ou para clientes, cujas funções incluem receber e avaliar os produtos entregues pelas fábricas e fornecedores, alocar os produtos em locais planejados para facilitar o acesso e a movimentação, separar e embalar os itens que compõem os pedidos, preparar para envio e consolidar as cargas, carregar os veículos de transporte e enviar ao destino.

Segundo relatório da Intermodal Digital (2025), a tendência atual é a adoção de CDs flexíveis, com *layout* modular, integração com diferentes modais e infraestrutura adaptada para operações sustentáveis, através do uso de energia limpa e embalagens reutilizáveis. Esses centros otimizam o tempo de ciclo dos pedidos,

reduzem os erros operacionais e aumentam a satisfação do cliente final, sendo fundamentais para a competitividade logística das empresas no cenário atual.

Um sistema de distribuição eficiente deve proporcionar agilidade, custos reduzidos, assegurar a entrega dos produtos dentro do tempo determinado, no local exato e com o melhor atendimento ao cliente. Essa integração é essencial para atender às demandas do mercado atual, especialmente diante da expansão do *e-commerce* e da personalização dos pedidos dos franqueados (Rodrigue, 2018).

3.2.3 Centro de Distribuição do Boticário Varginha (MG)

No Grupo Boticário, os CDs garantem que as franquias recebam os produtos rapidamente e de maneira organizada, instalados em localidades estratégicas para a otimização das rotas e redução com os custos logísticos, garantindo a satisfação dos franqueados. Trata-se de um sistema logístico multifacetado e abrangente, operando no método *end-to-end*, que gerencia desde a triagem das matérias-primas até a entrega final ao consumidor ou franqueado. Para atender sua rede com mais de quatro mil lojas e demais canais de venda, conta com dez centros de distribuição, sendo sete localizados em território nacional (Grupo Boticário, 2019).

As unidades franqueadas da região de Itapetininga (SP), são atendidas pelo CD de Varginha (MG), um centro logístico taticamente posicionado no Porto Seco de Varginha (Prefeitura de Varginha, 2019).

> Com a inauguração do Centro de Distribuição em Varginha, o Grupo Boticário começa um novo capítulo de uma história de sucesso. Um espaço moderno, com infraestrutura e tecnologia de ponta e com localização estratégica. Varginha é um município bem estruturado, com excelente mão de obra e que está se tornando um competitivo centro logístico com o Porto Seco (Grupo Boticário, 2019)

Em 2022, com a expansão em 5 mil metros quadrados, o CD foi ampliado para movimentar cerca de 1,2 milhão de peças por dia, um aumento de 400 mil peças em comparação ao projeto inicial. A estrutura total de 24 mil metros quadrados, conta com 34 docas para carga e descarga (Grupo Boticário, 2022). Em função dessas condições as unidades franqueadas da região de Itapetininga, passam a receber a reposição de produtos de maneira constante e dentro dos prazos, minimizando rupturas de estoque e garantindo a satisfação dos clientes (Mercado & Consumo, 2024).

3.2.4 Modais de Transporte utilizados pelos CDs Boticário

Para assegurar uma gestão logística eficiente, o Grupo Boticário emprega diferentes modais de transporte, sendo o principal o rodoviário, que transporta os produtos dos CDs até os centros regionais e lojas franqueadas. Nesse processo conhecido como *middle mile*, esse modal é visto como o melhor para o Brasil devido à sua flexibilidade e ampla cobertura territorial (Mundo Logística, 2025).

Nas grandes cidades, o grupo utiliza veículos elétricos nas entregas finais (*last mile*), em conjunto com empresas como a DHL Supply Chain, que ajudam a levar os produtos até o cliente, de forma ágil e sustentável (DHL Supply Chain, 2021)

Além do transporte rodoviário, o Boticário também utiliza o aéreo para entregas rápidas e de produtos de maior valor agregado, e o marítimo para enviar produtos para outros países com menor custo (Boticário, 2024).

Na sua busca pela sustentabilidade, o Grupo Boticário (2024), utiliza-se dos processos de logística reversa e práticas sustentáveis em suas atividades. Dentro da empresa, são utilizados veículos a GNV e biometano, estações de recarga elétrica, estacionamentos para bicicletas e programas de carona, que apontam o compromisso da empresa com a redução das emissões de carbono e a promoção da mobilidade sustentável, juntando suas estratégias de logística com a responsabilidade ambiental.

Para o suporte das unidades franqueadas localizadas na região de Itapetininga (SP), o Centro de Distribuição de Varginha (MG) responsável pelo atendimento, utiliza predominantemente o modal rodoviário, que de acordo com Ballou (2006), é considerado o mais indicado nesse cenário, devido seu alcance, flexibilidade e custo operacional relativamente reduzido.

O transporte rodoviário é realizado pelo Grupo por meio de parcerias logísticas e empresas terceirizadas, assegurando a transferência dos produtos dos Centros de Distribuição dentro dos prazos e com segurança, e envolve o transporte de média distância (*middle mile*) entre o CD e os *Hubs* regionais, e o transporte de última milha (*last mile*), responsável pelas entregas diretamente nas lojas (Moura, 2018).

3.2.5 Sistemas de Roteirização utilizados pelos CDs Boticário

O sistema de roteirização adotado pelos CDs do Grupo Boticário, substituem os processos manuais pela automação via um Sistema de Gerenciamento de Transporte (TMS), tecnologia automatizada que otimiza a expedição, envolve a

separação das entregas, o melhor trajeto e a sequência das entregas a serem obrigatoriamente realizadas, reduzindo custos e aumentando a efetividade das entregas (Portal ERP, 2024).

A adesão a este sistema de roteirização permite ao CD de Varginha (MG), aumentar a capacidade da frota, resultando em uma baixa da quilometragem rodada e ainda, na realização de mais entregas com a mesma quantidade de veículos com cerca de 1,2 milhão de peças por dia (Grupo Boticário, 2022a).

3.2.6 Recebimento e Separação de Pedidos dos Franqueados pelo CD

O sistema de recebimento e processamento de pedidos desempenha um papel essencial na eficiência logística, para isso os pedidos devem ser analisados, avaliados e processados, onde de acordo com Ballou (2006), é fundamental o alinhamento do fluxo de pedidos para o equilíbrio da cadeia de suprimentos, permitindo que o tempo entre o recebimento e a entrega (*lead time*) seja o menor possível.

Nos CDs do Grupo Boticário, o recebimento de pedidos das unidades franqueadas ocorre através de sistemas informatizados de gestão integrada, que unificam as informações de faturamento, estoque, transporte e rastreamento dos pedidos, conectados ao ERP corporativo (*Enterprise Resource Planning*), viabilizando que as unidades franqueadas tenham acesso sobre as informações da armazenagem dos produtos e possam rastrear em tempo real as entregas (Boticário, 2024).

Segundo Moura (2018), o uso de sistemas automatizados de gestão logística contribui para redução de erros de separação, otimiza o controle de estoque e aumenta o desempenho operacional. No contexto do Boticário, gera um fluxo contínuo e sincronizado entre os franqueados e o CD. A utilização de ferramentas digitais de *Business Intelligence* (BI) e monitoramento logístico, analisam o histórico de pedidos, identificam padrões de consumo e ajustam o planejamento de reposição conforme a demanda regional fundamental para evitar rupturas de estoque e garantir o abastecimento contínuo das unidades franqueadas (Fleury; Wanke, 2009).

O sistema de pedidos do Boticário é orientado pela digitalização de processos reduzindo o uso de papel e priorizando o envio eletrônico de comprovantes e documentos fiscais, que agiliza as operações e reforça o compromisso ambiental da empresa (Presa, 2024).

A agilidade na separação de pedidos, ou *picking*, no CD de Varginha (MG), é fundamental para o reabastecimento das unidades franqueadas de Itapetininga (SP), através de soluções de logística 4.0, com a finalidade de otimizar as operações logísticas e suprir de maneira eficaz as demandas dos franqueados.

No CD de Varginha (MG), o processo de separação de pedidos ocorre com o apoio de sistemas automatizados de armazenagem e gestão, que contribuem para a agilidade na preparação das entregas e organização dos estoques com maior controle operacional. Essa automação permite que o processo de *picking* seja realizado com maior rapidez e precisão, amenizando riscos operacionais e garantindo que os produtos cheguem às unidades franqueadas dentro dos prazos estabelecidos e de forma correta, contribuindo diretamente para a constância do abastecimento e a satisfação dos clientes (Boticário, 2024).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MÁSTER FRANQUIA PARA UNIDADES DA REGIÃO ITAPETININGA

Em Itapetininga, interior de São Paulo, o Boticário começou a operar através de uma máster franquia, encarregada de gerenciar e dar apoio às unidades franqueadas da região. Essa organização permitiu que o serviço e a entrega fossem feitos de maneira uniforme, assegurando o mesmo padrão de qualidade presente em outras partes do país (Boticário, 2024).

De acordo com Fleury e Wanke (2009), a uniformização e o controle das operações de logística são cruciais para manter a eficiência em redes de franquias, ou seja, as lojas seguem o modelo empresarial de atendimento, identidade visual e administração de estoque, em conformidade com as orientações da marca (Boticário, 2024).

O Boticário é visto como uma das redes de franquias mais bem organizadas do Brasil, com mais de quatro mil lojas espalhadas por todos os estados (Mundo Logística, 2025). Em Itapetininga, a expansão da rede demonstra o êxito do sistema logístico de distribuição e o empenho das unidades franqueadas em garantir a alta qualidade no serviço e na disponibilidade de produtos.

4.1.1 Breve Histórico

A trajetória das unidades O Boticário na região de Itapetininga utiliza como estratégia de expansão da marca o sistema de franquias, onde a implementação e o crescimento da rede nessa região estão diretamente relacionados ao conhecimento de gestão na área comercial, que definiu pela instalação de unidades em uma região em fase de desenvolvimento.

Segundo informações do máster franqueado, a operação regional teve início em 1990, quando a região de Itapetininga foi escolhida para sediar uma nova unidade do Grupo Boticário, cujos dados macroeconômicos apontaram a cidade com maior potencial de desenvolvimento da região, tornando o município como o centro administrativo e logístico da cadeia regional. De acordo com os dados coletados em entrevista junto ao empresário, o início das atividades operacionais ocorreu em 1991, época marcada por desafios econômicos decorrentes do Plano Collor, apesar do cenário desfavorável, o planejamento correto permitiu que a alavancagem da operação (Rigato, 2026).

Para o Grupo Boticário, a expansão através do sistema de franquias é essencial, uma vez que permite garantir para todas as unidades, independentemente da localização, padrão de atendimento, identidade visual, a variedade de produtos e a eficiência da logística de distribuição. Segundo o Relatório Institucional do Grupo (Boticário, 2024), esse modelo amplia o alcance de mercado e fortalece a marca em núcleos urbanos menores.

Em Itapetininga (SP), a rede é gerenciada por um Máster Franqueado, que supervisiona as unidades da região, assegura o fornecimento dos produtos para cada loja, monitora a identidade visual, o padrão de atendimento e os resultados comerciais e certifica-se de que os processos de distribuição e vendas sigam as normas e orientações da marca (Boticário, 2024).

Para Fleury e Wanke (2009), o sucesso das unidades está relacionado à integração entre gestão, logística e comunicação, o que garante operações mais consistentes e ágeis, tendo a logística regional de distribuição do Boticário papel crucial, para assegurar que os produtos cheguem às franquias da região dentro do prazo e em perfeitas condições devido a aplicação da tecnologia da informação e sistemas de gestão, que otimizaram o controle e os processos de entrega.

O Máster Franqueado ainda proporciona suporte administrativo e operacional, treinamento das equipes, marketing regional e acompanhamento de metas de vendas.

Essa gestão local permite que as lojas mantenham alguma autonomia comercial, ao mesmo tempo em que seguem os padrões da marca. Dessa forma, O Boticário combina uma estratégia centralizada com uma execução regional eficiente, destacando-se como uma das redes de franquias mais sólidas do país (Mundo Logística, 2025).

4.1.2 Unidades da Máster Franquia de Itapetininga SP

A Master Franquia de Itapetininga (SP), é administrada pelo Grupo Korinthos sob a supervisão do empresário João Marcos Rigato, e representa um elemento estratégico para o desenvolvimento do Grupo Boticário na região sudoeste do estado de São Paulo. Informações obtidas em uma entrevista realizada em 2026 com o próprio empresário João Rigato, aponta que a trajetória do grupo no sistema de franquias teve início em 1983, consolidando, ao longo de décadas, uma gestão que fomenta o desenvolvimento da marca e a economia local através da geração de empregos e investimentos em suporte comercial (Rigato, 2026).

Para o Sebrae (2025), a presença de unidades franqueadas em centros urbanos regionais, como Itapetininga (SP), é essencial para o incremento da abrangência da marca, viabilizando que a cultura organizacional e o padrão de excelência do franqueador sejam replicados com eficiência em mercados regionais.

Segundo Rigato (2026), a definição por Itapetininga (SP) como sede da operação regional ocorreu em 1990, período em que um levantamento de dados macroeconômicos junto ao IBGE e à prefeitura municipal apontava a cidade como a maior da região e com o maior potencial de desenvolvimento. Atualmente, o grupo atua como franqueado do Boticário em grande parte da região Sudoeste Paulista, através de lojas físicas em sete das maiores cidades (Itapetininga, Itapeva, Capão Bonito, Itararé, Tatuí, Boituva e Porto Feliz) e três Distribuidoras de produtos para venda direta (porta a porta) localizadas em Itapetininga, Itapeva e Capão Bonito, abrangendo também os municípios de Angatuba, Apiaí, Buri, Itaberá, Laranjal Paulista, Tietê, Cerquilho, Guareí, Pilar do Sul, São Miguel Arcanjo, Sarapuí, Cesário Lange, Quadra, Alambari, Campina do Monte Alegre, Ribeirão Branco, Guapiara e Iporanga (Rigato, 2026).

Especificamente em Itapetininga (SP), o grupo Korinthos possui três unidades estrategicamente localizadas em pontos comerciais para abranger diferentes perfis de consumo, conforme detalhado na figura 1 abaixo:

Figura 1 – Unidades em Itapetininga (SP)

Unidade	Localização	Diferencial de Atendimento
Loja Centro	Rua Dr. Campos Salles (Principal corredor comercial da cidade)	Foco no fluxo de pedestres e conveniência imediata.
Loja Itape Shopping	Ambiente de lazer e compras climatizado	Horário estendido e integração com o mix de serviços do shopping.
Loja Cofesa Max	Cofesa Max, na galeria de lojas no piso inferior	Atendimento ao público em geral.
Espaço Revendedor (ER)	Rua Oliveira Brito (Região central)	Unidade exclusiva para suporte, treinamento e pronta-entrega para revendedores diretos.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026)

O Espaço do Revendedor (ER) destaca-se, atuando como um centro logístico e de capacitação para a venda direta. Segundo o Grupo Boticário (2025), essa modalidade é vital para fortalecer o ecossistema de empreendedorismo, fornece aos revendedores um ponto de apoio para treinamento, experimentação de produtos e retirada de pedidos, agilizando o ciclo de vendas na região. Além das unidades físicas, a Máster Franquia de Itapetininga (SP) integra-se à estratégia de *omnichannel,* um sistema que consiste na integração de todos os canais de venda e comunicação da marca, de forma *online* e *offline*, permitindo que o cliente transite entre o ambiente digital e o físico com agilidade, sendo as lojas físicas importante ponto de fidelização e experiência (CNDL, 2026).

O grupo Korinthos gerência o abastecimento e a gestão logística de forma centralizada, por meio de sistemas tecnológicos e inteligência artificial para planejar pedidos, controlar estoques e otimizar operações (Rigato, 2026). O Boticário atende o grupo a partir do CD de Varginha (MG), com pedidos semanais e entregas programadas (Rigato, 2026).

A gestão da cadeia de suprimentos envolve uma estrutura operacional adequada e controle rigoroso do tempo de reposição (*lead time*), garantindo eficácia no fluxo entre fabricante e lojas. A reposição segue o modelo *just-in-time*, baseada no histórico de vendas e previsões, planejadas em ciclos comerciais ao longo do ano e orientada pela classificação de produtos o giro do estoque (Rigato, 2026).

Além disso, o grupo realiza inventários mensais de estoque com apoio de tecnologia, permitindo ajustes rápidos entre as unidades por meio de remanejamento

de produtos, assegurando melhor distribuição e disponibilidade nos pontos de venda (Rigato, 2026).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo foi analisado especificamente, o sistema logístico de distribuição do Grupo Boticário para as unidades franqueadas da região de Itapetininga (SP), com ênfase nos processos de reabastecimento, prazos de entrega, sua eficiência operacional e os impactos na satisfação dos clientes. A partir desse direcionamento, buscou-se analisar de que maneira a estrutura logística adotada pela empresa contribui para a otimização do modelo de *franchising* e suas particularidades a fim de garantir a competitividade das unidades franqueadas no mercado.

Ao longo da execução do estudo, vale ressaltar que a logística de distribuição ocupa uma posição estratégica dentro das organizações, especialmente em redes de franquias, uma vez que a agilidade nos processos, padronização, disponibilidade de produtos e o padrão de atendimento aos clientes são determinantes para o sucesso do negócio. Segundo Christopher (2016), a eficiência logística está diretamente associada à capacidade da empresa de integrar processos, reduzir despesas operacionais e elevar o nível de serviço. Nesse contexto, pode-se observar que o Grupo Boticário possui uma estrutura logística estruturada e consolidada, tendo como base a integração entre Centros de Distribuição, tecnologia de ponta e uma eficiente gestão dos fluxos de transporte, armazenagem e controle de estoques.

A partir levantamento teórico, foi possível compreender que as atividades da logística são responsáveis por agregar valor ao produto e garantir que ele esteja disponível no momento, local e condições adequadas para o consumidor, como apontado por Ballou (2006), ou seja, a distribuição física, gestão de estoques, roteirização e o uso da tecnologia são básicos para a compreensão do funcionamento de uma cadeia logística, evidenciando a importância da integração entre os diversos elementos da cadeia, alinhados à relevância da tecnologia e automação como afirmam Fleury e Wanke (2009) e Moura (2018).

No que se refere aos resultados alcançados, após uma entrevista com o empresário João Marcos Rigato, presidente do Grupo Korinthos, Máster Franqueado responsável pelas unidades do Boticário na região de Itapetininga (SP), constatou-se que o Centro de Distribuição de Varginha (MG) desempenha um papel crucial no

abastecimento das unidades franqueadas atuando como um fator estratégico para a redução do tempo de entrega (*lead time*) e garantia do reabastecimento contínuo dos produtos, cujos sistemas automatizados, ferramentas de gestão integrada e tecnologias de roteirização contribuem para maximizar a eficiência das operações, diminuindo falhas, otimizando recursos e aumentando a precisão no atendimento dos pedidos, e consequentemente a satisfação dos clientes (Logweb, 2024).

Vale salientar que é significativa a atuação do Máster Franqueado na região para o alinhamento entre as diretrizes estratégicas do franqueador e a realização das atividades regionais. Essa arquitetura permite maior controle sobre os processos, suporte às unidades franqueadas e adaptação às especificidades do mercado regional, fortalecendo a padronização e a qualidade dos serviços prestados (Grupo Boticário, 2024).

Outro importante fator observado envolve a relação direta entre a eficiência logística e a satisfação dos clientes, uma vez que, a agilidade na entrega, a disponibilidade de produtos e a confiabilidade no abastecimento impactam diretamente a experiência do consumidor final, contribuindo para a retenção dos clientes e fortalecimento da marca, portanto, a logística de distribuição é muito maior do que um simples suporte operacional, mas um diferencial competitivo para as empresas buscam a expansão de suas atividades através do sistema de *franchising*.

Diante disso, consideramos que os objetivos previamente traçados foram plenamente alcançados, por meio da análise dos principais aspectos operacionais do sistema logístico de distribuição do Grupo Boticário, bem como sua influência no desempenho das unidades franqueadas da região de Itapetininga (SP). A pesquisa evidenciou que é fundamental a integração entre infraestrutura logística, gestão estratégica e tecnologia, para garantir a eficiência e a competitividade no mercado.

Por fim, como possível contribuição para futuros estudos, sugerimos o desenvolvimento de uma análise quantitativa, com a utilização de indicadores de desempenho logístico, como tempo de entrega, nível de serviço e custos operacionais, permitindo um maior entendimento dos impactos da logística nos resultados das unidades franqueadas, bem como, investigar a aplicação de novas tecnologias, como inteligência artificial e automação avançada, no aprimoramento dos processos logísticos, ampliando as possibilidades de inovação no setor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABF ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FRANCHISING. **Números do Franchising:** Desempenho do Franchising Brasileiro. São Paulo: ABF, 2025. Disponível em: https://abf.com.br/numeros-do-franchising/. Acesso em: 27 mar. 2026.

BALLOU, R. H. **Logística empresarial:** transportes, administração de materiais e distribuição física. 5. ed. Rio de Janeiro: Pearson Education do Brasil, 2006.

BOTICÁRIO. **Relatório ESG 2024**. Paraná: Grupo Boticário, 2024. Disponível em: https://www.grupoboticario.com.br/wp-content/uploads/2025/05/Relatorio ESG2024_GrupoBoticario_vers%C3%A3ofinal.pdf. Acesso em: 16 mar. 2026.

BRASIL **Nova Lei de Franquias Lei n° 13.966/2019** Disponível em:< https://www. planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/lei/l13966.htm> Acesso em: 19 mar. 2026.

CHERTO, M. et al. **Franchising**: uma estratégia para a expansão dos negócios. São Paulo: Premier Máxima, 2006.

CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos**. 5. ed. São Paulo: Pearson, 2016.

CNDL. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE DIRIGENTES LOJISTAS. **Varejo em 2026:** tecnologia, experiência e propósito como pilares de crescimento. 2026. Disponível em: https://cndl.org.br/varejosa/varejo-em-2026-tecnologia-experiencia-e-proposito-como-pilares-de-crescimento/. Acesso em: 30 mar. 2026.

DHL SUPPLY CHAIN. **Beleza sustentável:** DHL Supply Chain eletrifica entregas para as lojas do Grupo Boticário na cidade de São Paulo. Comunicado à imprensa: São Paulo, 2021. Disponível em: https://www.dhl.com/br-pt/home/imprensa/ arquivo-de-imprensa/2021/beleza-sustentavel-dhl-supply-chain-eletrifica-entregas-para-as-lojas-do-grupo-boticario-na-cidade-de-sao-paulo.html. Acesso em: 16 mar. 2026.

ENDEAVOR BRASIL. **ICE - Índice de Cidades Empreendedoras** Brasil 2023. São Paulo: Endeavor Brasil, 2023. Disponível em: https://ice.enap.gov.br/. Acesso em: 17 mar. 2026.

FLEURY, P. F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K. **Logística empresarial:** a perspectiva brasileira. São Paulo: Atlas, 2009.

FREITAS, W. R. S.; JABBOUR, C. J. C. **Utilizando estudo de caso(s) como estratégia de pesquisa qualitativa: boas práticas e sugestões**. Estudo & Debate, Lajeado, v. 18, n. 2, p. 56–78, 2011. Disponível em: https://www.univates.br/ revistas/index.php/estudoedebate/article/view/560. Acesso em: 11 mar. 2026.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2018

GRUPO BOTICÁRIO. **Sobre o Grupo Boticário**: Nossa História e Infraestrutura. [S. l.]: Grupo Boticário, 2019. Disponível em: https://www.grupoboticario.com.br/sobre-o-grupo-boticario/. Acesso em: 19 mar. 2026.

GRUPO BOTICÁRIO. **GB investe na expansão do centro de distribuição de Varginha.** 2022. Disponível em: https://www.grupoboticario.com.br/midia/grupo-boticario-investe-na-expansao-do-centro-de-distribuicao-de-varginha/. Acesso em: 30 mar. 2026.

GRUPO BOTICÁRIO. **Polo da Beleza de MG amplia as operações do Grupo Boticário.** 2022a. Disponível em: https://www.grupoboticario.com.br/midia/grupo-boticario-investe-na-expansao-do-centro-de-distribuicao-de-varginha/. Acesso em: 30 mar. 2026.

GRUPO BOTICÁRIO. **Relatório de Sustentabilidade 2024**. Curitiba: Grupo Boticário, 2024. Disponível em: https://www.grupoboticario.com.br/sustentabilidade. Acesso em: 27 out. 2025.

GRUPO BOTICÁRIO. **Relatório ESG 2024.** 2025. Disponível em: https://www.grupoboticario.com.br/relatorios-de-impacto/. Acesso em: 30 mar. 2026.

GUIA FRANQUIAS. Guia de Franquias 2025/2026. São Paulo: **Revista Pequenas Empresas & Grandes Negócios (PEGN)**, 2025. Disponível em: < https://www.assineglobo.com.br/hotsite/pegn-guia-de-franquias25-26/?site_par=1&origem_par=1&formato_par=franquias_2526SEARCH> Acesso em: 17 mar. 2026.

INTERMODAL DIGITAL. **Relatórios e conteúdos sobre hubs logísticos e multimodalidade.** 2025. Disponível em: https://www.intermodaldigital.com. Acesso em: 19 mar. 2026.

MARTINS, R. S. **Perfil Acadêmico e Publicações.** [S. l.]: Google Scholar, 2020. Disponível em: https://scholar.google.com/citations?user=JwYNKigAAAAJ&hl=pt-BR. Acesso em: 19 mar. 2026.

MARICATO, P. **Franquias-Bares, Restaurantes, Lanchonetes**. Senac, 2006.

MERCADO & CONSUMO. **Portal Mercado & Consumo - Notícias de Varejo**. [S. l.]: Mercado & Consumo, 2024. Disponível em: https://mercadoeconsumo.com.br/. Acesso em: 17 mar. 2026.

MOURA, R. O. B. **Automação em armazéns e produtividade logística.** São Paulo: Atlas, 2018.

MUNDO LOGÍSTICA. **Gigantes da Logística:** a operação do Grupo Boticário em números. 2025. Disponível em: https://mundologistica.com.br/ noticias/gigantes-da-logistica-operacao-boticario-numeros. Acesso em: 04 mar. 2026.

NOVAES, A. G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição**. 3. Ed., ver., atual. E ampl. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

PORTAL ERP. **Grupo Boticário implementa SAP Retail (Roteirização e TMS)**, 2024. Disponível em: https://portalerp.com/grupo-boticario-implementa-sap-retail. Acesso em: 19 mar. 2026.

PREFEITURA DE VARGINHA (MG). Prefeitura. **Grupo Boticário inaugura Centro de Distribuição em Varginha.** [MG]: Prefeitura de Varginha, 2019. Disponível em: https://www.varginha.mg.gov.br/portal/noticias/0/3/226/grupo-boticario-inaugura--centro-de-distribuicao-em-varginha. Acesso em: 17 mar. 2026.

PRESA, C. **Logística do Futuro 2024**: Destaques do 1º dia do evento. 2024. Disponível em: https://mundologistica.com.br/noticias/logistica-do-futuro-temas-1-dia-evento. Acesso em: 30 mar. 2026.

RIGATO, J. GRUPO KORINTHOS. **Sistema logístico de distribuição do Grupo Boticário para unidades franqueadas na região de Itapetininga.** [Entrevista cedida a] Camile Amancio Martins. [Itapetininga, SP.]: 2026. Entrevista concedida para fins de pesquisa acadêmica.

RODRIGUE, J. P. **Efficiency and Sustainability in Multimodal Supply Chains.** Paris: OECD Publishing/International Transport Forum, 2018. (Discussion Paper, Roundtable 171). Disponível em: https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/efficiency-sustaunability-multimodal-supply-chains.pdf. Acesso em 14 set. 2025.

SEBRAE. **Olhando para o futuro:** 5 pontos que merecem a atenção do empreendedor. São Paulo: Sebrae, 2025. Disponível em: https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/olhando-para-o-futuro-5-pontos-que-merecem-a-atencao-do-empreendedor,8cf20e506886b510VgnVCM1000004c00210aRCRD. Acesso em: 19 mar. 2026.

YIN, R. K. **Estudo de caso:** planejamento e métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

LUZ CÂMERA, FORMAÇÃO: PRÁTICAS DE PRODUÇÃO DE VÍDEOS EM LÍNGUA INGLESA COMO ESTRATÉGIA PEDAGÓGICA
LIGHTS, CAMERA, EDUCATION: VIDEO PRODUCTION PRACTICES IN ENGLISH AS PEDAGOGICAL TEACHING STRATEGY

Linda Catarina Gualda[1]

RESUMO: O artigo apresenta um relato de experiência sobre a produção de vídeos em língua inglesa como estratégia pedagógica no curso de Tecnologia em Comércio Exterior da Fatec Itapetininga, abrangendo o período de 2013 a 2024. A fundamentação teórica ancora-se na Pedagogia dos Multiletramentos e na Sociedade em Rede, discutindo a transição do discente de receptor passivo a *prosumidor* cultural. A metodologia, de natureza descritivo-analítica, baseia-se na observação participante e na sistematização da práxis educativa. Os resultados revelam expressiva diversidade de gêneros e temas, evidenciando o papel da multimodalidade como andaime pedagógico para a expressão oral. Somado a isso, a prática demonstrou elevado grau de engajamento, criatividade e refinamento técnico, fatores que favoreceram práticas inter/transdisciplinaridade ao conectar o aprendizado linguístico a áreas estratégicas como Marketing, Economia, Agroturismo e Relações Internacionais. Verificou-se que o uso do vídeo no ensino superior atuou como um catalisador da oralidade e do letramento crítico, reduzindo barreiras de inibição e valorizando o repertório cultural dos estudantes. Além disso, a orquestração de recursos semióticos — visuais, sonoros e espaciais — favoreceu a aprendizagem significativa e a construção da inteligência coletiva promovendo o protagonismo e a ética digital, em uma perspectiva que entende a educação como prática da liberdade e como possibilidade de superação da dicotomia entre trabalho intelectual e técnico. Conclui-se que a prática se apresenta como uma ferramenta emancipatória, relevante à formação humana integral em um paradigma sociotécnico marcado pela ubiquidade digital e pela necessidade de comunicação autêntica em ambientes globais.
Palavras-chave: Língua Estrangeira; Produção Audiovisual; Multiletramentos; Protagonismo Discente; Educação Holística.

ABSTRACT: This article presents an experiential report on English language video production as a pedagogical strategy within the International Trade Technology program at Fatec Itapetininga, covering the period from 2013 to 2024. The theoretical framework is anchored in Multiliteracies Pedagogy and the Network Society, discussing the student's transition from a passive receptor to a cultural *prosumer*. The methodology, descriptive-analytical in nature, is based on participant observation and the systematization of educational praxis. The results reveal a significant diversity of genres and themes, highlighting the role of multimodality as a pedagogical scaffolding for oral expression. Furthermore, the practice demonstrated a high degree of engagement, creativity, and technical refinement factors that favored inter/transdisciplinarity practices by connecting language learning to strategic areas such as Marketing, Economics, Agrotourism, and International Relations. It was found that the use of video in higher education acted as a catalyst for orality and critical literacy, reducing inhibition barriers and valuing students' cultural repertoire. Additionally, the orchestration of semiotic resources —visual, auditory, and spatial — fostered meaningful learning and the construction of collective intelligence, promoting student agency and digital ethics. This perspective views education as a practice of freedom, overcoming the dichotomy between intellectual and technical work. It is

Pós-Doutorado em Cinema, Doutorado em Literatura e Cinema e Mestrado em Literatura Comparada – Docente na Fatec Itapetininga – linda.gualda@cps.sp.gov.br[1]

concluded that this practice establishes itself as an emancipatory tool, relevant for integral human formation within a sociotechnical paradigm marked by digital ubiquity and the need for authentic communication in global environments.
Keywords: Foreign Language; Audiovisual Production;Multiliteracies; Student Agency; Holistic Education.

1 INTRODUÇÃO

O ensino de língua inglesa no ensino superior tem sido atravessado por demandas comunicativas que ultrapassam o domínio gramatical e exigem dos estudantes maior capacidade de expressão oral, autoria, colaboração e uso crítico de recursos digitais. Nesse contexto, práticas pedagógicas baseadas na produção audiovisual tornam-se relevantes por aproximarem o aprendizado linguístico das formas contemporâneas de comunicação, nas quais imagens, sons, gestos, textos e performances se articulam na construção de sentidos.

Por meio da diversidade de aparatos tecnológicos, as interações digitais consolidaram-se como um novo paradigma sociotécnico: um modelo de desenvolvimento onde inovações digitais moldam transversalmente os setores da sociedade. No campo educacional, tais avanços transformam o processo de ensino-aprendizagem em todos os níveis e, por isso, emergem debates essenciais sobre a formação acadêmica, currículos alinhados ao contexto globalizado, metodologias práticas e desenvolvimento de competências socioemocionais. Nesse cenário, torna-se imperativo que as instituições de ensino ofereçam aulas dinâmicas e contextualizadas, capazes de responder a uma sociedade em constante transformação. Diante da onipresença tecnológica, a escola deve orientar os alunos para um uso consciente e ético das ferramentas digitais, visando à competência comunicativa e à responsabilidade coletiva.

Os conteúdos audiovisuais estão intrínsecos ao cotidiano contemporâneo e, como elemento central da cultura audiovisual, o vídeo estabelece conexões profundas por meio de múltiplas aplicabilidades, que abrangem desde o *marketing* e a divulgação científica até o entretenimento e produções de cunho pessoal. Partindo dessa premissa e da necessidade de metodologias que dialoguem com a era midiática, este artigo apresenta um relato de experiência sobre a produção de vídeos em língua inglesa como estratégia para a formação multidimensional no ensino superior. A proposta, refinada por meio de reflexões e ajustes ao longo dos anos, concentra-se

na oralidade e busca favorecer o desenvolvimento de competências linguísticas e socioemocionais, valorizando os saberes prévios e a vivência dos estudantes.

Nesse sentido, a produção audiovisual alinha-se à *Pedagogia dos Multiletramentos*, que defende a necessidade de a escola incorporar as múltiplas linguagens e mídias presentes na vida contemporânea. Ao produzir vídeos, o estudante não mobiliza estruturas linguísticas, mas opera em um *design de sentidos* (Rojo, 2012), no qual a escolha de imagens, sons e enquadramentos compõe uma forma de letramento crítico. Essa prática rompe com a passividade e coloca o aluno na posição de produtor de cultura, aspecto essencial para uma formação que pretenda desenvolver todas as potencialidades humanas — físicas, mentais e criativas — de forma integrada (Frigotto, 2012).

2 METODOLOGIA

Este estudo configura-se como um relato de experiência de natureza descritivo-analítica, fundamentado na observação participante e na análise retrospectiva das atividades realizadas. No campo educacional, tal abordagem permite examinar práticas pedagógicas e projetos, viabilizando uma reflexão crítica sobre processos e resultados. Conforme Holliday (2006), o relato de experiência não se limita à cronologia de eventos, mas estabelece uma sistematização que visa interpretar as lições de uma intervenção real. Complementando essa visão, Dantas e Lopes (2014) ressaltam que sistematizar vivências permite observar a emergência de competências técnicas e socioemocionais em contextos de aprendizagem. Para os autores, essa modalidade textual serve como ferramenta reflexiva sobre a práxis, transformando a experiência individual em conhecimento coletivo e base para futuras práticas educacionais.

Nessa linha de pensamento, Mussi, Flores e Almeida (2021) enfatizam que o relato de experiência transcende a narrativa ao alicerçar-se em embasamento científico e análise crítica para contribuir com o conhecimento em um campo de atuação. Assim, este trabalho busca compartilhar os aprendizados construídos na produção de vídeos pelos alunos, oferecendo subsídios para ações semelhantes. Ao expor uma prática educativa, busca-se incentivar outros educadores e refletir criticamente sobre o processo vivenciado, apontando tanto os desafios quanto as

conquistas. Para tanto, o próximo tópico detalha o cenário institucional, o recorte temporal, o perfil dos participantes e o percurso metodológico adotado na atividade.

2.1 A proposta da atividade: a produção audiovisual como estratégia no ensino de inglês

A proposta, realizada com as turmas de primeiros e segundos ciclos dos períodos matutino e noturno do Curso Superior de Tecnologia em Comércio Exterior da Fatec Itapetininga, consistiu em elaborar um vídeo inteiramente em inglês sem limite máximo de tempo, podendo ser realizada individualmente ou em grupos de até quatro alunos. Para os ciclos iniciais (primeiros e segundos), estabeleceu-se temática livre com tempo mínimo de fala de 45 segundos por discente. Nos ciclos subsequentes (terceiros e quartos), o vídeo deveria abordar temas correlatos ao curso, com duração mínima de dois minutos por participante. Aos alunos, enfatizou-se que, embora o foco central fosse a produção oral (*speaking*), a atividade mobilizava as demais habilidades linguísticas — como a produção escrita (*writing),* o uso gramatical*,* a escuta *(listening*) e a leitura em voz alta (*reading aloud*). Adicionalmente, a proposta pretendia fomentar competências socioemocionais, tais como: o trabalho em equipe, empatia, flexibilidade, criatividade, autogestão, resolução de conflitos, resiliência, entre outras.

Por meio de uma proposta alinhada à vivência tecnológica e condizente com a realidade digital dos estudantes (*user experience*), a atividade buscou impulsionar a aquisição e a consolidação do idioma de forma dinâmica, fortalecendo a colaboração entre os pares e a aprendizagem significativa por meio da construção coletiva do conhecimento. Sob essa ótica, a elaboração de vídeos evidenciou que o emprego do audiovisual no ensino superior atua como um facilitador da expressão oral, transcendendo o treino de compreensão auditiva (*listening*). Nesse sentido, para além das competências gramaticais, essa prática constituiu uma ferramenta facilitadora da mediação da oralidade e, aliada ao suporte tecnológico, pode viabilizar uma formação humana e profissional mais ampla, essencial no nível superior. Como organizadora de situações de aprendizagem, a proposta deixa de ser mera atividade oral e transforma-se em produto cultural capaz de integrar as dimensões do trabalho, da ciência e da cultura. Dessa forma, a produção audiovisual torna-se o elo entre o rigor linguístico e o desenvolvimento humano integral, desafiando o estudante a mobilizar competências socioemocionais e técnicas de forma indissociável.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 O PARADIGMA DIGITAL E O ENSINO DE LÍNGUAS NA CONTEMPORANEIDADE

Não é novidade que o cenário contemporâneo é marcado por um novo paradigma sociotécnico, em que as tecnologias digitais deixaram de ser meros instrumentos para se tornarem o próprio ecossistema em que a comunicação ocorre. Diante dessa realidade, a transição metodológica nas instituições de ensino passa a ser sustentada pela necessidade de uma aprendizagem significativa que dialogue com a cultura cibernética e favoreça novas formas de inteligência coletiva e aprendizagem cooperativa (Lévy, 1999). Segundo Castells (2011), vivemos em uma sociedade em rede, na qual a estrutura social é moldada por tecnologias de informação que redefinem as relações de trabalho, cultura e educação. Nesse contexto, o ensino de língua inglesa no ensino superior não pode mais se restringir à transmissão de códigos gramaticais isolados, mas integrar a fluidez das interações digitais, reconhecendo que aprender um idioma hoje implica dominar as ferramentas que viabilizam sua circulação global.

Tendo isso em mente, a integração da produção de vídeos nas aulas de inglês surge como uma resposta a esse paradigma, alinhando-se à perspectiva dos *Multiletramentos*. Conforme Rojo (2012), a educação na era digital exige que o aluno desenvolva a capacidade de produzir sentidos por meio de múltiplas linguagens (visual, sonora, espacial e textual). Ao roteirizar e editar um vídeo, o estudante deixa de ser um consumidor passivo de conteúdo estrangeiro para se tornar um *prosumidor*[1] — aquele que produz e consome simultaneamente —, que utiliza o idioma de forma

[1] O termo prosumidor (do inglês *prosumer*) foi cunhado pelo escritor americano Alvin Toffler a partir da fusão de duas outras: produtor (*producer*) e consumidor (*consumer*). Embora o termo tenha surgido em 1980, focado na customização de bens materiais, ele ganhou uma força gigantesca com o advento da Web 2.0 (redes sociais, *YouTube, blogs*). Hoje, na educação e na comunicação, o termo é usado para descrever o indivíduo que não apenas recebe informação, mas também a gera, edita e compartilha. No contexto deste estudo, exatamente como os alunos fazem ao produzir vídeos em inglês em vez de apenas assistir a lições prontas.

autêntica para expressar sua identidade em uma plataforma multimídia. Embora Toffler tenha criado o termo na década de 1980 sob uma ótica predominantemente econômica e industrial, sua aplicabilidade no campo educacional contemporâneo revela-se pertinente. No contexto do ensino de línguas, essa transição marca um deslocamento da posição do aluno como mero receptor de conteúdos de manuais didáticos para a de produtor ativo de sentidos.

Como observa Santaella (2013), a comunicação ubíqua e a digitalização da cultura permitiram que o usuário comum se tornasse um emissor em potencial, transformando a sala de aula em um espaço de produção ativa e não apenas de consumo de informação. Essa perspectiva é corroborada por Rojo (2012), que transpõe a ideia de *prosumidor* para a *Pedagogia dos Multiletramentos*. Para a autora, o estudante do século XXI atua como *curador* e *designer* de sentidos, utilizando as ferramentas digitais para remixar, editar e publicar conteúdos que refletem sua visão de mundo. No contexto em questão, ao produzir vídeos nas aulas de língua inglesa, o acadêmico assume esse papel: ele consome o insumo linguístico (*input*), mas o devolve à sociedade transformando em um produto cultural autoral (*output*). Ao unir o esforço intelectual da elaboração do roteiro ao domínio técnico da edição de vídeo, o aluno rompe com a fragmentação do saber, uma vez que o idioma deixa de ser um objeto de estudo distante para se tornar a matéria-prima de sua própria criação audiovisual. Nesse cenário, a língua inglesa deixa de ser um conteúdo estático e passa a ser ferramenta de mediação para que o aluno participe ativamente das trocas simbólicas da contemporaneidade, promovendo uma inserção social mais crítica e consciente, além de funcionar como o elo que lhe permite transitar com autonomia entre fronteiras culturais e geográficas.

No que se refere à responsabilidade ética e ao senso crítico, Santaella (2013) aponta que a rede não é apenas um depósito de dados, mas um espaço de ação e discernimento. Nesse sentido, na era da hiperconectividade, o aprendizado se dá por meio da navegação e da criação em redes, exigindo que o sujeito desenvolva a capacidade de filtrar e selecionar informações em meio ao excesso informacional. No contexto da produção audiovisual, essa premissa se materializa quando o aluno é desafiado a exercer uma curadoria crítica de fontes e conteúdos para o seu roteiro, transformando o ato de pesquisar em um exercício de discernimento ético sobre o que merece ser compartilhado. Ao considerar o "outro" – pois suas produções serão vistas e analisadas por uma audiência –, o discente é confrontado com a necessidade de

selecionar fontes, respeitar direitos autorais e estruturar uma mensagem que seja coerente e respeitosa. Essa prática mitiga a passividade do aluno como mero consumidor de mídia, posicionando-o como um produtor crítico de cultura. Por conseguinte, a disciplina de língua inglesa deixa de ser um fim em si mesma para se tornar um meio pelo qual o estudante exerce sua voz e sua agência em um mundo hiperconectado. Essa formação intelectual e sensível prepara o futuro profissional não apenas para o mercado de trabalho competitivo, mas para uma atuação cidadã em ambientes globais, nos quais a competência comunicativa em língua inglesa é indissociável do domínio tecnológico e do respeito à diversidade de vozes.

Para Frigotto (2012), essa formação humana integral pressupõe a superação da dicotomia entre o trabalho intelectual e o fazer técnico. No desenvolvimento de um projeto de vídeo, o discente mobiliza competências cognitivas de alto nível, como a síntese e a análise crítica, ao mesmo tempo em que domina a técnica digital. Dessa maneira, o paradigma digital no ensino de línguas deixa de ser apenas um desafio tecnológico para se tornar uma oportunidade de formação crítica e emancipatória, em que o domínio do inglês e o letramento digital se fundem em prol do protagonismo estudantil. Além disso, o reconhecimento do aluno como autor de seu discurso encontra eco na concepção de educação como prática da liberdade. Conforme Freire (1987), a educação autêntica não é aquela que "deposita" conteúdos, mas a que promove a conscientização e a capacidade de o sujeito dizer a sua própria palavra. No ensino de língua inglesa, isso significa que o idioma deixa de ser um objeto estranho e técnico para se tornar um instrumento de agência. A criação do vídeo, portanto, funciona como uma práxis pedagógica: a união entre a reflexão teórica sobre a língua e a ação prática de comunicar uma identidade ao mundo, superando a dicotomia entre o saber acadêmico e a vida social.

3.2 A PRODUÇÃO VISUAL COMO ESTRATÉGIA DE MULTILETRAMENTOS

A inserção da produção audiovisual no ensino de língua inglesa fundamenta-se na *Pedagogia dos Multiletramentos*, que reconhece a necessidade de a escola contemplar a multiplicidade de linguagens e culturas da sociedade contemporânea. Para Rojo (2012), o conceito de multiletramentos aponta para duas dimensões: a diversidade cultural e a multimodalidade dos textos atuais. A primeira reconhece que o ambiente escolar não é mais um espaço de cultura única e homogênea. No ensino

de língua inglesa, por exemplo, isso significa que o idioma não deve ser apresentado apenas sob a ótica de falantes nativos de países hegemônicos, mas como uma *língua franca* que abriga uma pluralidade de sotaques, identidades e saberes locais. Já a segunda dimensão refere-se à natureza dos textos contemporâneos, que raramente se limitam ao código escrito, sendo compostos pela convergência de diferentes modos de significação: visual (estático ou em movimento), sonoro (música e ruídos), gestual e espacial. A produção audiovisual é o exemplo máximo dessa hibridização semiótica.

A articulação dessas duas dimensões propicia uma aprendizagem que ultrapassa a mera alfabetização funcional; enquanto a multimodalidade fornece as ferramentas técnicas e semióticas para a criação, a diversidade cultural fornece o conteúdo ético e identitário para que essa criação tenha propósito. Rojo (2012) salienta que educar para os multiletramentos é capacitar o sujeito a ser um usuário crítico e criativo das mídias, apto a transitar por textos cada vez mais complexos e a conviver com a diferença. No ensino superior, essa abordagem pode favorecer a formação de profissionais que não apenas falam inglês, mas que sabem comunicar ideias complexas de forma ética e multimodal na cultura digital. Com isso, a estratégia de multiletramentos por meio do vídeo pode promover a equidade e a valorização da identidade do estudante, haja vista que, ao produzir vídeos, o aluno traz sua própria bagagem cultural para o centro do currículo, transformando a sala de aula em um espaço de negociação transcultural. Essa dimensão ética favorece que o aprendizado do inglês seja um exercício de alteridade e de afirmação da própria voz do aluno no mundo.

Outro ponto importante sobre multiletramentos é a integração de diferentes estilos de aprendizagem e perfis cognitivos. Ao propor a criação de vídeos, o educador oferece um ambiente de aprendizagem favorável a essa diversidade, pois permite que alunos com diferentes inclinações encontrem seu espaço de contribuição: o estudante com facilidade visual pode concentrar-se na estética e na edição; aquele com sensibilidade sonora na trilha e na dicção; e aquele com habilidade interpessoal na liderança e na roteirização. Enquanto o ensino tradicional pautado na gramática normativa tende a privilegiar alunos com facilidade lógico-verbal, a criação de vídeos pode ampliar o acesso ao conhecimento ao permitir que o discente mobilize suas habilidades para mediar o aprendizado da língua inglesa. Nesse processo, a barreira da inibição linguística é superada pela motivação de manipular ferramentas tecnológicas e estéticas que dialogam com a subjetividade de cada estudante.

Essa perspectiva inclusiva é viabilizada pela necessidade de articular diferentes modos de significação, exigindo do aluno uma organização semiótica complexa. Ao combinar os eixos visual, por meio de imagens, enquadramentos e gestos, sonoro, abrangendo desde a entonação da fala até a trilha sonora e efeitos de áudio, e espacial, organização de elementos cênicos, o estudante constrói sentidos produzidos pela interação entre diferentes recursos semióticos. Segundo Kress e Van Leeuwen (2006), o sentido não é construído apenas por palavras, mas pela *orquestração* de diversos recursos semióticos que convergem em uma única unidade comunicativa. Destarte, a multimodalidade funciona como *andaime* (*scaffolding*) pedagógico[2], em que os diferentes modos de representação – visual, sonoro e gestual – auxiliam na consolidação e na expressão do conhecimento linguístico de forma mais orgânica e menos excludente. Portanto, ao adotar os multiletramentos, a sala de aula se transforma em um ecossistema de aprendizagem mais diversificado, pois deixa de se organizar a partir de uma tarefa homogênea para todos os estudantes e passa a ser um projeto de *design* em que cada estudante aplica suas competências específicas para atingir um objetivo comum. O resultado é um processo de ensino-aprendizagem mais equitativo, que reconhece que a proficiência em uma língua estrangeira se manifesta de formas variadas, dependendo das ferramentas e linguagens que o sujeito tem à sua disposição para se expressar.

Nesse contexto, a produção audiovisual deixa de ser um suporte meramente ilustrativo para tornar-se uma estratégia de produção de sentidos articulada a diferentes linguagens integradas. Na aula de língua inglesa, isso significa que o domínio gramatical é integrado à semiótica visual. O aluno não apenas fala inglês; ele projeta uma mensagem em que o enquadramento, o ritmo da edição e a escolha estética colaboram para a eficácia comunicativa, exigindo processos cognitivos mais complexos do que a repetição mecânica de frases. Dessa forma, a atividade deixa de ser um exercício isolado de fala (*speaking*) para se tornar um projeto de *design* multimodal que não se limita à proficiência linguística, mas que capacita o sujeito a

[2] O conceito de andaime (ou *scaffolding*) na educação foi introduzido pelos psicólogos Jerome Bruner, David Wood e Gail Ross em um artigo clássico de 1976, intitulado *The Role of Tutoring in Problem Solving* (*O papel da tutoria na resolução de problemas*). Os autores usaram a metáfora da construção civil para explicar que, assim como um prédio precisa de suportes temporários para subir, o estudante precisa de suportes temporários do professor (ou de ferramentas) para alcançar níveis mais altos de compreensão. Em texto posterior, Bruner desenvolve a ideia de que o *scaffolding* é temporário: à medida que o aluno ganha domínio e consegue ir construindo o conhecimento de forma autônoma, a ajuda externa (“o andaime”) deve ser removida gradualmente (Bruner, 1999).

navegar com autonomia, criticidade e criatividade em um mundo em que a imagem e a tecnologia constituem eixos relevantes de interação.

Ademais, ao permitir que o aluno traga seu repertório cultural e estético para dentro do projeto acadêmico, o ensino superior reconhece a pluralidade de saberes e valoriza o estudante como protagonista de seu próprio discurso. Essa integração reforça a premissa de que a aprendizagem significativa ocorre quando o sujeito pode expressar sua identidade por meio de múltiplos canais, transformando recursos disponíveis em novos significados (Kalantzis e Cope, 2020). Ao final, o vídeo resultante não é apenas um registro de proficiência, mas um artefato cultural que reflete a síntese entre o domínio do idioma e as habilidades criativas individuais, consolidando uma prática pedagógica que respeita e valoriza a pluralidade de modos de aprendizagem. Além disso, a produção audiovisual fomenta o letramento crítico, permitindo que o aprendiz analise e reconstrua os discursos midiáticos aos quais é exposto diariamente. Ao atuar como *prosumidor*, o discente compreende as engrenagens da construção da informação, desenvolvendo um olhar analítico sobre a veracidade e a intenção das mensagens digitais. Essa prática transforma a sala de aula em um espaço de exercício de cidadania digital, em que a língua inglesa serve de ponte para a expressão de uma voz autoral e consciente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados concentra-se nas produções audiovisuais desenvolvidas pelos estudantes ao longo da experiência pedagógica, considerando sua relação com o ensino de língua inglesa, o protagonismo discente, a criatividade e o uso de tecnologias digitais em contexto formativo. Partindo da premissa de que o aluno da educação tecnológica passa a ocupar posição mais ativa no processo de aprendizagem, a produção audiovisual foi adotada para estimular a capacidade de (re)formular e (re)significar saberes por meio de tecnologias familiares ao seu cotidiano. O objetivo central dessa prática foi oportunizar uma aprendizagem significativa que transcendesse a teoria, integrando a interação e a criatividade em uma perspectiva autônoma, essencial para a construção de um sujeito crítico, emancipado e protagonista de sua trajetória.

A utilização da produção audiovisual como estratégia pedagógica foi implementada originalmente no segundo semestre de 2013, junto ao curso de

Tecnologia em Comércio Exterior, estendendo-se até 2024. Ao longo desse decênio, a prática passou por adaptações e refinamentos, concentrando-se principalmente nos ciclos iniciais. Tal escolha fundamenta-se na compreensão de que estudantes em estágios iniciais de aprendizagem demandam maior estímulo e engajamento lúdico para o desenvolvimento da competência linguística. No tocante aos resultados observados — exemplificados pelas capturas de tela das produções discentes apresentadas ao longo deste tópico —, é possível observar que:

1) houve variação significativa no tempo de duração das obras, as quais oscilaram entre registros de cinquenta segundos e vídeos mais extensos, de até treze minutos (Figuras 1, 2, 3 e 4);
2) a produção audiovisual caracterizou-se por uma ampla diversidade de gêneros, abrangendo registros de cunho pessoal (*self-introductions*), diálogos cotidianos, apresentações corporativas e institucionais, receitas, tutoriais, vídeos explicativos sobre localidades e leitura de textos curtos. Destacaram-se também exercícios de dublagem cinematográfica e a criação de filmes narrativos autorais, que transitaram por gêneros como o infantil, o terror e a comédia (Figuras 3, 4 e 5);
3) ocorreu ampla pluralidade temática nas produções desde abordagens lúdicas e cômicas (leituras poéticas e esquetes de humor) até narrativas de densidade existencial e ética. Os vídeos exploraram dilemas universais, como a busca pelo afeto, o valor da alteridade e da amizade, além das consequências da vingança e do conflito entre o bem e o mal (Figuras 1 e 7);
4) o empenho dos alunos refletiu-se em produções marcadas pela originalidade e criatividade, com destaque para a construção de paródias intertextuais e imitações de personalidades. Além disso, a exploração do gênero *stand-up comedy* permitiu que os aprendizes integrassem recursos de expressão corporal tornando a aprendizagem do inglês um processo lúdico e autoral (Figuras 3, 4 e 5);
5) houve elevado grau de engajamento e comprometimento, materializado em produções que transitaram do amadorismo a maior refinamento cinematográfico. Os projetos evidenciaram planejamento, abrangendo: composição de cenários e figurinos, apuro linguístico e seleção vocabular nos roteiros. Os estudantes demonstraram domínio de etapas complexas, como a

organização fílmica, o esmero na edição e o emprego de técnicas avançadas de fotografia, direção de arte e efeitos visuais (Figuras 1, 3, 6 e 7);

6) evidenciou-se o caráter interdisciplinar da atividade, pois as produções exigiram a síntese e a organização de conhecimentos de múltiplos campos. A elaboração dos vídeos estimulou a cooperação entre diferentes frentes do currículo, estabelecendo interface direta entre as esferas das Relações Internacionais, do Marketing e do Turismo aplicadas ao contexto de Comércio Exterior (Figura 2);
7) a atividade fomentou a transdisciplinaridade, permitindo que as produções dos segundos ciclos transcendessem as fronteiras disciplinares rígidas. Ao articularem diferentes saberes em um único objeto audiovisual, os estudantes construíram formas de conhecimento mais próximas da complexidade das situações reais (Figuras 2 e 7);
8) evidenciou-se o potencial de integração institucional da proposta, uma vez que o intercâmbio de saberes transcendeu o âmbito da turma original. A busca por auxílio técnico junto aos discentes do curso de Análise e Desenvolvimento de Sistemas para a edição final dos vídeos consolidou um ambiente de aprendizagem mútua, em que a tecnologia e a comunicação em língua estrangeira convergiram de maneira prática (Figuras 1, 3, 6 e 7);
9) o impacto da proposta estendeu-se para além do ambiente de ensino, consolidando-se como um vetor de produção de conhecimento. Esse engajamento materializou-se em pesquisas acadêmicas, Trabalhos de Graduação, apresentações em eventos científicos que analisaram a eficácia do vídeo como ferramenta pedagógica (Figuras 8 e 9).

As imagens a seguir evidenciam a heterogeneidade das produções: a Figura 1 apresenta o vídeo de um grupo de alunos do primeiro ciclo em 2013, enquanto a Figura 2 refere-se à produção individual de uma discente do segundo ciclo em 2023. Ambos os casos exemplificam a amplitude na duração dos vídeos, que variaram de aproximadamente um minuto e meio a mais de nove minutos. No entanto, ao longo da década de realização dessa atividade (2013-2024) — ressalvado o período de ensino remoto devido à pandemia de COVID-19 —, a oscilação temporal mostrou-se ainda mais expressiva, com registros que oscilaram entre quarenta e cinco segundos e treze minutos. Tal variação decorre de múltiplos fatores, incluindo: tipologia do vídeo,

intencionalidade dos proponentes, temática eleita, proficiência técnica (do idioma e de manipulação de *softwares* de edição) e o nível de engajamento com a proposta.

Figura 1: Exemplo de duração variada, pluralidade temática, comprometimento e integração institucional (vídeo narrativo do gênero comédia)



Da esquerda para direita: Valderez Teresa Cláudio Giriboni Monteiro e Monique Barsotti Ferreira em cena do filme *The old, the girl and the mule* (2013, 9'31'')
Fonte: Acervo do autor, a partir de vídeo produzido por discentes (2013)

Figura 2: Exemplo de vídeo de curta duração com abordagem inter/transdiciplinaridade (vídeo sobre empresa)



Captura de tela do vídeo sobre a companhia *Boehringer Ingelheim* (2023, 1'27'')
Fonte: Acervo do autor, a partir de vídeo produzido por discente (2023)

Além da variação na duração dos vídeos, notou-se ampla diversidade de *gêneros* e *temas*. Essa variedade é evidenciada nas Figuras 3 e 4, que exemplificam a aplicação de conteúdos temáticos em diferentes gêneros.

Figura 3: Exemplo de duração variada, diversidade de gêneros, comprometimento, originalidade e integração institucional (gênero infantil)



Da esquerda para direita: Alessandro Rodrigues, Shayane da Silva Bianchi e Valderez Teresa Cláudio Giriboni Monteiro em cena do filme *The Sleepy Beauty* (2014,13'25'')
Fonte: Acervo do autor, a partir de vídeo produzido por discentes (2014)

Figura 4: Exemplo de diversidade temática e de gêneros e criatividade



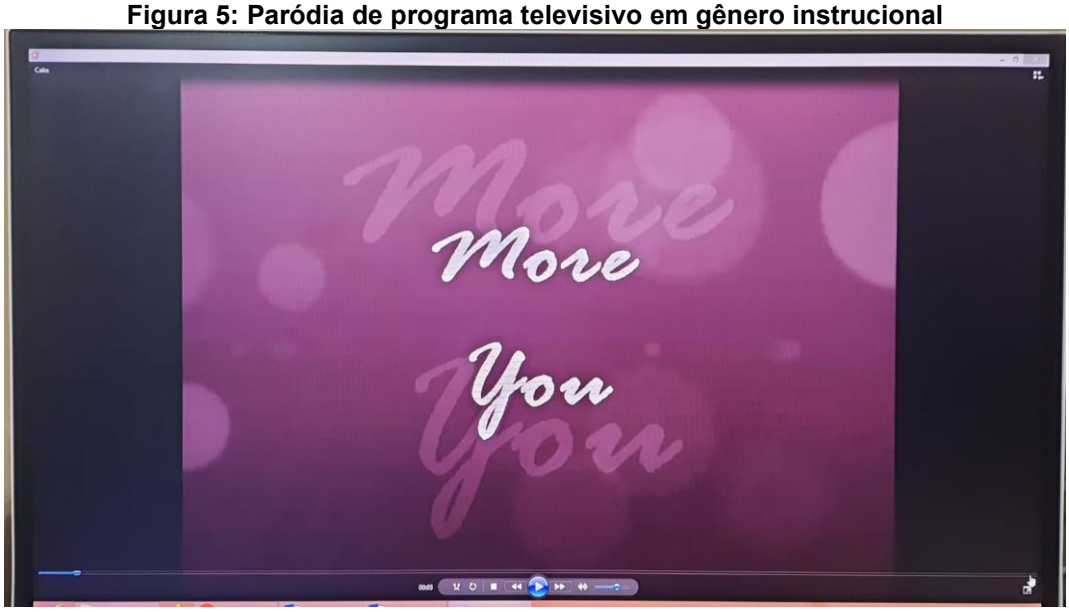
A aluna Tatiana Alves Munhoz Prestes em vídeo intitulado *Maid (*2017, 1'40'').
Fonte: Acervo do autor, a partir de vídeo produzido por discente (2017)

Cabe ressaltar a distinção entre *gênero* e *tema* visto que ambos operam em dimensões diferentes da comunicação e, sem essa clareza, corre-se o risco de reduzir a atividade a um simples "falar sobre algo", ignorando a complexidade da estrutura

social e técnica do vídeo. No contexto da produção audiovisual e do letramento multimodal, a distinção entre gênero e tema é fundamental para compreender como os sentidos são construídos e socializados. O gênero refere-se à arquitetura social e estrutural da comunicação; trata-se de formas padronizadas de enunciados que possuem propriedades relativamente estáveis de conteúdo, estilo e construção composicional (Bakhtin, 2016). Na produção de vídeos, o gênero define a "forma" e a expectativa de recepção — seja um documentário, um tutorial, uma paródia ou um depoimento pessoal. Segundo a Pedagogia dos Multiletramentos (Rojo, 2012), o gênero funciona como um mapa que orienta o produtor/*prosumidor*) sobre quais recursos semióticos são adequados para aquela situação comunicativa específica.

Por outro lado, o tema constitui o objeto de reflexão, o tópico ou o assunto atravessado pelo gênero. Enquanto o gênero é a moldura técnica e social, o tema é a substância semântica escolhida pelo autor para preencher essa moldura. Como aponta Santaella (2013), na era da comunicação ubíqua, o tema reflete a curadoria e a intencionalidade do aluno, permitindo que ele traga seu repertório cultural e ético para o centro da produção, independentemente da complexidade técnica do formato escolhido. A intersecção entre ambos ocorre no que Kress e Van Leeuwen (2006) denominam *design de sentidos*. A seleção de um gênero visual estabelece certas restrições e possibilidades temáticas. Por exemplo, um tutorial de culinária exige uma abordagem procedimental (Figura 5), ao passo que uma paródia de contos de fadas demanda uma tônica voltada ao humor (Figura 6). Da mesma forma, o gênero terror pressupõe temas ligados ao suspense ou ao medo (Figura 7).

Figura 5: Paródia de programa televisivo em gênero instrucional



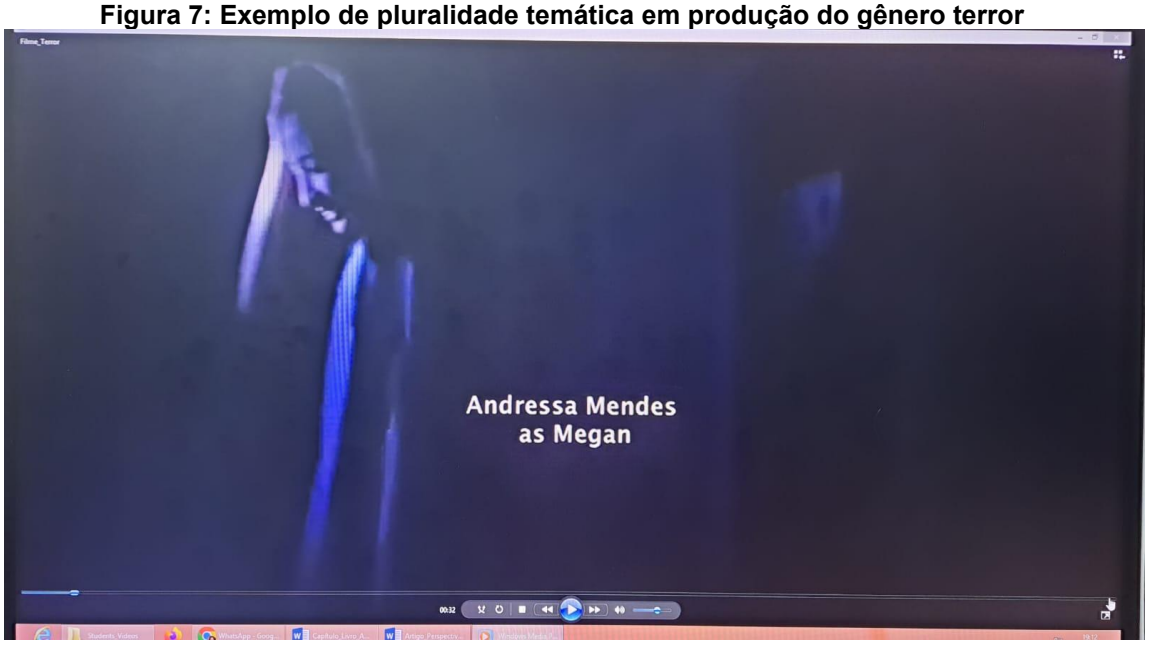
Captura de tela do vídeo *More You*, paródia do *Mais Você (*2019, 1'46'')
Fonte: Acervo do autor, a partir de vídeo produzido por discentes (2019)

Figura 6: Paródia de contos de fada



Valderez Teresa Cláudio Giriboni Monteiro em cena do filme *The Sleepy Beauty* (2014, 13'25'')
Fonte: Acervo do autor, a partir de vídeo produzido por discentes (2014)

Figura 7: Exemplo de pluralidade temática em produção do gênero terror



A aluna Andressa Mendes em cena do filme de terror *Dead Watch* (2019, 11'47'')
Fonte: Elaborado pelo autor

No ensino de línguas, essa distinção permite que o estudante mobilize o idioma de forma estratégica. Ao produzir um vídeo, o discente não apenas escolhe "sobre o que falar" (tema), mas "como se posicionar socialmente" (gênero), exercitando um

letramento crítico que diferencia o conteúdo bruto da forma como ele é mediado tecnologicamente. Desse modo, a clareza entre esses conceitos promove o protagonismo discente e a formação integral, conforme defendido por Frigotto (2012). Ao dominar o gênero, o aluno adquire competência técnica e social; ao escolher o tema, ele exerce sua agência e sua voz autoral. Essa integração favorece que a produção audiovisual não seja apenas um exercício de tradução de palavras, mas uma prática de liberdade em que a estética e o conteúdo convergem para a criação de um artefato cultural autêntico e situado na contemporaneidade.

Neste ponto, cabe refletir sobre a superação de barreiras socioemocionais e estruturais no aprendizado de língua inglesa, bem como sobre o impulso necessário para ressignificar a disciplina. As Figuras 1, 3 e 6 ilustram vídeos produzidos nos dois primeiros ciclos por um grupo de quatro estudantes: três com dificuldades significativas no uso da língua inglesa e uma com domínio avançado. Com o apoio da colega Monique Barsotti Ferreira, os alunos Alessandro Rodrigues, Shayane da Silva Bianchi e Valderez Teresa Cláudio Giriboni Monteiro enfrentaram inseguranças relacionadas ao uso do idioma e demonstraram avanços em sua participação acadêmica, tornando-se discentes de destaque. Sob minha orientação, o grupo desenvolveu uma pesquisa que culminou no trabalho *A criação de vídeos nas aulas de Língua Inglesa no curso de Tecnologia em Comércio Exterior como ferramenta facilitadora no processo de ensino/aprendizagem.* O estudo foi apresentado no evento acadêmico *8ª Mostra de Projetos de Iniciação Científica e Inovação tecnológica* na Fatec Itapetininga, em maio de 2014 tanto em formato de *banner* (Figura 8) quanto por meio de comunicação oral (Figura 9). Entre 192 trabalhos avaliados, o grupo obteve a nota 9,35, alcançando a 23ª posição na classificação geral (Figura 10).

Figura 8: Apresentação de Banner em evento acadêmico



Da esquerda para direita: Monique Barsotti Ferreira, Shayane da Silva Bianchi e Valderez Teresa Cláudio Giriboni Monteiro

Fonte: Acervo do autor, a partir de registro de apresentação em evento acadêmico

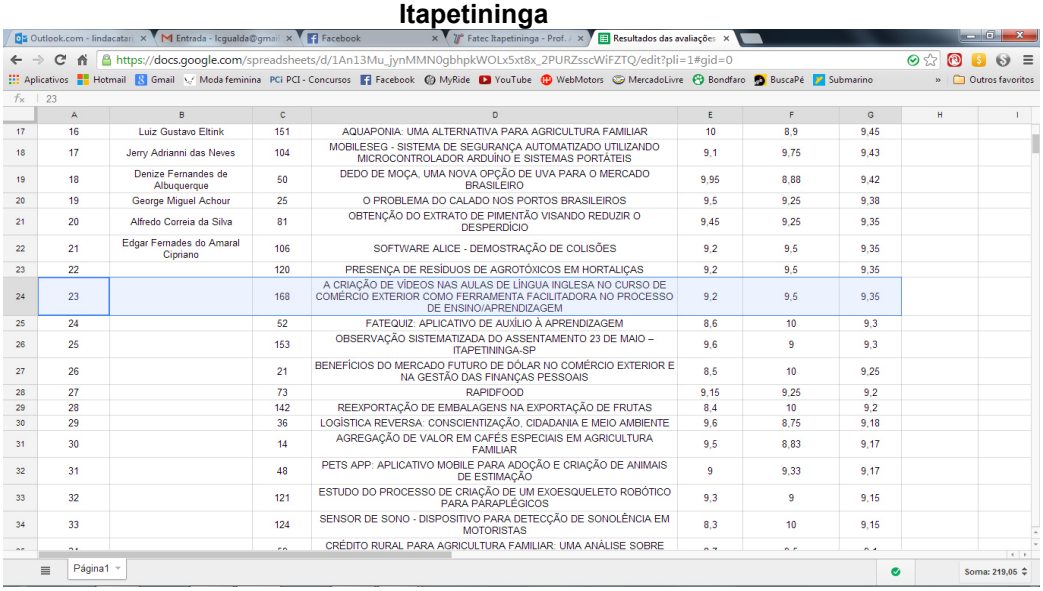
Figura 9: Apresentação de Comunicação em evento acadêmico



Da esquerda para direita: Profa. Adriana Cassetari (avaliadora – *in memoriam*), Valderez Teresa Cláudio Giriboni Monteiro (aluna), Monique Barsotti Ferreira (aluna), Profa. Linda Catarina Gualda (orientadora), Shayane da Silva Bianchi (aluna) e Profa. Sonia Maria Cardoso (avaliadora)

Fonte: Acervo do autor, a partir de registro de apresentação em evento acadêmico

Figura 10: Classificação dos trabalhos apresentados em evento acadêmico da Fatec Itapetininga

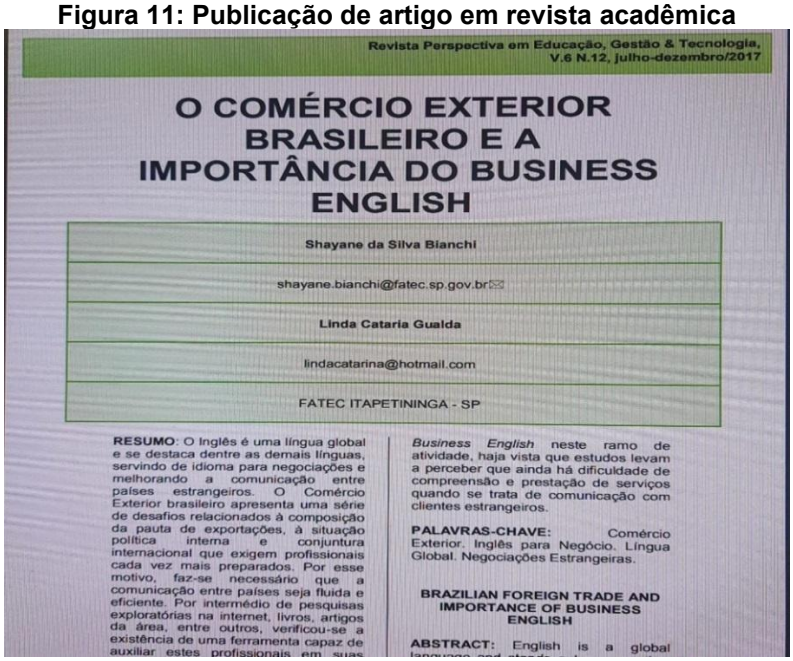


	A	B	C	D	E	F	G
17	16	Luiz Gustavo Eltink	151	AQUAPONIA: UMA ALTERNATIVA PARA AGRICULTURA FAMILIAR	10	8,9	9,45
18	17	Jerry Adrianni das Neves	104	MOBILESEG - SISTEMA DE SEGURANÇA AUTOMATIZADO UTILIZANDO MICROCONTROLADOR ARDUÍNO E SISTEMAS PORTÁTEIS	9,1	9,75	9,43
19	18	Denize Fernandes de Albuquerque	50	DEDO DE MOÇA, UMA NOVA OPÇÃO DE UVA PARA O MERCADO BRASILEIRO	9,95	8,88	9,42
20	19	George Miguel Achour	25	O PROBLEMA DO CALADO NOS PORTOS BRASILEIROS	9,5	9,25	9,38
21	20	Alfredo Correia da Silva	81	OBTENÇÃO DO EXTRATO DE PIMENTÃO VISANDO REDUZIR O DESPERDÍCIO	9,45	9,25	9,35
22	21	Edgar Fernades do Amaral Cipriano	106	SOFTWARE ALICE - DEMOSTRAÇÃO DE COLISÕES	9,2	9,5	9,35
23	22		120	PRESENÇA DE RESÍDUOS DE AGROTÓXICOS EM HORTALIÇAS	9,2	9,5	9,35
24	23		168	A CRIAÇÃO DE VÍDEOS NAS AULAS DE LÍNGUA INGLESA NO CURSO DE COMÉRCIO EXTERIOR COMO FERRAMENTA FACILITADORA NO PROCESSO DE ENSINO/APRENDIZAGEM	9,2	9,5	9,35
25	24		52	FATEQUIZ: APLICATIVO DE AUXÍLIO À APRENDIZAGEM	8,6	10	9,3
26	25		153	OBSERVAÇÃO SISTEMATIZADA DO ASSENTAMENTO 23 DE MAIO – ITAPETININGA-SP	9,6	9	9,3
27	26		21	BENEFÍCIOS DO MERCADO FUTURO DE DÓLAR NO COMÉRCIO EXTERIOR E NA GESTÃO DAS FINANÇAS PESSOAIS	8,5	10	9,25
28	27		73	RAPIDFOOD	9,15	9,25	9,2
29	28		142	REEXPORTAÇÃO DE EMBALAGENS NA EXPORTAÇÃO DE FRUTAS	8,4	10	9,2
30	29		36	LOGÍSTICA REVERSA: CONSCIENTIZAÇÃO, CIDADANIA E MEIO AMBIENTE	9,6	8,75	9,18
31	30		14	AGREGAÇÃO DE VALOR EM CAFÉS ESPECIAIS EM AGRICULTURA FAMILIAR	9,5	8,83	9,17
32	31		48	PETS APP: APLICATIVO MOBILE PARA ADOÇÃO E CRIAÇÃO DE ANIMAIS DE ESTIMAÇÃO	9	9,33	9,17
33	32		121	ESTUDO DO PROCESSO DE CRIAÇÃO DE UM EXOESQUELETO ROBÓTICO PARA PARAPLÉGICOS	9,3	9	9,15
34	33		124	SENSOR DE SONO - DISPOSITIVO PARA DETECÇÃO DE SONOLÊNCIA EM MOTORISTAS	8,3	10	9,15
				CRÉDITO RURAL PARA AGRICULTURA FAMILIAR: UMA ANÁLISE SOBRE			

Fonte: Acervo do autor, a partir de registro de classificação dos trabalhos apresentados no evento

Outro desdobramento relevante foi o Trabalho de Graduação de Shayane da Silva Bianchi, que deu origem ao artigo *O Comércio Exterior Brasileiro e a importância do Business English*, publicado na *Revista Perspectiva em Educação, Gestão & Tecnologia* da Fatec Itapetininga em 2017 (Figura 11).

Figura 11: Publicação de artigo em revista acadêmica



Revista Perspectiva em Educação, Gestão & Tecnologia, V.6 N.12, julho-dezembro/2017

O COMÉRCIO EXTERIOR BRASILEIRO E A IMPORTÂNCIA DO BUSINESS ENGLISH

Shayane da Silva Bianchi

shayane.bianchi@fatec.sp.gov.br

Linda Cataria Gualda

lindacatarina@hotmail.com

FATEC ITAPETININGA - SP

RESUMO: O Inglês é uma língua global e se destaca dentre as demais línguas, servindo de idioma para negociações e melhorando a comunicação entre países estrangeiros. O Comércio Exterior brasileiro apresenta uma série de desafios relacionados à composição da pauta de exportações, à situação política interna e conjuntura internacional que exigem profissionais cada vez mais preparados. Por esse motivo, faz-se necessário que a comunicação entre países seja fluida e eficiente. Por intermédio de pesquisas exploratórias na internet, livros, artigos da área, entre outros, verificou-se a existência de uma ferramenta capaz de auxiliar estes profissionais em suas *Business English* neste ramo de atividade, haja vista que estudos levam a perceber que ainda há dificuldade de compreensão e prestação de serviços quando se trata de comunicação com clientes estrangeiros.

PALAVRAS-CHAVE: Comércio Exterior. Inglês para Negócio. Língua Global. Negociações Estrangeiras.

BRAZILIAN FOREIGN TRADE AND IMPORTANCE OF BUSINESS ENGLISH

ABSTRACT: English is a global

Fonte: Acervo do autor, a partir de registro da publicação na Revista Perspectiva em Educação, Gestão & Tecnologia (2017)

Por fim, a produção do vídeo *Maid* (Figura 4) constitui um exemplo relevante do potencial formativo da atividade. A produção apresenta uma proposta criativa de apresentação pessoal (*self-introduction*) e foi realizada, à época, por uma discente que apresentava dificuldades no uso da língua inglesa e insegurança em situações de exposição oral. Por meio da atividade, ela ampliou sua participação no processo de aprendizagem e passou a desenvolver maior confiança no uso do idioma, aspecto que contribuiu para sua trajetória formativa. Posteriormente, Tatiana Alves Munhoz Prestes tornou-se professora com formação em Comércio Exterior e pós-graduação em Didática da Língua Inglesa. Atualmente cursa Licenciatura em Pedagogia e pós-graduação em Educação Especial, além de ministrar aulas de Robótica e Inglês na Educação Básica (Ensino Fundamental e Médio) nas redes pública e particular.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da experiência acumulada entre 2013 e 2024 permite concluir que a produção de vídeos em língua inglesa ultrapassou a condição de simples exercício de fixação linguística, configurando-se como estratégia pedagógica relevante no campo dos multiletramentos para o ensino superior tecnológico. Ao assumir o papel de *prosumidor*, o estudante pôde compreender o conteúdo técnico não apenas como código, mas como ferramenta de intervenção social, desenvolvendo o senso crítico e a responsabilidade digital necessários para atuar em ambientes globais e tecnologicamente mediados. A prática indicou que a multimodalidade não apenas facilita a aquisição do idioma, mas também promove a equidade e favorece práticas mais inclusivas ao valorizar diferentes formas de participação, expressão e repertórios culturais. Assim, o vídeo tornou-se um artefato de expressão identitária que articula saberes técnicos, criatividade e visão de mundo, contribuindo para uma formação que é, ao mesmo tempo, intelectual e sensível.

Ademais, a proposta, que objetivou conferir protagonismo ao estudante, evidenciou potencial formativo ao tensionar a dicotomia entre o saber teórico e a prática técnica, integrando competências socioemocionais e conhecimentos interdisciplinares em um produto cultural autoral. O engajamento e o refinamento estético observados nos projetos indicam que, quando o aprendizado é mediado por tecnologias familiares e pautado na ética digital, o aluno desenvolve um letramento

crítico relevante na era da hiperconectividade. Desse modo, a produção audiovisual reafirma-se como uma práxis educativa capaz de contribuir para a preparação do futuro profissional para uma comunicação global autêntica, transformando a sala de aula em um espaço de inteligência coletiva e formação humana integral.

Dada a minha trajetória acadêmica e experiência docente relacionada ao cinema, à crítica cinematográfica e ao uso pedagógico de linguagens audiovisuais, é gratificante realizar esta prática pedagógica e testemunhar o empenho dos alunos em executá-la. Além disso, minha bagagem profissional e histórico de atuação na área contribuíram para a construção e o refinamento dessa prática ao longo dos anos. A arte na Educação é um pilar fundamental para o desenvolvimento cognitivo, emocional, social e ético do aluno, permitindo que se constituam como indivíduos mais críticos e sensíveis frente a um mundo marcado pela aceleração tecnológica, pela volatilidade das relações e pelo surgimento de novas desigualdades. A presença da arte em atividades pedagógicas impulsiona uma formação humana integral, capacitando o estudante a navegar com maior consciência e empatia em uma realidade definida pela individualização extrema e pelas rápidas transformações sociotécnicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAKHTIN, M. **Os gêneros do discurso.** Organização, tradução, posfácio e notas de Paulo Bezerra. 1. ed. São Paulo: Editora 34, 2016.

BRUNER, J. S. **O processo da educação.** Lisboa: Edições 70, 1999.

CASTELLS, M. **A sociedade em rede.** 14. ed. São Paulo: Paz e Terra, 2011.

DANTAS, O. M. A. N. A.; LOPES, A. S. **Relato de experiência como método de pesquisa na formação de professores.** Brasília: Editora UnB, 2014.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido.** 17. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

FRIGOTTO, G. **A produtividade da escola improdutiva.** 9. ed. São Paulo: Cortez, 2012.

HOLLIDAY, O. J. **Para sistematizar experiências.** 2. ed. Brasília: MMA, 2006.

KALANTZIS, M.; COPE, B. **Letramentos**. Tradução: Cicília M. Krohling Peruzzo. Campinas: Editora da Unicamp, 2020.

KRESS, G.; VAN LEEUWEN, T**. Reading images: the grammar of visual design.** 2. ed. London: Routledge, 2006.

LÉVY, P. **Cibercultura**. São Paulo: Editora 34, 1999.

MUSSI, R. F. de F; FLORES, F. F.; ALMEIDA, C. B. de. **Pressupostos para a elaboração de relato de experiência como conhecimento científico.** In: Revista Práxis Educacional. 2021, vol.17, nº 48, p.60-77.

ROJO, R. **Pedagogia dos multiletramentos: diversidade cultural e de linguagens na escola.** São Paulo: Parábola Editorial, 2012.

SANTAELLA, L. **Comunicação ubíqua: repercussões na cultura e na educação.** São Paulo: Paulus, 2013.

TOFFLER, Alvin. **A terceira onda**. Tradução de João Távora. 28. ed. Rio de Janeiro: Record, 1980.

WOOD, D.; BRUNER, J. S.; ROSS, G. **The role of tutoring in problem solving**. Journal of Child Psychology and Psychiatry, v. 17, n. 2, p. 89-100, 1976.

SUPERÁVIT COMERCIAL COM A CHINA E DÉFICIT COM OS ESTADOS UNIDOS: UMA ANÁLISE SOB A ÓTICA DO COMÉRCIO EXTERIOR BRASILEIRO DE 2024

TRADE SURPLUS WITH CHINA AND TRADE DEFICIT WITH THE UNITED STATES: AN ANALYSIS OF BRAZIL'S FOREIGN TRADE IN 2024

Luiz Emanuel dos Santos Meira[1]
Maria Júlia Silva dos Santos[2]
Rogério Lino de Oliveira[3]
Henrique Mitsuharu Demiya[4]

RESUMO: O presente estudo analisa o desempenho do comércio exterior brasileiro no ano de 2024, com foco no comportamento das exportações, importações, saldo da balança comercial e corrente de comércio, com destaque para as relações comerciais com a China e os Estados Unidos. A pesquisa caracteriza-se como descritiva, com abordagem quantitativa e qualitativa, baseada em dados oficiais do Banco Central, do Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), da Secretaria de Comércio Exterior (SECEX) e do ComexStat. Os resultados demonstram que o Brasil apresentou superávit comercial expressivo no ano analisado, impulsionado principalmente pela exportação de *commodities*, com destaque para o petróleo e a soja. Verificou-se também forte concentração das relações comerciais com a China, principal parceiro do país. Por outro lado, observa-se déficit comercial com os Estados Unidos, segundo maior parceiro comercial do Brasil, decorrente do maior volume de importações em relação às exportações, especialmente de bens industriais e tecnológicos. As exportações brasileiras para esse mercado, embora apresentem concentração em *commodities*, incluem também bens de maior complexidade, como aeronaves, impulsionadas pela relevância do setor aeronáutico nacional, com destaque para a Embraer, evidenciando a presença de produtos com maior valor agregado na pauta exportadora. Conclui-se que, apesar do desempenho positivo, o Brasil ainda apresenta dependência de produtos primários nas exportações e de bens industrializados nas importações, o que evidencia desafios para o desenvolvimento econômico.
Palavras-chave: Balança comercial; Comércio internacional; Exportações; Importações; Relações comerciais.

ABSTRACT: This study analyzes the performance of Brazilian foreign trade in 2024, focusing on exports, imports, trade balance, and trade flow, with emphasis on trade relations with China and the United States. The research is characterized as descriptive, with both quantitative and qualitative approaches, based on official data from Banco Central, Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), da Secretaria de Comércio Exterior (SECEX) and ComexStat. The results show that Brazil achieved a significant trade surplus in the analyzed year, mainly driven by *commodity* exports, especially oil and soybeans. There was also a strong concentration of trade relations with China, the country's main partner. On the other hand, a trade deficit is observed with the United States, Brazil's second largest trading partner, resulting from the higher volume of imports compared to exports, particularly involving industrial and technological goods. Brazilian exports to this market, although concentrated in commodities, also include more complex goods, such as aircraft, driven by the strength of the national aeronautical sector, with emphasis on Embraer,

Comércio Exterior - Fatec Itapetininga - E-mail: luiz.emanuel.comex@hotmail.com[1]
Comércio Exterior - Fatec Itapetininga - E-mail: mariajuliasantos98@gmail.com [2]
Comércio Exterior - Fatec Itapetininga - E-mail: rogeriolinorichard@gmail.com[3]
Prof. Orientador Mestre - Fatec Itapetininga - E-mail: henrique.demiya@fatec.sp.gov.br[4]

highlighting the presence of higher value-added products in the export basket. It is concluded that, despite the positive performance, Brazil still shows dependence on primary goods in exports and industrialized goods in imports, highlighting challenges for economic development.
Keywords: Balance of trade; Exports; Imports; International trade; Trade relations.

1 INTRODUÇÃO

O comércio exterior desempenha um papel fundamental no desenvolvimento econômico de um país, sendo um dos principais indicadores de sua inserção e competitividade no cenário internacional. No caso do Brasil, as exportações e importações refletem não apenas a especialização produtiva do país, mas também a influência das transformações globais e das oscilações dos mercados internacionais.

O ano de 2024 foi caracterizado por um ambiente de recuperação econômica gradual após os impactos da pandemia, bem como por ajustes nas políticas monetárias e fiscais no cenário internacional. Nesse contexto, o Brasil manteve sua relevância no comércio global de *commodities* agrícolas, minerais e petróleo, obtendo um superávit na balança comercial de US$ 74,5 bilhões, segundo a Secretaria de Comunicação Social do Governo Brasileiro (2025).

As importações, por sua vez, refletiram o comportamento da demanda interna, a variação cambial e as políticas de incentivo à indústria e à inovação tecnológica.

Este artigo tem como objetivo analisar o desempenho das exportações e importações brasileiras no ano de 2024, destacando os principais produtos comercializados e os parceiros internacionais mais relevantes. Busca-se, ainda, compreender o comportamento da balança comercial, da corrente de comércio e os principais fatores que influenciaram os resultados no período, com ênfase nos pontos de maior destaque do comércio exterior brasileiro, contribuindo para uma visão mais ampla sobre o posicionamento do país no cenário internacional.

2 METODOLOGIA

De acordo com Vergara (2014), a metodologia constitui o conjunto de procedimentos utilizados para orientar o desenvolvimento de uma pesquisa científica. Nesse sentido, o método representa o caminho a ser seguido para alcançar os objetivos propostos no estudo.

Segundo Lakatos e Marconi (2003), o método é o conjunto de atividades sistemáticas que possibilitam atingir determinado objetivo com maior segurança. Dessa forma, os autores classificam os métodos em abordagem e procedimento.

Quanto ao método de abordagem, a presente pesquisa caracteriza-se como indutiva, pois parte da análise de dados específicos do comércio exterior brasileiro no ano de 2024 para compreensão de um contexto mais amplo. A partir da observação dos resultados obtidos, busca-se identificar padrões e inferir conclusões acerca do desempenho do país no cenário internacional. O referido ano foi escolhido por representar o período completo mais recente disponível durante o desenvolvimento da pesquisa, possibilitando uma análise atualizada do comportamento e das relações comerciais do país.

Em relação aos procedimentos metodológicos, o estudo utiliza o método descritivo, uma vez que tem como finalidade analisar e descrever o comportamento das exportações, importações, saldo da balança comercial e corrente de comércio, sem interferir nos fenômenos observados.

Para a classificação da pesquisa, adota-se a abordagem de Vergara (2014), que a divide quanto aos fins e quanto aos meios. Quanto aos fins, a pesquisa é classificada como descritiva, pois busca mostrar características do comércio exterior brasileiro no período analisado, e também como aplicada, por contribuir para a compreensão de um tema relevante no âmbito econômico.

Quanto aos meios, a pesquisa é classificada como documental e bibliográfica, sendo fundamentada em dados oficiais do Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), da Secretaria de Comércio Exterior (SECEX), do Banco Central e do ComexStat, além de materiais publicados em artigos, relatórios e bases institucionais.

Adicionalmente, a análise dos dados foi realizada com base em informações disponibilizadas principalmente pelo ComexStat e demais fontes oficiais. Esses dados foram organizados e sistematizados em um *dashboard*. Essa ferramenta permitiu a consolidação, visualização e interpretação das informações, o que contribuiu para a elaboração das análises apresentadas ao longo do estudo.

A abordagem do estudo é quantitativa e qualitativa, pois utiliza dados estatísticos para análise dos resultados e, ao mesmo tempo, interpreta os fatores que influenciam o desempenho do comércio exterior brasileiro entre o período de janeiro a dezembro do ano de 2024.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 ANÁLISE DAS IMPORTAÇÕES BRASILEIRAS NO ANO DE 2024

O comércio internacional compreende as atividades de importação e exportação de bens e serviços realizadas entre diferentes países, desempenhando papel essencial na economia das nações. Esse protagonismo decorre do avanço do processo de globalização, que intensificou as relações econômicas entre os países e gerou um nível de interdependência sem precedentes no cenário econômico mundial (SEGALIS *et al.*, 2012).

De acordo com a Receita Federal do Brasil (2014), importação corresponde à entrada temporária ou definitiva, em território nacional, de bens e serviços originários ou procedentes de outros países, a título oneroso ou gratuito. Resumindo, trata-se de tudo aquilo que é produzido em país estrangeiro e acaba entrando no país.

Sousa (2010, p. 6) destaca que:

> Os países para se desenvolverem e acompanharem a concorrência dos mercados mundiais necessitam importar maquinário, tecnologia, fertilizantes, minérios e outros insumos necessários à sua produção, pois sem isso não acompanharão a competitividade dos mercados mundiais nem alcançarão o melhor desempenho nas suas atividades. O crescimento dos países reflete-se no aumento das importações, sobretudo daqueles bens que são imprescindíveis à produção industrial ou agrícola.

Os valores das importações são registrados na balança comercial junto com os valores de exportações de mercadorias. Isso ocorre para que se possa analisar se o número das exportações superou o das importações, conhecido como superávit, ou caso contrário, ocorrerá o déficit comercial.

O ideal para as economias seria alcançar um equilíbrio nesses números, para o país não se tornar dependente tanto economicamente quanto de produção estrangeira. Mas diante dessa dificuldade, é inegável que as importações desempenham um papel importante para adquirir acesso a determinadas tecnologias e produtos apenas disponíveis no exterior.

Após explicados esses conceitos, analisando o ano de 2024 para o Brasil, segundo a Secretaria de Comércio Exterior do Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (2025), o país registrou importações totais de aproximadamente US$ 262,9 bilhões no período, evidenciando a relevância da

demanda por produtos estrangeiros na economia nacional. Ainda de acordo com a mesma fonte, o país teve um superávit de US$ 74,5 bilhões em sua balança comercial, resultando no segundo maior valor já registrado, ficando somente atrás do registrado no ano de 2023, em que o número foi de US$ 98,9 bilhões.

A figura 1 apresenta a evolução mensal das importações brasileiras ao longo de 2024, permitindo observar o comportamento da demanda interna por produtos estrangeiros durante o período analisado. Observa-se relativa estabilidade no fluxo de importação ao longo do ano, com variações moderadas entre os meses analisados. Destacam-se os maiores valores registrados entre os meses de agosto e outubro, indicando maior volume de compras externas no período.

Figura 1 – Fluxo de saída de dólares com importações brasileiras entre janeiro e dezembro de 2024



Fonte: Elaboração própria com dados fornecidos pelo ComexStat (MDIC) (2025).

Também foi possível observar que, para a economia interna, no ano de 2024 o consumo estava mais aquecido do que a produção, o que acabou ocasionando essa busca por produtos estrangeiros, E mesmo com o real desvalorizado, houve uma queda nos preços internacionais, favorecendo assim a compra desses produtos (Fecomercio SP, 2025).

Além dessas percepções, os números da balança comercial brasileira mostram uma realidade já bastante conhecida – o país é extremamente dependente do mercado chinês. De acordo com a Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos (2025), em 2024 a China foi a principal fornecedora dos produtos que tiveram como destino o Brasil, resultando num gasto de cerca de US$ 63,6 bilhões. Essa relação é ainda mais significativa quando se observa que a China também é um

destino importante para as exportações brasileiras, especialmente *commodities* como soja, minério de ferro e petróleo, como veremos posteriormente.

Ao lado da China, seguem os Estados Unidos como segundo maior fornecedor do Brasil (US$ 40,7 bilhões) e em seguida vem a Alemanha (US$ 13,8 bilhões), sendo os Estados que mais importam São Paulo, Santa Catarina e Rio de Janeiro, respectivamente (ComexStat, 2025).

Observa-se na figura 2 a predominância da China como a principal fornecedora, seguida pelos Estados Unidos, evidenciando a concentração das relações comerciais brasileiras nesses países.

Figura 2 – Ranking com os dez maiores parceiros comerciais do Brasil no que se refere às importações



Fonte: Elaboração própria com dados fornecidos pelo ComexStat (MDIC) (2025).

A pauta de importações é composta, em sua maior parte, por bens industrializados e de maior valor agregado, evidenciando a dependência do país em relação a produtos externos com maior nível tecnológico, conforme apresentado na figura 3.

Figura 3 –Apresentam-se os cinco produtos mais importados pelo Brasil, expressos em bilhões de dólares



Fonte: Elaboração própria com dados fornecidos pelo ComexStat (MDIC) (2025).

3.2 ANÁLISE DAS EXPORTAÇÕES BRASILEIRAS NO ANO DE 2024

Segundo dados do ComexStat (2025), o Brasil registrou exportações totais de aproximadamente US$ 337 bilhões no ano de 2024, evidenciando a relevância do mercado externo para a economia nacional. A pauta exportadora brasileira foi marcada pela forte presença de commodities, com destaque para produtos como petróleo, açúcar, soja e café, que são itens que desempenham papel fundamental na geração de receita para o país.

A Figura 4 apresenta o fluxo de entrada de dólares no Brasil no período de janeiro a dezembro de 2024. Observa-se a variação ao longo dos meses, refletindo o comportamento das exportações e das condições do mercado internacional.

Figura 4 – Fluxo de entrada de dólares no Brasil no período de janeiro a dezembro de 2024



Fonte: Elaboração própria com dados fornecidos pelo ComexStat (MDIC) (2025).

Observa-se também a China como principal destino para os produtos brasileiros, seguida pelos Estados Unidos e outros países relevantes, o que

demonstra uma elevada concentração das vendas em determinados parceiros, indicando uma certa dependência do Brasil a esses mercados. Entre os itens exportados pelo Brasil para a China, os principais são a soja, o minério de ferro e o petróleo, que são produtos essenciais para a indústria e o consumo daquele país. Essa relação demonstra a importância do papel do Brasil como fornecedor de commodities e contribui diretamente para o superávit comercial observado entre os dois países.

Observa-se na Figura 5 a concentração das vendas externas em parceiros estratégicos, evidenciando a dependência do Brasil em relação a determinados mercados.

Figura 5 – Principais países de destino das exportações brasileiras em 2024



Fonte: Elaboração própria com dados fornecidos pelo ComexStat (MDIC) (2025).

De acordo com Alves (2025), o petróleo fechou 2024 com vendas totais de US$ 44,8 bilhões, representando 13,3% do total exportado pelo país e superando a soja, que exportou US$ 42,9 bilhões no mesmo ano. O que consolidou o petróleo como o principal item das exportações brasileiras foi a produção no pré-sal. Os campos de Tupi, Búzios e Mero, situados na Bacia de Santos, foram responsáveis por 69% da produção no pré-sal. Tupi, o maior campo do Brasil, registrou uma produção de 1,1 milhão de barris diários no terceiro trimestre de 2024.

Ainda segundo a autora, atualmente a exploração no pré-sal segue o regime de partilha, sendo assim, a produção é dividida entre as empresas e a União. Em 2024, a estatal Pré-Sal Petróleo (PPSA) obteve R$ 10,32 bilhões com a venda de petróleo e gás natural, representando crescimento de 71% em relação ao ano anterior. Projeções ainda indicam que o pré-sal poderá gerar até R$ 506 bilhões em receitas para a União até 2034.

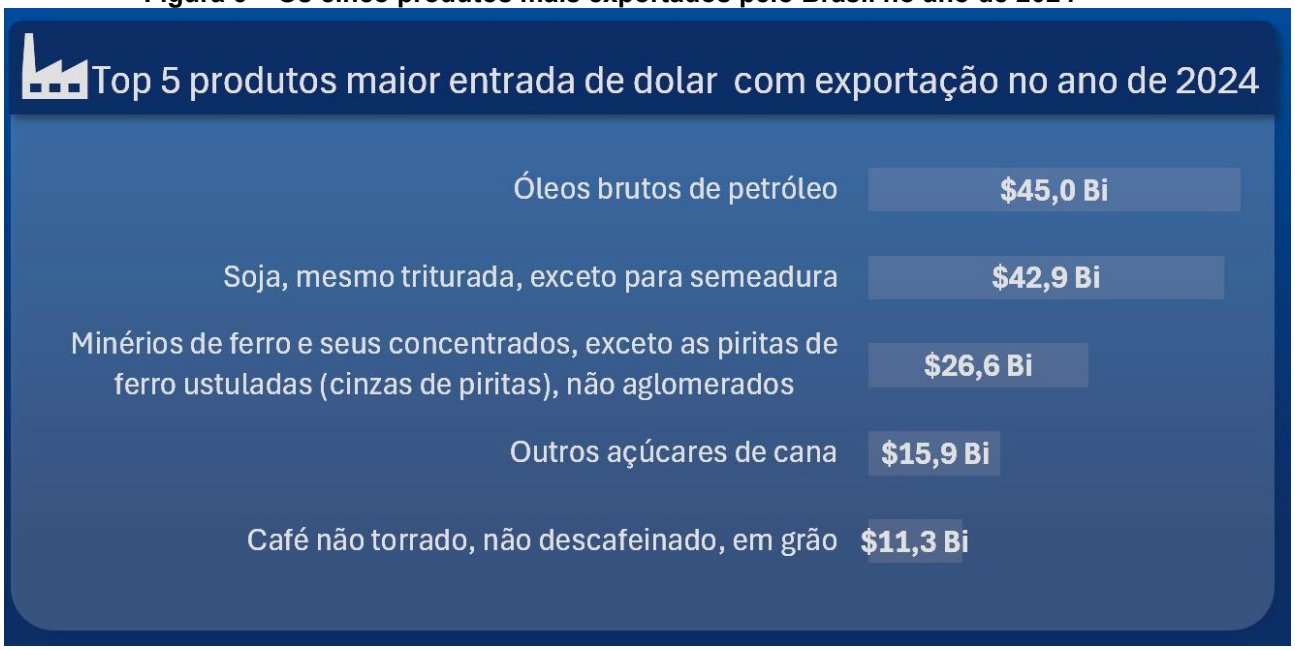
Mas um dos grandes responsáveis anualmente pela receita de exportação continua sendo a soja, que ficou somente atrás dos óleos brutos de petróleo.

Conforme informações da Forbes Agro (2025), a receita obtida com a exportação de soja pelo Brasil somou US$ 42,9 bilhões em 2024, representando queda de 19,4% em relação ao mesmo período do ano anterior, por conta de menores preços e volumes exportados.

Segundo dados da Secretaria de Comércio Exterior (SECEX) (2025), o preço médio da soja exportada pelo país recuou 16,9%, enquanto os volumes caíram 3% na comparação com o recorde de mais de 100 milhões de toneladas de 2023 — em 2024, o Brasil contou com menor oferta após uma quebra de safra.

A Figura 6 apresenta os cinco produtos mais exportados pelo Brasil no ano de 2024. Observa-se a predominância de *commodities* na pauta exportadora, com destaque para produtos ligados aos setores agrícola, mineral e energético.

Figura 6 – Os cinco produtos mais exportados pelo Brasil no ano de 2024



Fonte: Elaboração própria com dados fornecidos pelo ComexStat (MDIC) (2025).

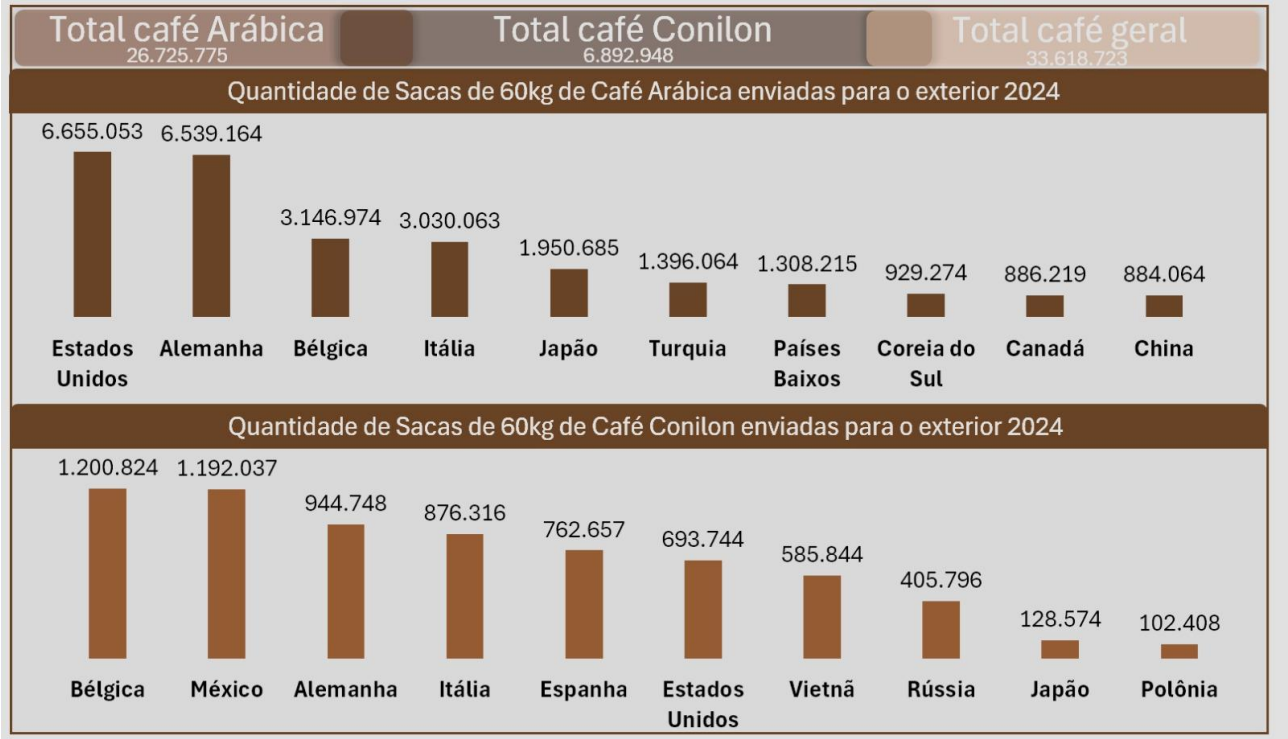
Outro item que também aparece na lista como um dos mais exportados são os diversos tipos de açúcares de cana (NCM 17011400 – Outros Açúcares de Cana). Conforme dados do ComexStat (2025), no período analisado, as exportações desse produto totalizaram US$ 15,9 bilhões, posicionando-o na quarta colocação entre os principais produtos exportados pelo país.

No que se refere às exportações de café brasileiro, a receita totalizou US$ 11,54 bilhões em 2024, considerando conjuntamente as variedades Arábica e Conilon, segundo dados do Agro Sustentar (2025). No referido ano, o Brasil exportou 46,3

milhões de sacas de café, entre Arábica e Conilon, com rendimentos de até US$ 314,65 dólares por saca de 60kg. A receita somada atingiu o valor de US$ 11,54 bilhões de dólares ao longo do ano, segundo relatório de exportações de dezembro de 2024 do conselho dos exportadores de café do Brasil.

Verifica-se na Figura 7 a concentração das exportações em mercados tradicionais e estratégicos, com destaque para países de elevado consumo e para aqueles que utilizam o produto na indústria de cafés solúveis e *blends*. Essa distribuição evidencia a relevância do café na pauta exportadora brasileira e reforça a posição do país como um dos principais fornecedores mundiais dessa *commodity*.

Figura 7 – Principais países de destino das exportações de café brasileiro (arábica e conilon) em 2024



Fonte: Elaboração própria com dados fornecidos pelo ComexStat (MDIC) (2025).

3.3 RESULTADO DA BALANÇA COMERCIAL

A balança comercial é um dos principais indicadores utilizados para analisar as relações econômicas de um país com o mercado internacional. De modo geral, esse indicador registra os valores das exportações e das importações de mercadorias realizadas em um determinado período, permitindo identificar se há superávit, quando as exportações superam as importações, ou déficit, quando ocorre o inverso (BRASIL, s.d.).

Conforme destacado pela Secretaria de Comunicação Social (Secom) (2025), no ano de 2024, o Brasil alcançou US$ 337 bilhões de exportações e US$ 263 bilhões de importações, totalizando uma balança comercial positiva de US$ 74 bilhões. Um dos destaques do período foi o recorde de exportação de US$ 181,9 bilhões na indústria de transformação, maior valor desde o início da série histórica (1997), o que indica a atuação do governo brasileiro em políticas que impulsionam a produção nacional. Nesse sentido, conforme destacado pelo vice-presidente e ministro do MDIC, Geraldo Alckmin, o MDIC tem atuado em projetos tanto para estimular a produção da indústria quanto para colocar o país em outro patamar de comércio exterior. Além disso, a secretária de Comércio Exterior do MDIC, Tatiana Prazeres, ressaltou que a balança comercial brasileira alcançou resultados expressivos em 2023 e 2024, com exportações em níveis inéditos e superávits históricos, sendo que o superávit de 2024 deverá posicionar o Brasil entre os 10 maiores do mundo.

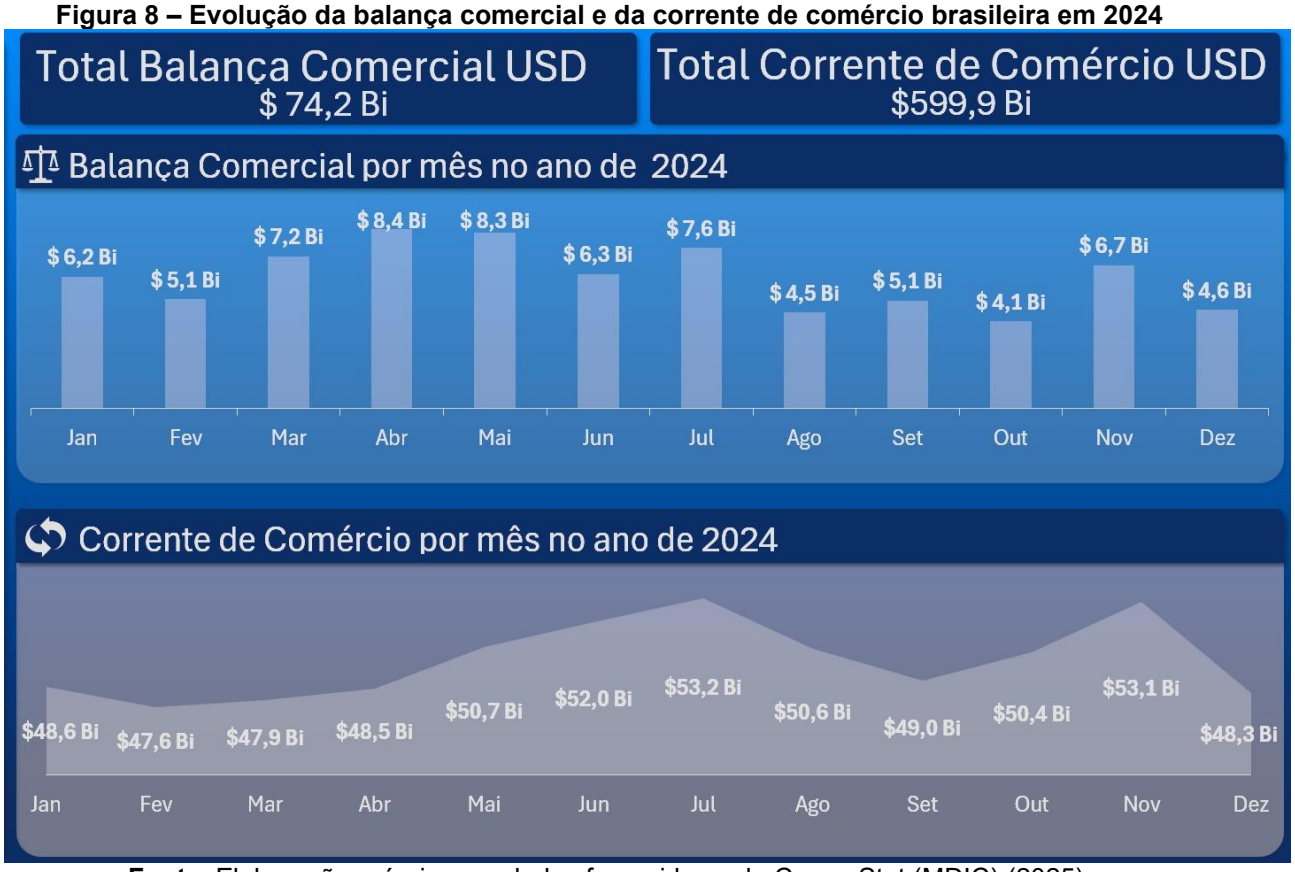
3.4 CORRENTE DE COMÉRCIO

Sendo a corrente de comércio a soma das exportações e das importações, a Secretaria de Comércio Exterior do Ministério do Desenvolvimento, Indústria Comércio e Serviços (SECEX/MDIC) (2025) destacou que os resultados de 2024 da corrente de comércio totalizaram US$ 559 bilhões. Apesar de registrar um crescimento de 3,3% em relação ao ano anterior, a corrente de comércio alcançou o segundo maior valor da série histórica.

Ainda de acordo com as informações disponibilizadas pelo MDIC (2025), os setores que influenciaram nesses resultados, na área da exportação, foram a queda de US$ 9 bilhões na Agropecuária, o crescimento de US$ 1,93 bilhão na Indústria Extrativa e o crescimento de US$ 4,81 bilhões em produtos da Indústria de Transformação. Já na área das importações, o desempenho foi de crescimento de US$ 1,15 bilhão na Agropecuária, US$ 160 milhões em Indústria Extrativa e de 20,4 bilhões em produtos da Indústria de Transformação.

Na Figura 8, verifica-se a evolução da balança comercial e da corrente de comércio brasileira em 2024. Observam-se os valores totais das exportações e importações, bem como o saldo da balança comercial ao longo do período, evidenciando o desempenho positivo do comércio exterior brasileiro no ano em análise.

Figura 8 – Evolução da balança comercial e da corrente de comércio brasileira em 2024



Fonte: Elaboração própria com dados fornecidos pelo ComexStat (MDIC) (2025).

3.5 ANÁLISE DOS PRINCIPAIS PARCEIROS COMERCIAIS DO BRASIL EM 2024

O comércio exterior brasileiro mantém relações relevantes com grandes economias globais, com destaque para sua atuação como fornecedor de matérias-primas, tanto na exportação quanto na importação de bens. Em 2024, segundo dados dos portais TradeInt (2024) e TradeImex (2024), os cinco principais destinos das exportações brasileiras foram China, Estados Unidos, Argentina, Países Baixos e Espanha. Já os principais fornecedores externos de produtos ao Brasil foram China, Estados Unidos, Alemanha, Argentina e Rússia.

Também de acordo com o TradeInt (2024), o valor total exportado pelo Brasil foi de aproximadamente US$ 337 bilhões. Deste total, a China respondeu por cerca de 28% (US$ 94,4 bilhões), consolidando-se como o principal parceiro comercial brasileiro. Os Estados Unidos ocuparam a segunda posição, com US$ 40,9 bilhões (12%), seguidos pela Argentina com US$ 13,78 bilhões (4,1%), pelos Países Baixos com US$ 11,76 bilhões (3,5%) e pela Espanha, com US$ 9,94 bilhões (3%).

Em relação à composição das exportações brasileiras, observa-se predominância de *commodities* e produtos intermediários, especialmente nas relações comerciais com a China e Estados Unidos. Entre os principais produtos exportados destacam-se a soja, o minério de ferro, petróleo, combustíveis minerais e produtos industriais específicos, evidenciando diferenças na composição da pauta exportadora conforme o parceiro analisado.

Com a Argentina, principal parceiro comercial da América do Sul, absorve sobretudo automóveis e autopeças, máquinas industriais, plásticos, produtos químicos e combustíveis. Essa relação é marcada pela integração produtiva entre os setores industriais dos dois países, especialmente na indústria automobilística do Mercosul.

Países Baixos (Holanda) e a Espanha atuam majoritariamente como portos de redistribuição europeus, recebendo produtos como soja, minério de ferro, petróleo e carne, que posteriormente são reexportados para outras nações da União Europeia.

Sendo assim, é possível observar que o perfil exportador do Brasil continua centrado em bens de natureza primária e intermediária, refletindo uma estrutura produtiva fortemente baseada em recursos naturais e menos em produtos de alta tecnologia ou inovação, área que não é explorada de maneira eficiente pelo país.

No mesmo período, segundo o TradeImex (2024), o valor total das importações brasileiras foi de aproximadamente US$ 240 bilhões. A China foi a principal origem das compras externas, com US$ 53,17 bilhões (22,1%), seguida pelos Estados Unidos com US$ 38,41 bilhões (16%), pela Alemanha com US$ 13,14 bilhões (5,5%), pela Argentina com US$ 11,99 bilhões (5%) e pela Rússia com US$ 10,01 bilhões (4,2%).

Com a Alemanha, o Brasil mantém uma pauta de exportação fortemente voltada a máquinas, equipamentos industriais, produtos químicos e farmacêuticos, refletindo o perfil tecnológico da economia europeia. Já a Rússia destaca-se pelo fornecimento de fertilizantes e insumos agrícolas, itens fundamentais para a agroindústria brasileira, além de combustíveis e produtos químicos.

3.6 RELAÇÕES COMERCIAIS ENTRE BRASIL E CHINA: DETERMINANTES DO SUPERÁVIT COMERCIAL

A China é o maior parceiro comercial do Brasil, sendo o principal destino das exportações brasileiras, especialmente de *commodities*. A forte presença desses bens

evidencia o papel da China como grande consumidora de matérias-primas e alimentos, reforçando a especialização brasileira na exportação de produtos primários.

Em 2024, o país registrou um superávit de US$ 30,7 bilhões, conforme dados fornecidos pelo Ministério de Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC).

Apesar de ser uma das principais exportadoras do mundo, a China apresenta esse déficit comercial em relação ao Brasil devido a sua necessidade de garantir matérias-primas essenciais para sustentar sua atividade industrial, energética e alimentar. Esse cenário está diretamente relacionado ao tamanho de sua população e ao seu elevado nível de produção, o que gera uma forte dependência de insumos estrangeiros.

Nessa perspectiva, a relação comercial entre Brasil e China caracteriza-se por um padrão complementar, no qual o Brasil exporta majoritariamente produtos primários, enquanto a China exporta os bens já industrializados, sendo também o mercado brasileiro um dos destinos para esses produtos. Entretanto, essa forte concentração em único parceiro comercial pode representar riscos para a economia nacional, uma vez que, segundo Welber Barral (apud PRAZERES, 2025), a dependência excessiva de um parceiro comercial predominante torna a economia vulnerável a instabilidades externas.

Como pode ser observado na Figura 9, verifica-se a predominância das exportações brasileiras ao longo do período, resultando em superávit comercial contínuo na relação entre os países, com exceção do mês de dezembro, em que os valores se mantiveram equivalentes.

Figura 9 – Comparação entre os valores de exportação e importação do Brasil com a China em 2024, bem como a evolução mensal do saldo da balança comercial bilateral.



Fonte: Elaboração própria com dados fornecidos pelo ComexStat (MDIC) (2025).

3.7 RELAÇÕES COMERCIAIS ENTRE BRASIL E ESTADOS UNIDOS: DETERMINANTES DO DÉFICIT COMERCIAL

Já diferentemente da relação com a China, o Brasil apresenta déficit comercial com o Estados Unidos. Esse resultado está associado, principalmente, ao maior volume de importações em relação às exportações, especialmente de bens industriais e tecnológicos provenientes do mercado americano.

Em análise aos dados provenientes do ComexStat (2025), observa-se que, em 2024, as exportações brasileiras para os Estados Unidos totalizaram US$ 40,4 bilhões, enquanto as importações somaram US$ 40,7 bilhões, resultando em um déficit comercial de aproximadamente US$ 300 milhões para o Brasil.

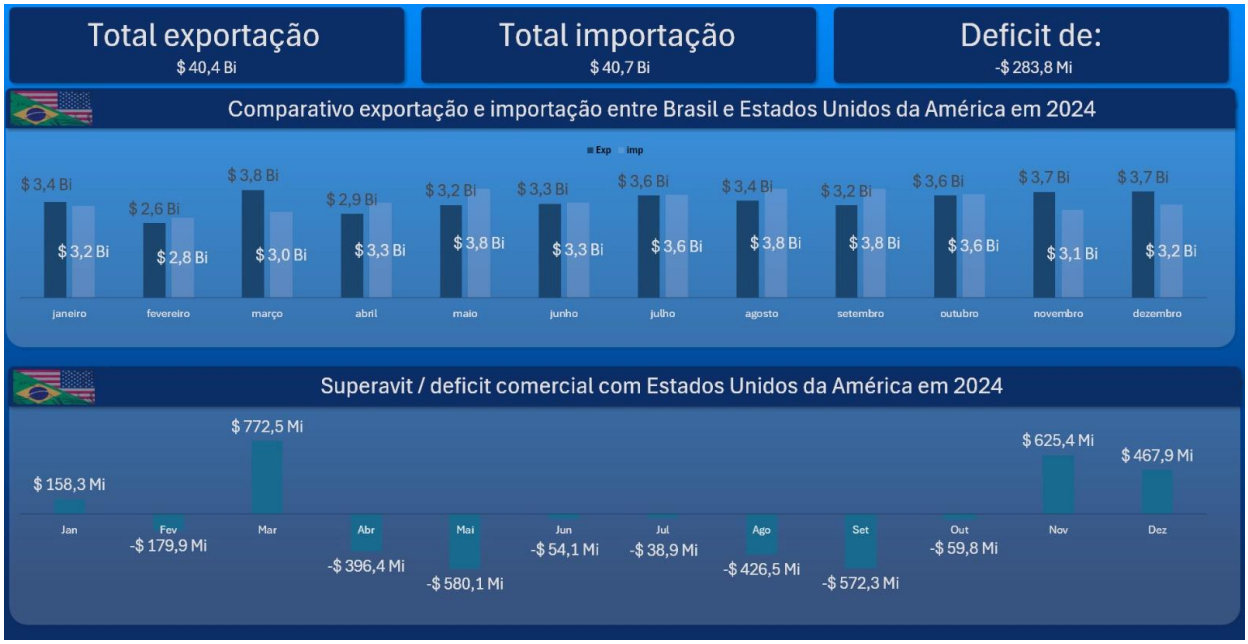
Segundo o Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (2025), entre os dez principais produtos vendidos pelos Estados Unidos ao Brasil, a maioria possui imposto de importação zero, incluindo petróleo e derivados. Além disso, a existência de regimes especiais de tributação contribui para esse cenário, resultando em uma tarifa média de importação relativamente baixa, em torno de 2,7%.

Conforme Cerqueira (2025), as exportações brasileiras para esse mercado caracterizam-se por maior diversificação, abrangendo tanto produtos básicos quanto bens com maior agregação de valor, como aeronaves, o que evidencia a presença de setores industriais relevantes na pauta exportadora. Ainda assim, o valor total exportado não supera o das importações, contribuindo para a formação do déficit comercial.

Apesar do déficit observado, a relação entre os países é considerada estratégica e complementar. Conforme destacou a secretária de Comércio Exterior, Tatiana Prazeres (MDIC,2025), “o Brasil não é um problema comercial para os Estados Unidos. Estamos muito empenhados em comunicar ao lado americano que de fato a relação comercial Brasil é um ganha-ganha, que interessa aos dois países. Há muita complementaridade econômica. Isso gera emprego e investimentos para os dois lados, de maneira que é importante valorizar essa relação comercial”.

A Figura 10 apresenta a comparação entre os valores de exportações e importações do Brasil em relação aos Estados Unidos no ano de 2024. Observa-se que, ao longo do período, o valor das importações supera o das exportações, resultando em um déficit na balança comercial brasileira com esse mercado.

Figura 10 – Comparação entre os valores de exportações e importações do Brasil em relação aos Estados Unidos no ano de 2024



Fonte: Elaboração própria com dados fornecidos pelo ComexStat (MDIC) (2025).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo analisar o desempenho do comércio exterior brasileiro no ano de 2024, com ênfase no comportamento das exportações, importações, saldo da balança comercial e corrente de comércio. A partir da análise de dados, foi possível compreender a dinâmica das relações comerciais do Brasil e sua inserção no cenário internacional.

Os resultados evidenciaram que o país apresentou um desempenho positivo no período, com destaque para o superávit da balança comercial, impulsionado principalmente pela exportação de *commodities*, como petróleo e soja. Observou-se também a concentração significativa das exportações brasileiras em determinados parceiros comerciais, especialmente a China, o que reforça a dependência do Brasil em relação a esse mercado.

Por outro lado, verificou-se que o Brasil mantém déficit comercial com os Estados Unidos, ainda que em proporção reduzida quando comparada ao volume total das relações comerciais entre os países. Esse comportamento evidencia uma relação comercial complementar, porém também revela desafios estruturais da economia brasileira, especialmente no que se refere à agregação de valor às exportações.

Dessa forma, apesar dos resultados positivos apresentados em 2024, o comércio exterior brasileiro ainda apresenta forte participação de produtos primários nas exportações e de bens industrializados nas importações, evidenciando desafios relacionados à agregação de valor na pauta exportadora nacional.

Nesse sentido, destaca-se a importância de políticas voltadas ao incentivo da agregação de valor às exportações brasileiras e ao fortalecimento de setores industriais estratégicos.

Por fim, destaca-se o fato de o Brasil apresentar superávit comercial com a China, considerada o país mais superavitário do mundo, ao mesmo tempo em que registra déficit comercial com os Estados Unidos, país caracterizado como o mais deficitário do mundo. Esse contraste evidencia a natureza das relações comerciais brasileiras e reforça a importância da análise da composição da pauta exportadora e importadora para a compreensão do desempenho do comércio exterior nacional, contribuindo para o aprimoramento das estratégias de inserção internacional do país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRO SUSTENTAR. **Exportações de café brasileiro em 2024 totalizaram US$ 11,54 bilhões de receita, somando arábica e conilon**. 2025. Disponível em: https://agrosustentar.com.br/agronegocio/exportacoes-de-cafe-brasileiro-em-2024/. Acesso em: 1 nov. 2025.

ALVES, Arieny. **Petróleo fecha 2024 como principal item nas exportações do Brasil**. 2025. Disponível em: https://agro2.com.br/economia/petroleo-fecha-2024-como-principal-item-nas-exportacoes-do-brasil/. Acesso em: 1 nov. 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. **Brasil não é problema comercial para os Estados Unidos, afirma secretária de Comércio Exterior**. 2025. Disponível em: https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2025/agosto/brasil-nao-e-problema-comercial-para-os-estados-unidos-afirma-secretaria-de-comercio-exterior. Acesso em: 28 mar. 2026.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. **ComexStat: estatísticas de comércio exterior**. Disponível em: https://comexstat.mdic.gov.br. Acesso em: 28 mar. 2026.

BRASIL. Secretaria de Comunicação Social. **Balança comercial tem superávit de US$ 74,5 bilhões em 2024, segundo melhor resultado da série histórica**. Brasília, DF, 7 jan. 2025. Disponível em: https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias/2025/janeiro/balanca-comercial-tem-superavit-de-us-74-5-bilhoes-em-2024-segundo-melhor-resultado-da-serie-historica. Acesso em: 27 out. 2025.

CERQUEIRA, Mateus. **Brasil bate recorde de exportações para os EUA em 2024, aponta Amcham**. 2025. Disponível em: https://www.cnnbrasil.com.br/economia/macroeconomia/brasil-bate-recorde-historico-de-exportacoes-para-os-eua-em-2024-aponta-amcham/. Acesso em: 10 maio 2026

FECOMERCIO SP. **Economia aquecida, superprodução chinesa e queda nos preços incentivaram alta de importações em 2024, mesmo com dólar mais caro**. São Paulo, 21 jan. 2025. Disponível em: https://fecomercio.com.br/noticia/economia-aquecida-superproducao-chinesa-e-queda-nos-precos-incentivaram-alta-de-importacoes-em-2024-mesmo-com-dolar-mais-caro. Acesso em: 27 out. 2025.

FORBES AGRO. **Receita com Exportação de Soja do Brasil Fecha 2024 em Queda**. 2025. Disponível em: https://forbes.com.br/forbes-agro/2025/01/receita-com-exportacao-de-soja-do-brasil-fecha-2024-em-queda/. Acesso em: 10 maio 2026.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

PRAZERES, Leandro. **O Brasil é dependente da China? E quais os riscos disso?** G1, 14 maio 2025. Disponível em: https://g1.globo.com/economia/noticia/2025/05/14/o-brasil-e-dependente-da-china-e-quais-os-riscos-disso.ghtml. Acesso em: 29 mar. 2026.

BRASIL. Receita Federal. **Importação**. 2014. Disponível em: https://www.gov.br/receitafederal/pt-br/assuntos/aduana-e-comercio-exterior/importacao-e-exportacao/despacho-aduaneiro-de-importacao. Acesso em: 10 maio 2026.

SEGALIS, Gabriel; FRANÇA, Ronaldo de; ATSUMI, Shirley YuricaKanamori. **Fundamentos de exportação e importação no Brasil**. Rio de Janeiro: FGV, 2012.

SOUSA, José Manuel Meireles de. **Gestão de comércio exterior: exportação/importação**. São Paulo: Saraiva, 2010.

TRADEIMEX. **Brazilimport data breakdown: which industries are thriving?** Disponível em: https://tradeimex.in/blogs/brazil-import-data-breakdown-which-industries-are-thriving. Acesso em: 2 nov. 2025.

TRADEINT. **Top 10 Brazilexportsby country (2024–2025)**. Disponível em: https://tradeint.com/insights/top-10-brazil-exports-by-country-2024-2025. Acesso em: 2 nov. 2025.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 14. ed. São Paulo: Atlas, 2014.

E-COMMERCE NO AGRONEGÓCIO: ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE PRODUTORES RURAIS NA COMPRA DE INSUMOS AGRÍCOLAS

E-COMMERCE IN AGRIBUSINESS: ANALYSIS OF RURAL PRODUCERS' PURCHASING BEHAVIOR IN AGRICULTURAL INPUT MARKETS

Mateus do Nascimento Oliveira[1]
Valéria Cristina Scudeler[2]

RESUMO: Este artigo analisa a adoção do *e-commerce* na compra de insumos agrícolas a partir da percepção de produtores rurais da região de Itapetininga (SP). A pesquisa adota abordagem quantitativa, de caráter descritivo, baseada em pesquisa de campo com aplicação de questionário estruturado a 89 produtores. Os resultados indicam que, embora haja amplo acesso e uso de tecnologias digitais, especialmente para busca de informações e comunicação, a utilização do *e-commerce* como canal de compra ainda é limitada. Observa-se uma dissociação entre o uso de ferramentas digitais e a efetivação das transações comerciais, associada principalmente à percepção de risco e à relevância da consultoria técnica. Fatores como confiança, relacionamento com fornecedores e presença do consultor de negócios exercem influência decisiva no processo de compra, reforçando a predominância dos canais tradicionais. Conclui-se que, no contexto analisado, os canais digitais atuam predominantemente como suporte informacional, sendo adotados de forma complementar às revendas físicas.

Palavras-chave: Canais de comercialização; Comércio B2B2C; Consultoria técnica; Gestão de propriedades rurais; Tecnologias digitais; Tomada de decisão.

ABSTRACT: This study analyzes the adoption of e-commerce in the purchase of agricultural inputs based on the perception of rural producers in the region of Itapetininga, São Paulo, Brazil. The research adopts a quantitative, descriptive approach, based on primary field data collected through a structured questionnaire applied to 89 producers. The results indicate that, although there is widespread access to and use of digital technologies, especially for information search and communication, the use of e-commerce as a purchasing channel remains limited. A gap is observed between the use of digital tools and the completion of transactions, mainly associated with perceived risk and the importance of technical consulting. Factors such as trust, relationships with suppliers, and the presence of technical consultants play a decisive role in the purchasing process, reinforcing the predominance of traditional channels. It is concluded that, in the analyzed context, digital channels act primarily as informational support and are adopted in a complementary manner to physical retail channels.

Keywords: Marketing channels; B2B2C commerce; Technical consulting; Farm management; Digital technologies; Decision-making.

1. INTRODUÇÃO

O avanço das tecnologias digitais tem promovido mudanças significativas nos modelos de comercialização em diversos setores da economia, ampliando o uso do *e-commerce* como canal de transação (Chaffey, 2015; Kotler; Kartajaya; Setiawan, 2017). No agronegócio, entretanto, esse processo ocorre de forma mais gradual,

Engenheiro Agrônomo pela FAESB-Tatuí, e-mail: mateusnascimento2903@gmail.com.[1]
Docente Mestre da Fatec Itapetininga, e-mail: valeria.scudeler@cps.sp.gov.br.[2]

especialmente no mercado de insumos agrícolas, caracterizado por elevada sofisticação técnica e forte dependência de relações interpessoais (Neves; Zylbersztajn; Caleman, 2015; Mattedi, 2018).

Apesar do crescente acesso à internet e do uso de dispositivos eletrônicos no meio rural, a adoção do *e-commerce* ainda é limitada. Estudos indicam que os produtores rurais utilizam ferramentas digitais para busca de informações, comparação de preços e comunicação, mas preferem canais tradicionais no momento de efetivar a compra (Bolfe *et al.*, 2020; Goedde *et al.*, 2020).

De acordo com a Associação Brasileira de Marketing Rural e Agronegócio (ABMRA, 2021), fatores como confiança, proximidade com o fornecedor e suporte técnico continuam sendo determinantes no processo de compra do produtor rural brasileiro.

Nesse contexto, torna-se relevante compreender o comportamento do produtor rural frente às compras de insumos agrícolas em canais online, sobretudo em regiões onde a modernização tecnológica já se encontra em estágio avançado. Partindo da hipótese de que o uso de internet e equipamentos eletrônicos, como tablets e smartphones, é irreversível no contexto atual, o objetivo deste artigo é analisar o uso de tecnologias digitais para buscar informações e realizar compras no ambiente virtual, bem como a percepção dos produtores rurais em relação a esse modelo de negociação, em comparação aos canais tradicionais.

Para tanto, foi realizada uma pesquisa de campo com 89 produtores rurais da região de Itapetininga (SP), com o objetivo de investigar sua adesão ao e-commerce como ferramenta alternativa para a efetivação das transações na cadeia de insumos agrícolas, bem como identificar os fatores que atuam como barreiras às compras online, incluindo limitações de acesso à internet e a plataformas digitais, além de aspectos culturais, como preferências e hábitos de aquisição de insumos agrícolas.

2. METODOLOGIA

Esta pesquisa tem como objetivo analisar a adoção do *e-commerce* na compra de insumos agrícolas e a percepção dos produtores rurais em relação a esse canal, em comparação aos modelos tradicionais. Adota-se uma abordagem quantitativa, de caráter descritivo, baseada em pesquisa de campo, classificada como pesquisa primária, com coleta de dados por meio de levantamento estruturado, adequado à

identificação de padrões de comportamento, percepções e preferências dos respondentes (Gil, 2019).

A coleta de dados foi realizada por meio de questionário estruturado, aplicado a 89 produtores rurais de Itapetininga (SP) e municípios do entorno, conforme destacado em Tabela 1 e Figura 1. O instrumento foi organizado em duas seções: (i) perfil socioeconômico e (ii) comportamento de consumo e percepção quanto ao uso de tecnologias digitais e do *e-commerce*. As variáveis analisadas incluíram características dos produtores, uso de tecnologias digitais, comportamento de consumo e percepção sobre o comércio eletrônico, além de fatores relacionados à preferência por canais tradicionais, como a consultoria técnica.

Tabela 1 – Número e participação dos respondentes por município da propriedade rural

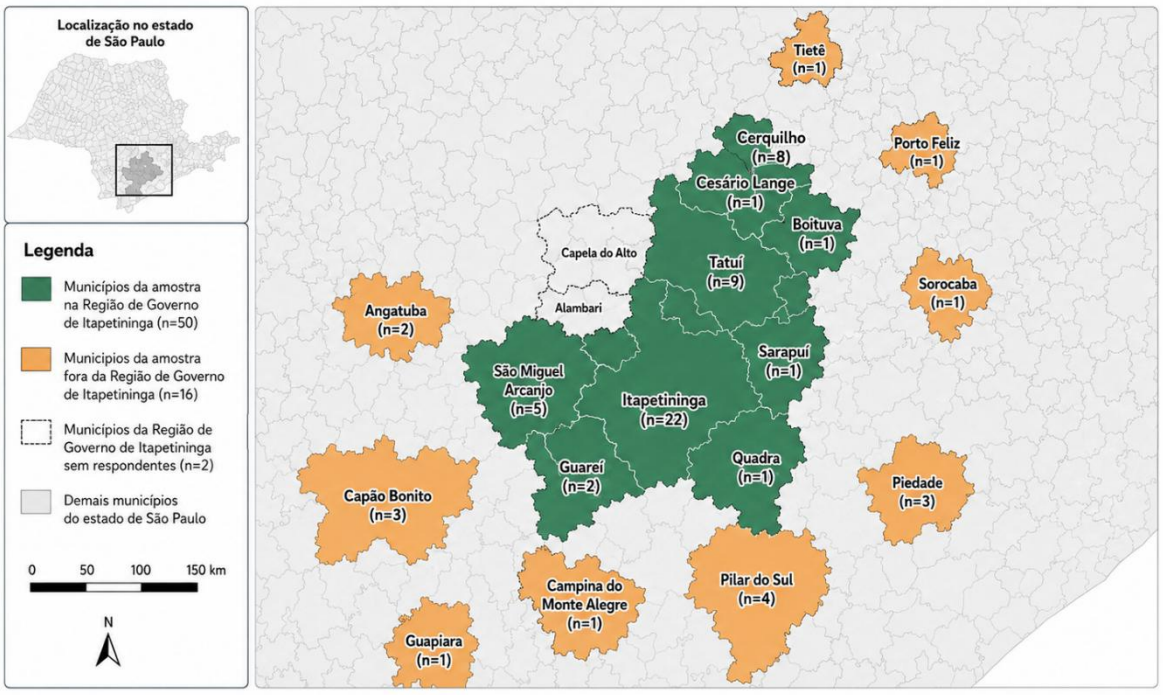
MUNICÍPIOS	N	%
Itapetininga/SP	22	24,7
Angatuba/SP	2	2,2
Boituva/SP	1	1,1
Campina do Monte Alegre/SP	1	1,1
Capão Bonito/SP	3	3,4
Cerquilho/SP	8	9,0
Cesário Lange/SP	1	1,1
Guapiara/SP	1	1,1
Guareí/SP	2	2,2
Quadra/SP	1	1,1
Piedade/SP	3	3,4
Pilar do Sul/SP	4	4,5
Porto Feliz/SP	1	1,1
São Miguel Arcanjo/SP	5	5,6
Sarapuí/SP	1	1,1
Sorocaba/SP	1	1,1
Tatuí/SP	9	10,1
Tietê/SP	1	1,1
Outros	22	24,7
	89	**100,0**

Fonte: Elaborada pelos autores.

A amostra é do tipo não probabilística por conveniência, composta por produtores clientes de revendas agrícolas, sendo adequada a estudos de mercado diante de limitações operacionais, embora apresente restrições quanto à generalização dos resultados (Malhotra, 2012). A coleta ocorreu entre 16 de outubro

e 6 de novembro de 2023, por meio da plataforma *Google Forms*, com apoio de consultores técnicos e vendedores na divulgação do questionário.

Figura 1 – Municípios Participantes da Pesquisa



Nota: *A categoria 'Outros' (n=22) não foi discriminada por município na Tabela 1 e, por isso, não foi representada individualmente no mapa.*

Fonte: Elaborada pelos autores, com base nos dados da Tabela 1 e na composição da Região de Governo de Itapetininga informada pela Prefeitura Municipal de Itapetininga. Figura diagramada com apoio de ferramenta de inteligência artificial generativa.

Com base em Gomes (2013), para populações superiores a 50 mil indivíduos, uma amostra de 61 respondentes é considerada adequada, adotando nível de confiança de 95% e erro amostral de 10%. Nesse sentido, os 89 questionários obtidos superam esse parâmetro mínimo, conferindo consistência à análise descritiva proposta, ainda que não permitam inferências estatísticas para toda a população.

Os dados foram analisados por meio de estatística descritiva, com uso de frequências absolutas e relativas, permitindo identificar padrões de comportamento e percepção. A análise considerou, de forma integrada, aspectos tecnológicos e comportamentais, com variáveis mensuradas por escalas ordinais do tipo *Likert*.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção apresenta os principais fundamentos teóricos que sustentam a análise do *e-commerce* no mercado de insumos agrícolas. Inicialmente, aborda-se a transformação digital no agronegócio, seguida pelas características desse mercado e

seus canais de distribuição. Por fim, discute-se o avanço do comércio eletrônico no setor, com foco na relação entre uso de tecnologias digitais e decisões de compra.

3.1. TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NO AGRONEGÓCIO

A transformação digital tem promovido mudanças estruturais nos modelos produtivos e nas relações de mercado no agronegócio, redefinindo a forma como os agentes interagem ao longo das cadeias agroindustriais. Esse processo está associado à incorporação de tecnologias como internet das coisas (IoT), big data, inteligência artificial e plataformas digitais, configurando o que a literatura denomina de Agricultura 4.0 (Kotler; Kartajaya; Setiawan, 2017).

No contexto brasileiro, a digitalização ocorre em um ambiente de expansão do acesso à internet, embora ainda marcado por desigualdades estruturais. No meio rural, o acesso à internet ainda apresenta limitações relevantes, tanto em termos de cobertura quanto de qualidade de conexão. Segundo pesquisa do Centro Regional de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação (Cetic.br, 2023), a proporção de usuários de internet em áreas rurais tem crescido de forma consistente, mas permanece inferior à observada em áreas urbanas, refletindo desigualdades de infraestrutura e acesso tecnológico.

De acordo com relatório elaborado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) em conjunto com o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em 2020, organizado por Bolfe *et.al.* (2020), as limitações estruturais influenciam o ritmo de adoção das tecnologias digitais no agronegócio. Embora a conectividade no campo tenha avançado, sua incorporação ocorre de forma desigual, sendo mais intensa entre produtores com maior acesso a recursos, enquanto pequenos e médios agricultores ainda enfrentam restrições de infraestrutura e capacitação. Ainda assim, a digitalização amplia a capacidade de coleta e análise de dados, contribuindo para ganhos de eficiência produtiva e melhor tomada de decisão

A literatura aponta que a transformação digital no agronegócio deve ser compreendida como uma reconfiguração gradual das formas de interação entre os agentes, em que a adoção de tecnologias digitais tende a ocorrer de forma complementar, coexistindo com canais tradicionais de relacionamento e tomada de decisão. Em contextos de maior incerteza, os mecanismos de confiança e suporte

técnico permanecem centrais na tomada de decisão, limitando a substituição plena das relações presenciais por interfaces digitais (Mattedi, 2018; Chaffey, 2015).

Essa interpretação encontra respaldo na abordagem estratégica de Porter (2001), segundo a qual a incorporação de tecnologias digitais redefine, mas não elimina, as fontes de vantagem competitiva, uma vez que o valor continua sendo gerado a partir da capacidade das organizações de articular recursos, informações e relacionamentos.

Mesmo em ambientes com maior acesso tecnológico, a digitalização não se traduz automaticamente em mudanças nos padrões de comportamento econômico. Pesquisa da *McKinsey & Company* (Goedde *et al.*, 2020) indica que 85% dos produtores rurais brasileiros utilizam aplicativos de comunicação no cotidiano da atividade agrícola, enquanto 70% recorrem a ferramentas digitais na gestão da propriedade. Além disso, uma parcela significativa utiliza canais digitais ao longo da jornada de compra de insumos, sem necessariamente concluir a transação em ambientes online.

Esse padrão evidencia que a digitalização no agronegócio ocorre de forma parcial, concentrando-se na busca de informações, comparação de preços e comunicação, enquanto a efetivação das compras permanece associada a canais tradicionais, como a compra presencial (Bolfe *et al.*, 2020; Goedde *et al.*, 2020).Tal dinâmica diferencia o setor de outros segmentos mais avançados no comércio eletrônico. Conforme Kotler, Kartajaya e Setiawan (2017), ao contrário do varejo tradicional, no qual o *e-commerce* tende a substituir progressivamente o canal físico, no agronegócio predominam modelos híbridos, nos quais interações digitais e presenciais coexistem ao longo da jornada de compra.

Segundo Mattedi (2018), a literatura sobre transformação digital concentra-se em inovações focadas na produção agrícola, como agricultura de precisão e gestão de dados, mas ainda são escassas as análises sobre seus impactos nos canais de comercialização de insumos, lacuna relevante em mercados de alta complexidade técnica e risco.

Dessa forma, a transformação digital no agronegócio deve ser compreendida como um processo não linear e condicionado por fatores estruturais e comportamentais, no qual a adoção de tecnologias digitais convive com a permanência de práticas tradicionais. No contexto específico da comercialização de insumos agrícolas, essa dinâmica sugere que o avanço do *e-commerce* não depende

apenas da disponibilidade tecnológica, mas também da capacidade de integrar soluções digitais a mecanismos de confiança e suporte técnico, conforme será explorado nas seções seguintes.

3.2. MERCADO DE INSUMOS AGRÍCOLAS E CANAIS DE DISTRIBUIÇÃO

Conforme Neves, Zylbersztajn e Caleman (2015), o mercado de insumos agrícolas constitui um dos pilares do agronegócio, sendo responsável pelo fornecimento de produtos essenciais à produção, como fertilizantes, defensivos químicos, sementes e tecnologias associadas. No Brasil, esse segmento apresenta elevada relevância econômica, acompanhando o crescimento da produção agrícola e o aumento da produtividade no campo.

Conforme o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada Esalq-USP, em parceria com a Confederação de Agricultura e Pecuária do Brasil (CEPEA/CNA, 2023), o PIB do agronegócio brasileiro foi de R$ 2,58 trilhões em 2023, sendo 1,86 trilhão no ramo agrícola e 721 bilhões no ramo pecuário (a preços do quarto trimestre de 2023). Considerando esses resultados, a participação do setor na economia foi de 23,8% em 2023, com uma queda em relação a 25,2%, registrado em 2022. De qualquer forma, é cerca de um quarto do PIB brasileiro, o que mostra uma importância significativa para a economia nacional (CEPEA/CNA, 2023).

O setor do agronegócio está inserido no Sistema Agroindustrial (SAG), no qual diferentes agentes se articulam de forma interdependente, desde os fornecedores de insumos até os consumidores finais. Conforme destacado por Batalha (2021), o SAG é caracterizado por fluxos coordenados de produtos, informações e serviços, nos quais a eficiência depende da integração entre os elos da cadeia. Nesse sentido, a distribuição de insumos agrícolas desempenha papel estratégico, funcionando como elo intermediário entre a indústria e o produtor rural.

No Brasil, a comercialização de insumos ocorre predominantemente por meio de revendas agrícolas, que atuam como intermediárias entre fabricantes e produtores. Essas empresas não apenas distribuem produtos, mas também agregam serviços, especialmente por meio da atuação de consultores técnicos, geralmente engenheiros agrônomos, responsáveis por orientar o produtor na escolha e no manejo dos insumos (Neves; Zylbersztajn, 2000). Esse modelo caracteriza-se como uma forma de venda consultiva, na qual o valor não está restrito ao produto, mas também ao conhecimento

técnico associado, o que é muito valorizado pelos produtores rurais quando são confrontados com a complexidade da tomada de decisões.

De acordo com Mattedi (2018), essa configuração reflete a própria natureza do processo decisório no agronegócio. Diferentemente de outros mercados, a aquisição de insumos agrícolas envolve elevado grau de incerteza, uma vez que os resultados dependem de variáveis como clima, solo, pragas e manejo. Dessa forma, a decisão de compra está diretamente associada à redução de risco, o que aumenta a importância da consultoria técnica para o produtor.

Estudos indicam que o comportamento do gestor rural é fortemente influenciado por fatores como confiança, experiência prévia e acesso a informações técnicas, o que diferencia esse mercado de outros setores do varejo tradicional (Mattedi, 2018). Além disso, conforme Neves; Zylbersztajn; Caleman (2015), as relações no agronegócio tendem a ser mais estáveis e baseadas em vínculos de longo prazo, reforçando a importância dos canais presenciais e do capital relacional.

Apesar da crescente digitalização no setor, a distribuição de insumos permanece ancorada em canais tradicionais. Embora mais de 80% dos produtores utilizem tecnologias digitais, seu uso concentra-se na busca de informações e na gestão da propriedade, com menor impacto na realização de transações comerciais (Bolfe *et al.*, 2020). Nesse contexto, o ambiente digital atua principalmente como suporte à decisão, enquanto a finalização das compras permanece associada à validação técnica e ao relacionamento com o fornecedor, uma vez que a sofisticação dos insumos e a necessidade de recomendações personalizadas limitam a padronização das decisões em ambientes digitais (Mattedi, 2018).

Nessa perspectiva, a digitalização dos canais no agronegócio depende da integração entre tecnologia e serviço, especialmente na consultoria técnica e na geração de confiança, aspecto central no modelo B2B2C, no qual a intermediação agrega valor ao produto (Chaffey, 2015). Assim, a presença de intermediários especializados, a complexidade técnica dos insumos e a centralidade do relacionamento interpessoal fazem com que a adoção de novos modelos ocorra de forma gradual e complementar, e não como substituição dos canais tradicionais.

3.3. *E-COMMERCE* NO AGRONEGÓCIO E O MODELO B2B2C

Segundo Chaffey (2015), o *e-commerce* pode ser compreendido como um conjunto de transações comerciais realizadas por meio de plataformas digitais, envolvendo compra e venda de produtos e serviços. Para Carvalho (2015), no contexto do agronegócio, esse método apresenta especificidades, uma vez que envolve produtos de maior sofisticação técnica e processos decisórios mais estruturados.

O avanço das tecnologias digitais tem impulsionado o desenvolvimento do comércio eletrônico em diversos setores da economia, promovendo mudanças significativas nos canais de comercialização e na relação entre empresas e consumidores (Chaffey, 2015; Kotler; Kartajaya; Setiawan, 2017). No entanto, no agronegócio, especialmente no mercado de insumos agrícolas, a adoção do *e-commerce* apresenta características intrínsecas, marcadas por um processo mais gradual e seletivo (Mattedi, 2018).

No contexto geral, o *e-commerce* tem se consolidado como um canal relevante de comercialização, com destaque para os modelos B2B (*business-to-business*) e B2C (*business-to-consumer*) (Laudon; Traver, 2021). No agronegócio, observa-se também a presença do modelo B2B2C (*business-to-business-to-consumer*), no qual empresas fornecedoras operam em conjunto com intermediários, como revendas agrícolas que, por sua vez, realizam a comercialização junto ao produtor rural. Esse modelo reflete a estrutura tradicional da cadeia de insumos, caracterizada pela intermediação técnica e comercial (Batalha, 2021; Neves; Zylbersztajn; Caleman, 2015).

Entretanto, embora a digitalização avance no setor, a migração das transações para ambientes digitais não ocorre na mesma velocidade observada em outros mercados. Dados do levantamento conduzido por Bolfe *et al.* (2020) revelam que 84,1% dos produtores rurais brasileiros utilizam pelo menos uma tecnologia digital em suas atividades, sendo que 70,4% utilizam a internet para atividades gerais da produção e 67,5% recorrem às redes sociais como fonte de informação. No entanto, quando se observa o uso dessas tecnologias para fins comerciais, percebe-se que apenas 40,5% dos produtores utilizam ferramentas digitais para compra e venda de insumos, evidenciando que o ambiente digital é amplamente utilizado como suporte informacional, mas não necessariamente como canal principal de transação.

No caso específico do mercado de insumos agrícolas, a adoção do *e-commerce* ainda se mostra limitada, mesmo diante do avanço das tecnologias digitais. Estudos aplicados ao contexto brasileiro indicam que, embora haja interesse no uso de plataformas digitais, a efetivação das compras ainda enfrenta barreiras relacionadas à confiança, à complexidade técnica dos produtos e à necessidade de interação com especialistas (Arguilar; Wagner; Ferreira, 2020).

Esse padrão é corroborado por estudo de *McKinsey & Company* (Goedde *et al.*, 2020) segundo o qual a maioria dos produtores rurais incorpora ferramentas digitais ao longo da jornada de compra, especialmente para busca de informações e comparação de preços, mas ainda prefere concluir as transações por meio de canais tradicionais, como revendas físicas ou interação direta com consultores técnicos.

A explicação para esse comportamento está relacionada às características estruturais do mercado de insumos agrícolas. Diferentemente de produtos padronizados, os insumos exigem avaliação técnica detalhada, considerando variáveis como tipo de solo, clima, cultura e manejo. Nesse contexto, a decisão de compra envolve elevado grau de incerteza e risco agronômico, o que aumenta a importância da consultoria técnica e da validação das escolhas por profissionais especializados (Mattedi, 2018; Neves; Zylbersztajn; Caleman, 2015).

Além disso, o levantamento de Bolfe *et al.* (2020) evidencia que a adoção de tecnologias digitais ainda enfrenta barreiras relevantes, como o alto custo de investimento (67,1%), a falta de conectividade (61%) e a escassez de mão de obra qualificada, fatores que limitam a expansão do uso dessas soluções no campo. Tais restrições reforçam que a digitalização no agronegócio não depende apenas da disponibilidade tecnológica, mas também de condições estruturais e organizacionais.

Nesse cenário, o modelo B2B2C assume papel central na compreensão da dinâmica de comercialização. As revendas agrícolas, ao atuarem como intermediárias, não apenas distribuem produtos, mas agregam valor por meio da oferta de serviços, especialmente a consultoria técnica. Esse elemento é fundamental para reduzir a assimetria de informação e o risco associado à tomada de decisão, fortalecendo a relação de confiança entre produtor e fornecedor (Batalha, 2021; Porter, 2001).

Além disso, de acordo com a ABMRA (2021), o comportamento do produtor rural apresenta características próprias, fortemente influenciadas por fatores relacionais e pela busca por segurança nas decisões. Levantamentos nacionais

indicam que o produtor valoriza o contato direto com fornecedores e a orientação técnica no processo de compra, o que limita a substituição dos canais tradicionais por soluções exclusivamente digitais.

Dessa forma, o *e-commerce* no agronegócio deve ser compreendido como parte de um processo de reconfiguração dos canais de comercialização, condicionado por fatores técnicos, comportamentais e estruturais. Seu avanço no mercado de insumos agrícolas está condicionado à capacidade de integrar soluções digitais com serviços de consultoria técnica, mantendo o papel estratégico dos intermediários.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os resultados da pesquisa de campo, buscando analisar o comportamento e a percepção dos produtores rurais quanto ao uso de tecnologias digitais e à adoção do *e-commerce* na compra de insumos agrícolas.

4.1 PERFIL SOCIODEMOGRÁFICO DA AMOSTRA

A primeira pergunta do questionário foi sobre o tamanho da propriedade rural do entrevistado. A distribuição do tamanho das propriedades foi obtida a partir de faixas pré-definidas (de 1 a mais de 500 alqueires). Os resultados mostram que 40,4% são propriedades de 1 a 15 alqueires, 20,2% estão na faixa de 16 a 50 alqueires, 7,5% possuem de 51 a 100 alqueires, 13,5% tem tamanho de 101 a 300 alqueires, 6% tem mais de 500 alqueires e 12,5% dos entrevistados preferiu por não responder o tamanho da propriedade. Esse perfil indica a predominância de pequenos e médios produtores, característica que influencia o processo de decisão, geralmente mais centralizado e dependente de orientação técnica.

A faixa etária dos produtores rurais foi mensurada em categorias (menos de 20 anos até 70 anos ou mais). Observa-se que cerca de 46% dos respondentes têm até 39 anos, com maior concentração nas faixas de 20 a 29 (21,3%) e 30 a 39 anos (22,5%). Cerca de 2,3% tem menos de 20 anos, enquanto os entrevistados de 40 a 49 anos representam 18%, de 50 a 59 anos são 16,9%, de 60 a 69 anos são 18% da amostra, e apenas 1% respondeu estar acima dos 70 anos. Por se tratarem de empresas antigas e tradicionais na região, a grande incidência de jovens na gestão indica um processo de sucessão familiar, com filhos e netos dos fundadores

assumindo o comando dos negócios. Tal fato também sugere maior familiaridade com tecnologias digitais que não eram utilizadas com a mesma frequência pelas gerações anteriores da família rural, como o uso de smartphones para comunicação e compras.

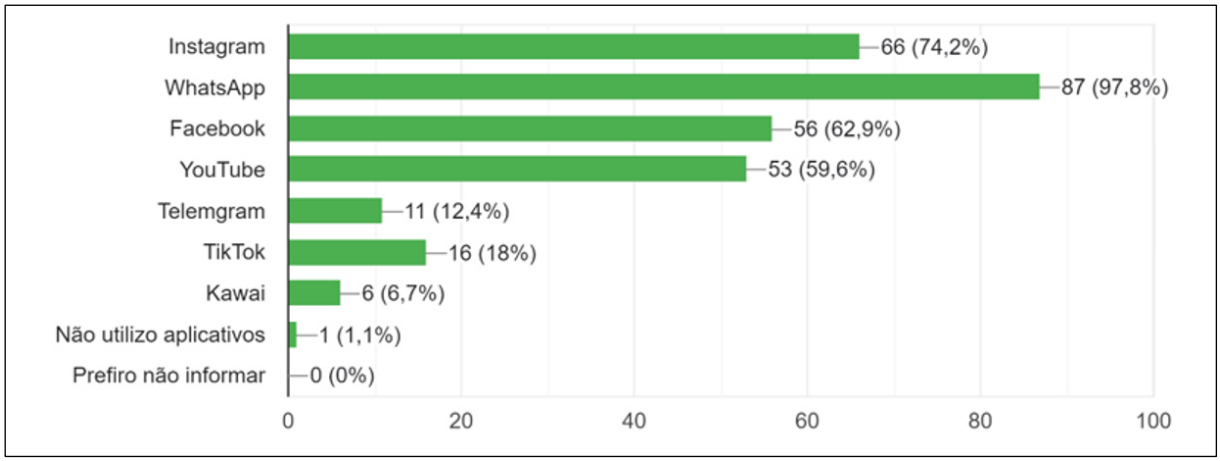
Ao comparar esse resultado com dados de abrangência nacional, observa-se certa convergência no perfil etário. Segundo a ABMRA (2021), a idade média do produtor rural brasileiro é de 46,4 anos, o que indica que a amostra analisada apresenta características compatíveis com o cenário nacional nesse aspecto.

A escolaridade foi avaliada em níveis que variam do ensino fundamental incompleto à pós-graduação. Apenas 11,2% dos entrevistados não possuem ensino médio ou técnico completo. Em contrapartida, observa-se alta concentração nos níveis mais elevados: 48,3% possuem ensino superior completo, 15,7% estão cursando ensino superior e 16,9% possuem pós-graduação. Os resultados mostram que o grau de escolaridade da amostra é bem maior em comparação à população brasileira em geral e, certamente, muito superior à predominância do 3º grau em gerações anteriores e outras regiões do país, neste ramo de negócios.

Dados da ABMRA (2021) corroboram essa afirmação: apenas 10% dos produtores rurais brasileiros possuem ensino superior completo. Esse diferencial pode influenciar diretamente a forma como os produtores avaliam e utilizam canais digitais, especialmente em decisões que envolvem maior sofisticação técnica, embora não implique, necessariamente, maior adoção de canais digitais de compra.

O uso de redes sociais e aplicativos de comunicação é amplamente disseminado entre os produtores rurais, conforme pode ser observado no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Redes sociais ou aplicativos de mensagens usados pelos entrevistados

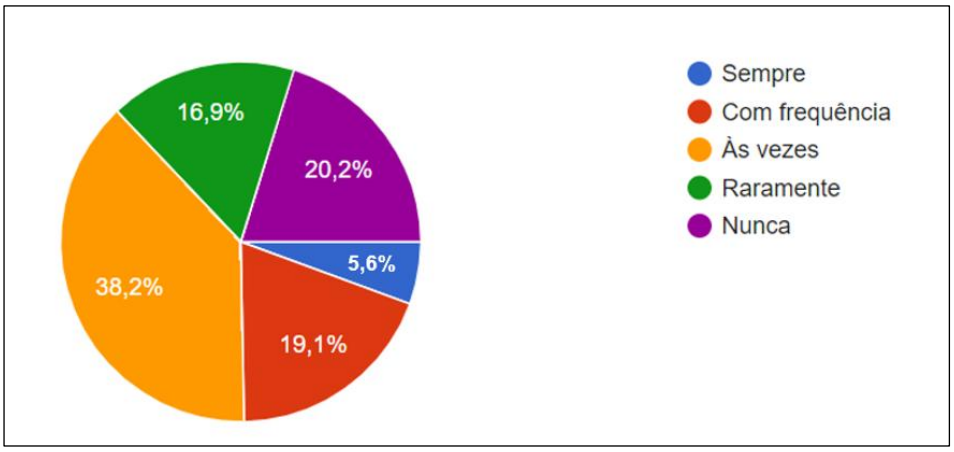


Fonte: Pesquisa de campo.

Nota-se que o uso do WhatsApp é praticamente universal, enquanto o Instagram é utilizado por cerca de três quartos da amostra. Apenas um entrevistado declarou não utilizar aplicativos. Esses resultados indicam alto nível de conectividade, sugerindo que o acesso às tecnologias digitais não é, por si só, uma barreira relevante.

No entanto, apesar disso, a frequência de compras em plataformas digitais ainda é limitada, de acordo com o Gráfico 2.

Gráfico 2 – Frequência de compra de produtos e/ou serviços pela internet



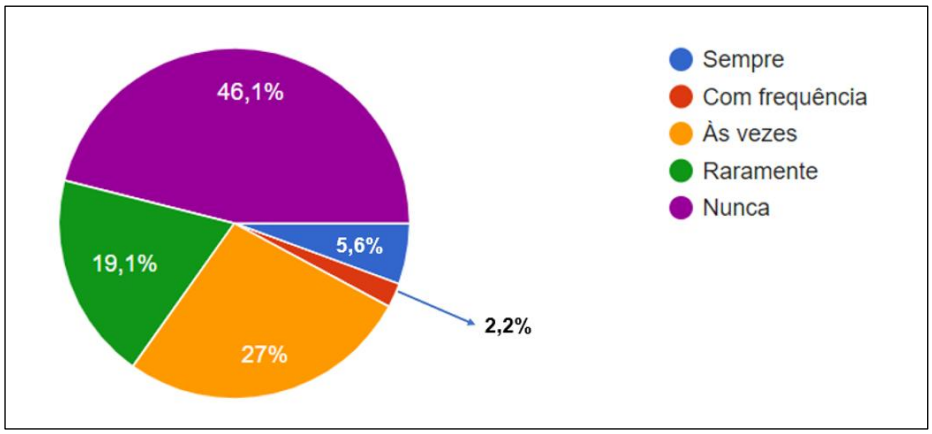
Fonte: Pesquisa de campo.

Apenas 24,7% dos entrevistados realizam compras regularmente via internet, enquanto 37,1% raramente ou nunca utilizam esse canal. Esse resultado demonstra que o uso de tecnologias digitais não se traduz automaticamente em adoção do *e-commerce*, evidenciando uma dissociação entre acesso e comportamento de compra.

4.2 PERFIL DE CONSUMO DE INSUMOS AGRÍCOLAS

Na segunda parte do questionário, as perguntas focam no comportamento de consumo dos produtores rurais em relação ao uso de tecnologias digitais e à compra de insumos agrícolas. O gráfico 3 apresenta em que medida o entrevistado considera seguro comprar insumos agrícolas pela internet.

Gráfico 3 – Considera seguro comprar insumos agrícolas pela internet



Fonte: Pesquisa de campo.

Observa-se que 65,2% dos respondentes não consideram seguro comprar insumos agrícolas por canais digitais, enquanto apenas 7,8% se sentem seguros nessa situação. Esse resultado evidencia que a percepção de risco é um fator determinante na adoção do *e-commerce* nesse mercado.

Os modelos de negócios das lojas físicas de distribuição varejista de insumos agrícolas da região pesquisada são, atualmente, 100% de compra presencial. Essa situação pode mudar no futuro próximo, pois a pressão tecnológica para que isso ocorra é muito acelerada. Em outras áreas, como no comércio varejista de eletrodomésticos e eletrônicos, é cada vez mais realidade.

Por outro lado, o uso da internet, por meio de computadores ou smartphones, para se informar, resolver assuntos da empresa ou como ferramenta de apoio à atividade agrícola é amplamente difundido. Os resultados indicam que 75,3% dos produtores utilizam a internet “sempre” ou “com frequência” enquanto apenas 6,7% declararam não utilizar esse recurso. Esses dados evidenciam que o uso de tecnologias digitais já está amplamente incorporado à rotina produtiva.

Esse resultado encontra respaldo em dados nacionais, uma vez que, de acordo com a ABMRA (2021), cerca de 75% dos produtores rurais utilizam a internet. Ainda assim, conforme observado na pesquisa, o acesso à informação não implica, necessariamente, a adoção plena de canais digitais para a realização de compras.

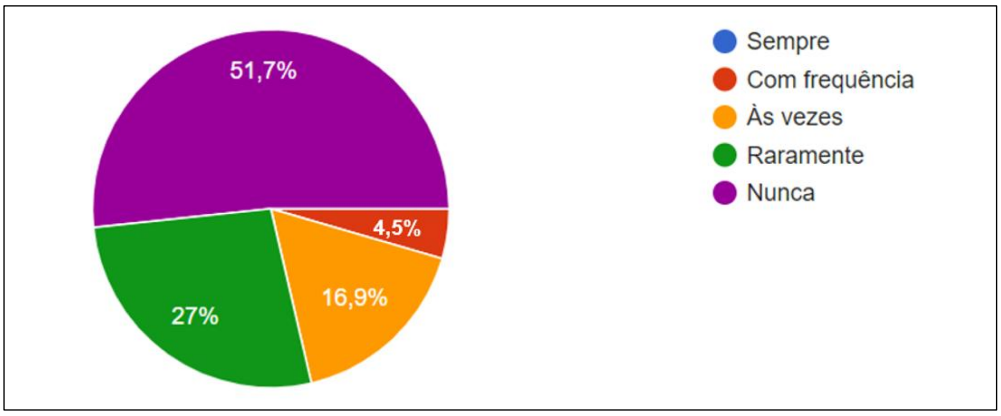
Além disso, verifica-se que uma parcela significativa dos entrevistados acessa plataformas digitais para obter informações sobre insumos agrícolas. Enquanto 46,1% utilizam “sempre” ou “com frequência” esse recurso, 28,1% utilizam “raramente” ou “nunca”. De qualquer forma, 71,9% dos empresários rurais aderem a novas

tecnologias para facilitar seu dia a dia no campo, para consultar sites e aplicativos sobre clima, cotação de *commodities*, bulas de defensivos químicos, preços de equipamentos e os próprios insumos.

Esse resultado reforça que o ambiente digital é amplamente utilizado para busca de informações, ainda que não necessariamente para a realização de compras. Esse comportamento confirma a dissociação entre uso de tecnologias digitais e realização de transações comerciais, conforme evidenciado no referencial teórico por Bolfe *et al.* (2020) e estudos da *McKinsey & Company* (Goedde *et al.,* 2020).

O Gráfico 4 mostra dados sobre a compra online de insumos agrícolas.

Gráfico 4 – Uso da internet para comprar insumos agrícolas



Fonte: Pesquisa de campo.

A elevada rejeição de 78,7% à compra de insumos via *e-commerce* confirma a baixa adesão a esse canal. Esse resultado está diretamente associado à percepção de insegurança e à falta de familiaridade com esse tipo de transação.

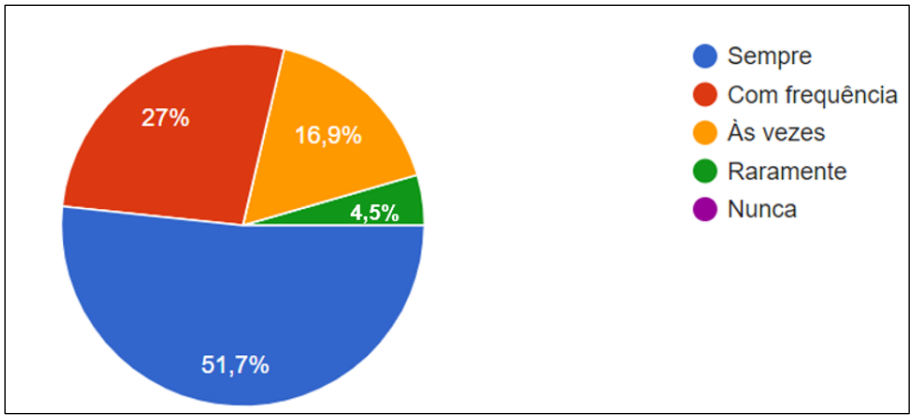
Quando questionados sobre a percepção de agilidade no processo de compra via *e-commerce*, 22,5% dos produtores responderam “sempre” ou “com frequência” para a afirmação de que a internet torna o processo de compra mais ágil. No outro extremo, 39,4% assinalaram as opções “raramente” ou “nunca”, indicando que os benefícios operacionais do comércio eletrônico ainda não são amplamente reconhecidos no contexto da compra de insumos agrícolas.

Ao avaliar se a compra via canais digitais é mais vantajosa do que a realizada em loja física, especialmente considerando que o produtor já conhece os produtos, tem-se que dois terços da amostra respondeu de forma negativa (“raramente” ou “nunca”), indicando que o *e-commerce* não é percebido como superior ao modelo

tradicional. Esse resultado sugere que fatores como confiança e suporte técnico têm maior peso na decisão do que possíveis vantagens econômicas.

Percebe-se que, por mais que sejam jovens e estejam dispostos a usar as novas tecnologias, os produtores rurais preferem se dirigir à revenda de insumos agrícolas para efetuarem suas compras em 66,3% dos casos. O Gráfico 5 confirma essa preferência.

Gráfico 5 – Prefere se dirigir à loja física para efetuar compras de insumos agrícolas



Fonte: Pesquisa de campo.

Observa-se que 78,7% dos produtores ainda preferem realizar suas compras presencialmente, evidenciando a importância do contato direto e da relação com o fornecedor.

No que se refere à percepção sobre a dificuldade de obtenção de informações técnicas pela internet, os resultados mostram percepções divididas: 29,3% concordaram ser difícil obter informações online, enquanto, 32,6% sentem-se confortáveis com o ambiente virtual. Esse resultado evidencia que, embora existam recursos informacionais disponíveis, seu acesso e utilização ainda dependem do nível de familiaridade e experiência do usuário com ferramentas digitais.

Quanto à preferência pela presença do consultor para auxiliar as compras na revenda (loja física), 82% dos entrevistados é favorável. A escolha deve-se a um fator determinante na hora de comprar insumos agrícolas: é comum que as revendas disponibilizem consultores técnicos (geralmente agrônomos), para auxiliar nas decisões técnicas. A alta adesão a esse serviço oferecido pela loja física mostra que, na visão do produtor rural, o consultor é indispensável na tomada de decisões mais assertivas nas compras de insumos agrícolas, valorizando muito esse serviço que, normalmente, não está disponível nas compras online.

A pesquisa também mostrou que, para 83,1% dos entrevistados, o consultor de negócios é essencial para orientar a escolha de melhores produtos para manejar a lavoura, reduzindo riscos e contribuindo para compras mais eficientes. Esse comportamento pode ser parcialmente explicado pela forte influência da tradição na atividade rural. Segundo a ABMRA (2021), 80% dos produtores afirmam ter ingressado na atividade por herança familiar, o que contribui para a valorização de relações consolidadas e pode reforçar a preferência por canais tradicionais de comercialização.

Outro aspecto abordado foi a confiança na opinião técnica do consultor: 61,8% dos entrevistados acatam as orientações fornecidas pelo consultor no momento da compra, estando convencidos de que esses profissionais possuem o conhecimento requerido para tal. Somente 6,7% não confia e/ou acata as sugestões. Tal aceitação deve-se ao fato de que os consultores técnicos geralmente são agrônomos e, portanto, capacitados para tomar decisões sobre as lavouras. Com a presença desse profissional, o produtor rural fica mais respaldado em sua tomada de decisões.

Por fim, quando questionados sobre o quanto estariam dispostos a pagar para obter uma consultoria especializada na loja, somente 19,1% dos produtores rurais não estão dispostos a desembolsar um valor adicional. Quanto aos que estão dispostos a pagar, seguem as porcentagens (sobre o valor da compra): 23,6% pagariam 1% de adicional; 12,4% pagariam 1,5%; 21,3% cederiam 2%; 4,5% contribuiriam com 2,5%; e 19,1% estariam dispostos a bancar 3% do valor da compra para ter os conselhos de um consultor.

Em resumo, observa-se que a maioria dos produtores está disposta a pagar um valor adicional por serviços de consultoria técnica, evidenciando a valorização do suporte especializado.

De modo geral, os resultados da pesquisa de campo indicam que, embora o acesso às tecnologias digitais seja elevado, a decisão de compra de insumos agrícolas permanece fortemente influenciada por fatores relacionais e técnicos. A importância atribuída ao consultor de negócios, aliada à percepção de risco associada ao *e-commerce*, explica a predominância dos canais tradicionais na comercialização, mesmo diante do avanço das tecnologias digitais.

Os resultados obtidos neste estudo são consistentes com evidências apresentadas na literatura nacional. Pesquisas anteriores já indicavam que, no mercado brasileiro de insumos agrícolas, a adoção do comércio eletrônico é

condicionada por fatores como confiança, suporte técnico e percepção de risco (Arguilar; Wagner; Ferreira, 2020; ABMRA, 2021). Nesse sentido, os dados da região analisada reforçam a compreensão de que a digitalização no agronegócio ocorre de forma gradual e complementar.

Além disso, embora existam variações de preços no mercado de insumos agrícolas, decorrentes de fornecedores, marcas e condições de concorrência, e mesmo considerando que canais digitais possam oferecer vantagens como menor custo ou maior variedade, os resultados indicam que esses fatores não são suficientes para alterar o comportamento de compra dos produtores. Para a amostra analisada, a desconfiança em relação ao *e-commerce*, combinada com a valorização da consultoria técnica, reforça a preferência predominante pelas compras realizadas em lojas físicas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste artigo foi analisar a adoção do *e-commerce* na compra de insumos agrícolas, a partir da percepção de produtores rurais da região de Itapetininga (SP). Os resultados da pesquisa de campo indicam que, embora o acesso às tecnologias digitais esteja amplamente difundido, esse avanço não se reflete, na mesma intensidade, na utilização de canais digitais para a realização das compras.

Em concordância com Bolfe *et al.* (2020) e Goedde *et al.* (2020), observa-se que o ambiente digital é utilizado predominantemente como suporte informacional, para consulta, comparação e comunicação, sendo ainda pouco explorado como canal efetivo de compra. Na amostra analisada, apenas uma parcela reduzida dos produtores realiza compras frequentes via *e-commerce*, enquanto a maioria demonstra resistência, sobretudo em função da percepção de risco.

Os resultados também evidenciam a centralidade dos fatores técnicos e relacionais no processo decisório. A valorização do consultor de negócios e a confiança atribuída a esse profissional reforçam que a aquisição de insumos envolve mais do que uma transação comercial, configurando um processo complexo, dependente de conhecimento técnico e interação interpessoal (Neves; Zylbersztajn; Caleman, 2015; Mattedi, 2018).

Nesse contexto, a adoção de tecnologias digitais no agronegócio ocorre de forma gradual e complementar, sem substituir os canais tradicionais (Chaffey, 2015).

Conforme Porter (2001), novas tecnologias tendem a reforçar, e não eliminar, as bases da vantagem competitiva. Observa-se, portanto, a consolidação de um modelo híbrido, no qual os canais digitais ampliam o acesso à informação, enquanto a decisão final permanece associada à validação técnica e à confiança no fornecedor.

Do ponto de vista prático, estratégias exclusivamente online mostram-se limitadas, sendo mais eficaz a integração entre plataformas digitais e serviços de consultoria técnica, com o consultor mantendo papel central na geração de valor.

Por fim, ressalta-se que a pesquisa se restringe a uma amostra regional, o que limita a generalização dos resultados. Ainda assim, as evidências contribuem para a compreensão da adoção do *e-commerce* no agronegócio e indicam caminhos para futuras pesquisas, especialmente no aprofundamento de fatores comportamentais e estruturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABMRA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MARKETING RURAL E AGRONEGÓCIO. **8ª Pesquisa ABMRA hábitos do produtor rural brasileiro**. São Paulo: ABMRA, 2021. Disponível em: https://abmra.org.br/pesquisa-abmra-habitos-do-produtor-rural-abmra/. Acesso em: 04 abr. 2026.

ARGUILAR, Daniel Antonio; WAGNER, Adriano; FERREIRA, Juliana Duarte. **Análise do consumo de insumos agrícolas via *e-commerce* no mercado brasileiro**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Anais [...]. Foz do Iguaçu: ENEGEP, 2020.

BATALHA, Mário Otávio (Coord.) **Gestão agroindustrial:** volume único. Alexandre Borges Santos [*et al.*] 4. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

BOLFE, Edson Luis *et al.* (org.). **Agricultura digital no Brasil:** tendências, desafios e oportunidades. Campinas: Embrapa, Sebrae, INPE, 2020. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1127064/agricultura-digital-no-brasil-tendencias-desafios-e-oportunidades-resultados-de-pesquisa-online. Acesso em: 04 abr. 2026.

CARVALHO, Clesiane de Oliveira. **O *e-commerce* como instrumento de comercialização para os produtos da agricultura familiar brasileira:** o caso do Programa Rede Brasil Rural. 2015. Tese (Doutorado em Administração) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

CETIC.br. – CENTRO REGIONAL DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO DA SOCIEDADE DA INFORMAÇÃO **TIC Domicílios 2022:** pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação nos domicílios brasileiros. São Paulo: NIC.br, 2023. Disponível em:

https://cetic.br/media/docs/publicacoes/2/20241104102822/tic_domicilios_2023_livro_eletronico.pdf. Acesso em: 04 abr. 2026.

CEPEA/CNA – CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA ESALQ-USP E DA CONFEDERAÇÃO DE AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. **Sumário Executivo** – PIB do Agronegócio 4º Trimestre de 2023. Disponível em: https://www.cepea.org.br/upload/kceditor/files/C%C3%B3pia%20de%20PIB%20do%20Agroneg%C3%B3cio_Sum%C3%A1rio%20Executivo%20(1).pdf. Acesso em: 04 abr. 2026.

CHAFFEY, Dave. **Digital business and *e-commerce* management**. 6. ed. Harlow: Pearson, 2015.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GOEDDE, Lutz *et al.* **O futuro conectado da agricultura:** como a tecnologia pode gerar novo crescimento. McKinsey & Company. 9 de outubro de 2020. Disponível em: https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/agricultures-connected-future-how-technology-can-yield-new-growth#/. Acesso em: 04 abr. 2026.

GOMES, Isabela Motta. **Como elaborar uma pesquisa de mercado**. Isabela Motta Gomes (org.), Viviane Soares da Costa, Any Myuki Wakabayashi, Renata Duarte Foscarini, Adriana Athouguia Sabioni, Cláudio Afrânio Rosa. - Belo Horizonte: SEBRAE MINAS, 2013. XX p.: il. (Manuais Como Elaborar)

KOTLER, Philip; KARTAJAYA, Hermawan; SETIAWAN, Iwan. **Marketing 4.0:** do tradicional ao digital. Rio de Janeiro: Sextante, 2017.

LAUDON, Kenneth C.; TRAVER, Carol Guercio. ***E-commerce*:** business, technology, society. 16. ed. New York: Pearson, 2021.

MALHOTRA, Naresh K. **Pesquisa de marketing:** uma orientação aplicada. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

MATTEDI, Sérgio Luís. **Desafios do *e-commerce* no agronegócio brasileiro**. 2018. Dissertação (Mestrado em Agronegócio) – Fundação Getulio Vargas, São Paulo, 2018.

NEVES, Marcos Fava; ZYLBERSZTAJN, Décio. **Economia e gestão dos negócios agroalimentares**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2000.

NEVES, Marcos Fava; ZYLBERSZTAJN, Decio; CALEMAN, Sergio De Zen. **Gestão de sistemas agroindustriais**. São Paulo: Atlas, 2015.

PORTER, Michael E. Strategy and the Internet. **Harvard Business Review**, Boston, v. 79, n. 3, p. 62–78, 2001.

INVESTIMENTOS EM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA) E DESIGUALDADE: REFLEXÕES SOBRE A AMÉRICA LATINA
INVESTMENTS IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) AND INEQUALITY: REFLECTIONS ON LATIN AMERICA

Gustavo Bonin Gava[1]
José Rafael Pilan[2]
Natália Thomazelli Ferreira[3]

RESUMO: Este artigo analisa os investimentos em Inteligência Artificial (IA) na América Latina e suas implicações para a desigualdade regional, considerando a assimetria entre países centrais e periféricos. A pesquisa adota abordagem qualitativa e quantitativa, de caráter exploratório e descritivo, fundamentada em revisão bibliográfica. Os resultados indicam que, enquanto Estados Unidos e China concentram investimentos em setores de alta tecnológica, a América Latina ainda apresenta baixo volume de aportes, com predomínio de aplicações em áreas tradicionais, como finanças e comércio eletrônico. Essa configuração reforça a dependência tecnológica e limita a capacidade da região em gerar inovações próprias de caráter disruptivo. Entre os principais desafios estão a falta de infraestrutura digital, a escassez de talentos especializados e a fragmentação de políticas públicas. Conclui-se que superar tais barreiras exige estratégias coordenadas de soberania tecnológica, investimentos em educação e ciência, além da criação de ambientes regulatórios e institucionais que incentivem inovação sustentável.
Palavras-chave: Inovação regional; Soberania digital; Transformação digital.

ABSTRACT: This article analyzes investments in Artificial Intelligence (AI) in Latin America and their implications for regional inequality, considering the asymmetry between central and peripheral countries. The research adopts a qualitative and quantitative approach, with an exploratory and descriptive nature, based on a literature review. The results indicate that, while the United States and China concentrate investments in high-technology sectors, Latin America still shows a low volume of funding, with a predominance of applications in traditional areas such as finance and e-commerce. This configuration reinforces technological dependence and limits the region's capacity to generate its own disruptive innovations. Among the main challenges are the lack of digital infrastructure, the shortage of specialized talent, and the fragmentation of public policies. The study concludes that overcoming these barriers requires coordinated strategies to strengthen technological sovereignty, increase investment in education and science, and create regulatory and institutional environments that encourage sustainable innovation.
Keywords: Regional innovation; Digital sovereignty; Digital transformation.

1 INTRODUÇÃO

A Inteligência Artificial (IA) consolidou-se, nas últimas décadas, como um eixo estratégico para a transformação econômica e social, figurando no centro de políticas públicas, investimentos privados e iniciativas de inovação em escala global (Sengar

Professor Doutor – Faculdade de Tecnologia de Rio Claro. E-mail: gustavo.gava@cps.sp.gov.br[1]
Professor Doutor – Faculdade de Tecnologia de Botucatu. E-mail: jose.pilan@cps.sp.gov.br[2]
Discente do Curso Superior de Tecnologia em Inteligência Artificial – Fatec Rio Claro. E-mail: natalia.ferreira2@aluno.cps.sp.gov.br[3]

et al., 2025). Seu potencial de reconfigurar processos produtivos, ampliar a eficiência e gerar novos modelos de negócio é reconhecido por organismos multilaterais como a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE, 2022) e a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO, 2023), que ressaltam sua capacidade de impactar setores diversos e de contribuir para as metas do desenvolvimento sustentável (VINUESA *et al*., 2020).

No contexto latino-americano, a expansão da IA ocorre de forma heterogênea e enfrenta desafios estruturais, como a desigualdade de acesso a dados de qualidade, a limitação de infraestrutura tecnológica e a fragmentação das estratégias nacionais (Filgueiras, 2023). Apesar disso, a região apresenta ecossistemas de inovação com potencial significativo, especialmente em países que já possuem políticas nacionais de IA, como Brasil, Chile, Colômbia e Uruguai (SCROLLINI; CERVANTES; MARISCAL, 2021).

Entretanto, estudos recentes evidenciam que, enquanto em países como Estados Unidos e China, o capital de risco em IA concentra-se em setores de alta intensidade tecnológica, na América Latina os investimentos de grandes corporações tendem a priorizar segmentos tradicionais, como serviços financeiros e comércio eletrônico. Essa assimetria reforça padrões históricos da relação centro-periferia, limitando a autonomia tecnológica regional e a capacidade de gerar inovações disruptivas próprias (PRATES; CHIARINI, 2024).

Diante deste cenário, compreender as dinâmicas de investimento em IA na América Latina é essencial para delinear estratégias que ampliem a capacidade inovadora, fortaleçam a soberania digital e assegurem que os benefícios dessa revolução digital sejam distribuídos de forma equitativa entre os países e setores econômicos da região. Assim, o presente artigo tem como objetivo analisar o panorama atual dos investimentos em IA na América Latina, identificando padrões, setores prioritários e desafios, de modo a subsidiar a formulação de políticas públicas e iniciativas capazes de promover um desenvolvimento tecnológico inclusivo e sustentável no contexto regional.

2 METODOLOGIA

O artigo adota uma abordagem qualitativa e quantitativa, de natureza exploratória e descritiva. Conforme Minayo (2014), a pesquisa qualitativa é adequada

à compreensão de fenômenos complexos e contextuais, como os investimentos em IA, pois permite interpretar dimensões econômicas, sociais, políticas e tecnológicas que não podem ser plenamente captadas apenas por dados numéricos. Ademais, Gil (2019) destaca que estudos exploratórios e descritivos possibilitam mapear características de fenômenos pouco investigados e identificar tendências sem partir de hipóteses rigidamente estabelecidas, o que se mostra apropriado para o caso latino-americano, em que as evidências ainda são segmentadas.

Operacionalmente, a pesquisa foi estruturada por meio de uma revisão bibliográfica e análise de dados secundários. Para a fundamentação teórica, foram consultadas as bases de dados SciELO, Google Scholar e repositórios de organismos internacionais, como a Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL), o Banco Mundial e a OCDE. A coleta de dados quantitativos sobre investimentos foi extraída de relatórios setoriais e estudos econométricos.

A busca bibliográfica utilizou os descritores: “Inteligência Artificial”, “América Latina”, “Investimentos em Inteligência Artificial” e “Desigualdade Digital”. Foram incluídos artigos, livros e relatórios publicados majoritariamente entre 2019 e 2025, de modo a captar o impacto do lançamento de modelos de IA generativa e as políticas públicas mais recentes da região.

Os dados quantitativos referentes aos investimentos em IA foram submetidos ao tratamento estatístico descritivo, com a elaboração de gráficos e tabelas para comparação regional e de análise de conteúdo, buscando interpretar os desafios de infraestrutura e as barreiras culturais que influenciam a soberania tecnológica regional.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA)

A IA possui múltiplas definições, refletindo tanto a evolução histórica do campo quanto a diversidade de enfoques disciplinares. Sua trajetória histórica remonta a mais de meio século, ainda que a ideia de conceber máquinas capazes de pensar e tomar decisões de forma semelhante aos seres humanos já estivesse presente em reflexões filosóficas, especulações literárias e narrativas de ficção no decorrer do tempo. O marco inicial de sua institucionalização acadêmica ocorreu com os trabalhos de John

McCarthy, que se voltou para o estudo dos computadores em 1948, após sua participação no seminário Mecanismos Cerebrais no Comportamental[1] (CATALANO, 2025).

A consolidação conceitual da área ocorreu na década de 1950, inicialmente com Alan Turing (1950), que propôs a IA como a ciência voltada à criação de sistemas capazes de simular o raciocínio humano, e, posteriormente, com McCarthy (1956), que a definiu como o esforço para que máquinas manifestem comportamentos inteligentes análogos aos humanos.

Posteriormente, Kurzweil (1990) definiu a IA como a arte de criar máquinas capazes de desempenhar funções que, quando realizadas por pessoas, exigiriam inteligência. Por outro lado, Schalkoff (1990) trouxe uma abordagem mais acadêmica e metodológica ao defini-la como um campo de estudo dedicado à explicação e à emulação da conduta inteligente com base em processos computacionais. Sua contribuição evidencia a IA não apenas como tecnologia aplicada, mas como disciplina científica voltada à compreensão do próprio conceito de inteligência.

No campo das capacidades cognitivas, Kaplan (2016) destacou que a essência da IA reside em fazer generalizações oportunas a partir de dados limitados, apontando para a capacidade de abstração e inferência, considerada central para distinguir sistemas realmente inteligentes de meros processadores de informação. Essa linha foi aprofundada por Russel; Norvig (2013), que a caracterizam como um sistema computacional capaz de executar ações que seriam consideradas inteligentes se praticadas por pessoas. Sua contribuição, presente em uma das obras mais influentes sobre o tema, articula tanto a perspectiva técnica quanto a filosófica, consolidando a IA como disciplina que busca soluções racionais e orientadas a objetivos.

Mais recentemente, Taulli (2019) descreveu a IA como a capacidade de computadores aprenderem com a experiência, geralmente por meio de sofisticados algoritmos que permitem extrair padrões de grandes volumes de dados.

Em um esforço de padronização normativa, a OCDE (2022) definiu a IA como um sistema computacional que pode, para um conjunto de objetivos definidos por humanos, realizar previsões, emitir recomendações ou tomar decisões que

[1] Realizado em 1948, foi organizado pelo neurofisiologista Karl Lashley e reuniu alguns dos maiores pensadores da época em torno da questão da relação entre cérebro, comportamento e cálculo. O evento é considerado um marco precursor da IA, pois promoveu o diálogo entre diferentes áreas como neurociência, matemática, engenharia elétrica e filosofia da mente, acerca da possibilidade de as máquinas virem a simular processos cognitivos humanos (TAULLI, 2019).

influenciam ambientes reais ou virtuais. Essa formulação institucionaliza o conceito, reconhecendo não apenas sua dimensão técnica, mas também suas implicações éticas, sociais e regulatórias. Em uma acepção mais ampla e abstrata, a IA também pode ser descrita como a capacidade de sistemas computacionais ou algoritmos de imitar aspectos do comportamento humano inteligente, englobando tarefas como raciocínio, aprendizado e adaptação (BRASIL, 2025).

3.2 AS CATEGORIAS DA IA

Russel; Norvig (2013) distinguem quatro categorias da IA. A primeira refere-se aos sistemas que raciocinam como humanos, voltados à automação de atividades como tomada de decisão, resolução de problemas e aprendizagem, sendo as redes neurais artificiais um bom exemplo. A segunda corresponde aos sistemas que atuam como humanos, capazes de executar tarefas de modo análogo ao comportamento humano, como ocorre no caso da robótica. A terceira categoria diz respeito aos sistemas que pensam racionalmente, os quais buscam emular o raciocínio lógico, permitindo que a máquina perceba, raciocine e atue de forma consequente, como exemplificado pelos sistemas especialistas. Por fim, os sistemas que atuam racionalmente são concebidos para imitar racionalmente o comportamento humano, destacando-se os agentes inteligentes.

Em consonância com o exposto anteriormente, Taulli (2019) faz referência aos trabalhos de Searle (1987), conhecido por seu ceticismo em relação à ideia de singularidade tecnológica e aos testes que buscariam validar a inteligência das máquinas. Para Searle (1987), a IA pode ser distinguida de duas formas, desde que determinadas condições sejam respeitadas: I. a Inteligência Artificial Forte, também denominada Inteligência Artificial Geral (IAG), ocorre quando uma máquina é capaz de compreender de fato o que está acontecendo e manifestar inteligência em um amplo conjunto de tarefas. Nesse nível, seria possível até mesmo aparentar emoções e criatividade. Taulli (2019) explica que esse tipo de inteligência possui características análogas à inteligência humana, isto é, capacidade de aprender, raciocinar, compreender, utilizar o senso comum e reconhecer relações de causalidade; e II. a Inteligência Artificial Fraca, também conhecida como Inteligência Artificial Estreita, corresponde à forma predominante de IA existente na atualidade. Ela se manifesta quando as máquinas são capazes de resolver tarefas muito específicas e delimitadas,

como identificar padrões ou atuar em contextos restritos. Exemplos clássicos incluem programas que jogam xadrez e/ou damas, bem como sistemas de reconhecimento facial. Nesses casos, a manifestação de um comportamento inteligente ocorre em um domínio altamente especializado, o que caracteriza a IA como “fraca”.

Diversas aplicações cotidianas se inserem nessa categoria, como os sistemas de reconhecimento de voz que permitem formular perguntas e receber respostas em linguagem natural, a exemplo da Siri (Apple), Alexa (Amazon), dentre outros exemplos. Um marco histórico nessa trajetória foi o desenvolvimento do programa Eliza, criado em 1965 por Weizenbaum (1966), considerado o primeiro *chatbot* capaz de manter interações textuais, respondendo perguntas do usuário e fornecendo sugestões.

Atualmente, a IA encontra-se aplicada em uma ampla gama de campos, que vão desde áreas de caráter geral, como o aprendizado de máquina (*machine learning*) e a percepção computacional, até funções específicas, tais como o reconhecimento de voz, o diagnóstico médico e a geração de conteúdo artístico, entre diversos outros setores. Entre suas aplicações mais recorrentes no cotidiano, destacam-se os assistentes virtuais, os sistemas de condução autônoma, os filtros de conteúdo digital, os algoritmos de recomendação, a detecção de fraudes, a manutenção preditiva e a otimização de processos logísticos. Essas funcionalidades somente se tornaram viáveis devido à confluência de fatores tecnológicos decisivos, com ênfase na disponibilidade massiva de dados (*big data*), na redução progressiva dos custos de armazenamento e processamento, bem como no aprimoramento contínuo do *hardware* computacional (JIANG *et al.*, 2022).

Entre as diferentes modalidades de aprendizado de máquina, o aprendizado profundo (*deep learning*) merece especial destaque pela sua capacidade de identificar padrões de elevada complexidade, desempenhando papel central no desenvolvimento de áreas como a visão computacional, o Processamento de Linguagem Natural (PLN, em inglês *Large Language Models* – LLMs) e os sistemas de recomendação (Trindade; Oliveira, 2024). O crescimento acelerado e intensivo do *deep learning* contribuiu para a ampla difusão dos chamados *softwares* de Inteligência Artificial Generativa, aqui denominados IA generativa. Conforme observa Ramos (2023), ainda que o conceito de IA generativa não seja recente nem restrito aos modelos de linguagem, sua popularização esteve fortemente associada à

disponibilização pública dessa tecnologia, marco consolidado pelo lançamento do ChatGPT pela OpenAI em novembro de 2022.

Ainda no tocante a IA generativa, Evangelista (2025) discorre que:

> Já o ChatGPT e outros grandes modelos de linguagem, fazem uma simulação de uso consciente da linguagem pela replicação de 253 padrões de comunicação incorporados. Ainda que tecnicamente não sejam uma IA Forte, os LLMs terminam por causar essa impressão, um efeito que, por um lado, amedronta em suas possíveis consequências, mas, ao mesmo tempo, fascina a imaginação e desperta investimentos. A IA Fraca, que parece Forte, imita tão bem os resultados produzidos pelo cérebro consciente humano que com ele se confunde e desperta cobiça esperançosa (EVANGELISTA, 2025, p. 252-253).

Nesse contexto, a corrida tecnológica por modelos mais precisos tem impulsionado uma expansão da IA, caracterizada pela criação de redes neurais progressivamente maiores e mais complexas, sustentadas por um volume expressivo de investimentos econômicos.

3.3 IA E SOBERANIA DIGITAL

A soberania digital pode ser compreendida como a capacidade de sociedades e Estados exercerem controle e governança sobre infraestruturas digitais essenciais, assegurando sua autodeterminação no cenário contemporâneo. Silveira; Xiong (2025) definem esse conceito como a articulação entre independência tecnológica e autonomia política, destacando quatro dimensões fundamentais para sua mensuração: dados, infraestrutura digital, governança digital e capacidade digital. Essa perspectiva permite avaliar em que medida um país depende de atores externos ou se mantém capaz de preservar seus próprios interesses estratégicos. Nas palavras dos autores:

De maneira complementar, Hawkins; Lehdonvirta; Wu (2025), ampliam a discussão ao inserir a soberania digital no debate geopolítico contemporâneo. Nesse cenário, o controle sobre os recursos computacionais especializados necessários para o treinamento de modelos de IA passou a ser tratado como um ativo estratégico pelos governos. Essa discussão introduz o conceito de soberania computacional, que expressa a preocupação crescente com o acesso e a capacidade de controlar infraestruturas críticas de processamento, elementos que influenciam diretamente a autonomia dos países na economia digital. Dessa maneira, a soberania digital não pode ser compreendida apenas como regulação doméstica, mas como componente

fundamental da autonomia estratégica, envolvendo a capacidade dos Estados de participar das cadeias globais de tecnologia, de desenvolver infraestrutura própria e fortalecer competências nacionais em pesquisa e inovação.

A atual polarização entre Estados Unidos e China manifesta-se particularmente no campo tecnológico, envolvendo tanto o desenvolvimento de semicondutores de alta potência quanto a engenharia de software e a disputa por mercados globais. Essa rivalidade não se limita à competição por consumidores de bens e dispositivos eletrônicos equipados com softwares avançados, mas também se estende à busca por fornecedores estratégicos de matérias-primas essenciais à fabricação de micro e nanoprocessadores. A concentração da manufatura especializada desses componentes em poucos países asiáticos tornou-se ainda mais visível durante a pandemia, quando a crise de abastecimento expôs a vulnerabilidade das cadeias globais de produção. De um lado, consolidou-se a economia plataformizada e orientada por dados das *big techs*; de outro, revelou-se a profunda dependência internacional de regiões específicas para o fornecimento de processadores de última geração (GOMES; SILVA, 2025).

Na América Latina, o debate sobre soberania digital assume contornos específicos, em função de fatores estruturais como a elevada dependência tecnológica em relação a empresas estrangeiras, a fragilidade da infraestrutura digital regional e a concentração de recursos computacionais avançados no Norte Global. Silveira; Xiong (2025) evidenciam que, em países, como o Brasil, a dependência de *data centers*, *softwares* e serviços de nuvem controlados por grandes corporações internacionais gera vulnerabilidades, comprometendo a autonomia política e a capacidade de formular estratégias nacionais de desenvolvimento tecnológico.

Filgueiras (2023) reforça a centralidade da soberania digital no contexto latino-americano, destacando que a região enfrenta limitações estruturais, como a precariedade de dados e de infraestrutura tecnológica, o que acentua a dependência frente às grandes corporações globais e aprofunda o denominado colonialismo de dados. Assim, discutir soberania digital na América Latina implica não apenas avaliar a capacidade dos países de formular legislações regulamentos internos, mas sobretudo considerar o desafio de construir infraestrutura própria, fortalecer competências locais de pesquisa e inovação e reduzir a dependência de plataformas e serviços estrangeiros.

3.4 PANORAMA GERAL DA IA NA AMÉRICA LATINA

Scrollini; Cervantes; Mariscal (2021), discorrem que o panorama regional da América Latina revela um cenário heterogêneo no contexto de formulação e implementação de estratégias nacionais de IA. A Argentina, por exemplo, desenvolveu uma agenda digital e um plano de IA entre 2018-2019, conduzindo um processo participativo com a criação de um comitê nacional, destinado a examinar os dilemas éticos relacionados ao uso de novas tecnologias. No entanto, após a transição de governo, o plano foi reduzido, sem evidências de implementação concreta. Para o caso brasileiro, houve em meados de 2021 a publicação da Estratégia Brasileira de Inteligência Artificial (Brasil, 2021), resultado de um processo participativo com mais de 700 representantes dos setores público, privado, científico, acadêmico e da sociedade civil. Essa estratégia articula eixos verticais: pesquisa, desenvolvimento, inovação, aplicação em setores produtivos, setor público e segurança. E eixos transversais: legislação, ética, governança e inserção internacional.

Outros países apresentam avanços mais fragmentados. A Bolívia não possui uma estratégia formal de IA, mas reúne decretos e documentos com orientações pontuais. O Chile, por sua vez, consolidou em 2021 uma política nacional de IA estruturada em cerca de 70 ações prioritárias e 180 iniciativas a serem executadas até 2030, com foco em pesquisa, desenvolvimento e impacto social. A Colômbia adotou em 2019 uma política nacional para a transformação digital e IA, que, além da IA, contempla outras tecnologias emergentes. Em contrapartida, países como Costa Rica, Equador e Paraguai possuem agendas digitais mais amplas, que incluem a IA como parte de objetivos mais gerais voltados à transformação tecnológica, mas sem estratégias nacionais específicas ou plenamente implementadas (SCROLLINI; CERVANTES; MARISCAL, 2021).

Finalmente, Scrollini; Cervantes; Mariscal (2021) destacam os casos do México, que em 2018 iniciou a formulação de princípios e guias para o uso de IA no setor público, mas interrompeu seus esforços após a mudança de governo, e do Peru, que desde 2021 conta com uma estratégia nacional de IA sob coordenação Secretaria de Governo e Transformação Digital. O Uruguai figura como exemplo de continuidade, com sua estratégia voltada à transformação digital e ao uso responsável das tecnologias emergentes na administração pública.

De modo geral, não existe consenso na América Latina sobre o que constitui uma estratégia nacional de IA. Embora alguns países já integrem planos ou iniciativas em nível local, nacional e até regional, ainda não há uma definição consolidada sobre os elementos essenciais que configuram uma estratégia de IA, tampouco sobre os instrumentos de mensuração de seus resultados. Mais importante do que a simples existência de documentos é a qualidade do processo de formulação, que deve considerar a clareza na definição dos objetivos e ações, a participação de múltiplos atores relevantes e a ampla divulgação das iniciativas. O grau de legitimidade, de confiança pública e de viabilidade de implementação das estratégias depende, em grande medida, da transparência dos procedimentos, da amplitude da participação social e do consenso alcançado em torno das propostas.

3.5 IMPACTO ECONÔMICO DA IA

Segundo Bassetti *et al*. (2020), a IA pode ser caracterizada como uma tecnologia de propósito geral, dada a amplitude de suas aplicações. Essa perspectiva é reforçada por Damioli; Roy; Vertesy (2021) que argumentam que a IA tem potencial para transformar praticamente todos os setores econômicos, gerando ganhos expressivos de produtividade. De maneira semelhante, Hang; Chen (2022) sugerem que a IA pode elevar receitas empresariais ao aumentar a produtividade dos trabalhadores, melhorar a compreensão do comportamento dos consumidores, estabelecer preços mais competitivos e criar recursos e competências de difícil replicação.

Contudo, os efeitos da IA no crescimento econômico não será uniforme em todos os setores ou regiões. Como ressalta Trabelsi (2024), algumas indústrias tendem a experimentar mudanças e expansão mais intensas, enquanto outras podem enfrentar desafios ou barreiras ao longo do processo de adoção. Para além disso, a integração bem-sucedida das tecnologias de IA depende de infraestrutura adequada, disponibilidade de dados e políticas públicas de apoio, fatores que variam substancialmente de país para país.

Quanto à mensuração de seus impactos, observa-se um debate polarizado. Algumas análises apresentam um otimismo marcante, como o relatório do Goldman Sachs (Hatzius *et al*., 2023), que estima um aumento de 7% no Produto Interno Bruto (PIB) global ao longo de uma década, decorrente da elevação da produtividade do

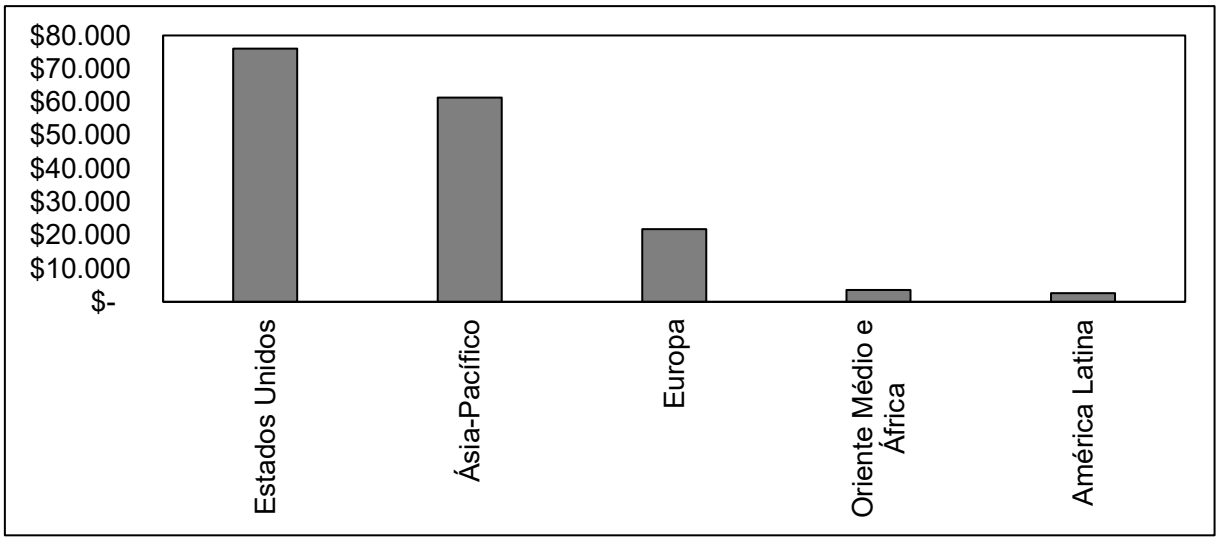
trabalho impulsionada pela IA. Em contraposição, pesquisas mais recentes, como de Acemoglu (2024), expressam ceticismo quanto a previsões de alto impacto macroeconômico. Segundo o autor, as melhorias tenderão a ser modestas, limitadas a economias de custos e ganhos pontuais de produtividade em determinadas tarefas. A partir de um modelo centrado no impacto da IA sobre atividades laborais, Acemoglu (2024) calcula que o efeito agregado sobre a produtividade total dos fatores de produção ao longo de uma década seria da ordem de 0,71%, podendo inclusive ser menor, dependendo das circunstâncias de adoção.

Como ressaltam Jung; Katz (2025), as divergências e nuances identificadas no debate em torno da IA evidenciam a necessidade de aprofundar os estudos empíricos sobre o tema, especialmente no que se refere às suas implicações para a economia e para o mercado de trabalho. Essa ampliação é necessária para compreender com maior envergadura os efeitos diferenciados da tecnologia sobre setores produtivos, ocupações e regiões, fornecendo subsídios para a formulação de estratégias de desenvolvimento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme evidenciado pelo Gráfico 1, a América Latina apresenta níveis de gasto em IA próximos aos registrados no Oriente Médio e na África. No contexto regional, Brasil e México concentram os maiores volumes de gasto em IA, resultado esperado em função de seu peso econômico.

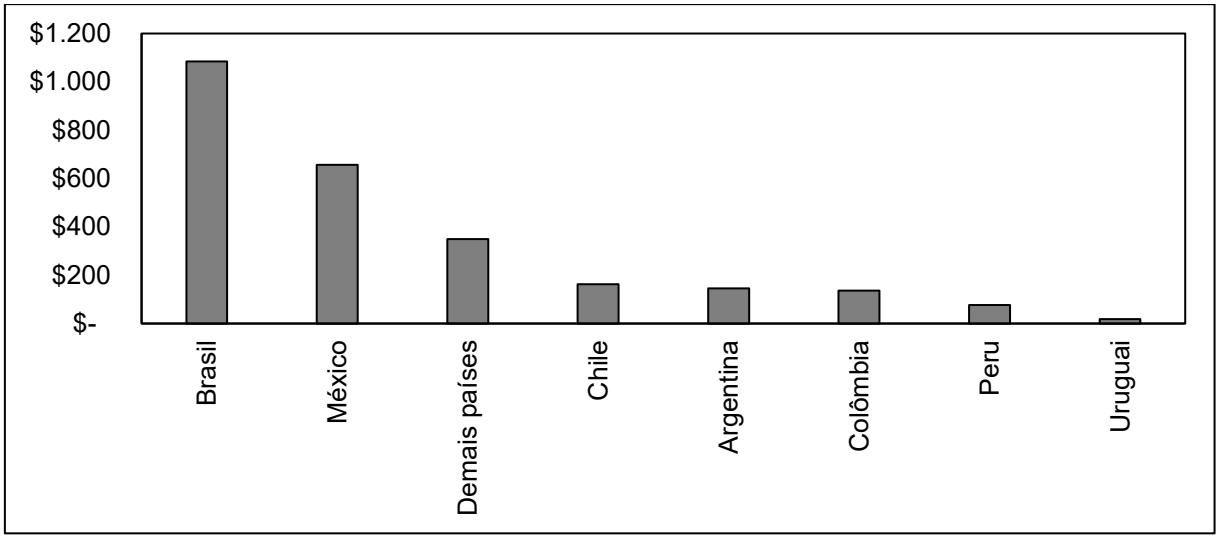
Gráfico 1 – Distribuição do gasto em IA em 2023 (em milhões de dólares)



Fonte: Elaboração própria a partir de Jung; Katz (2025).

Destaca-se o desempenho relativo do Chile, cujo investimento supera o de Argentina e Colômbia, apesar de estes apresentarem populações significativamente maiores (Gráfico 2).

Gráfico 2 – Distribuição do gasto em IA na América Latina (em milhões de dólares)



Fonte: Elaboração própria a partir de Jung; Katz (2025).

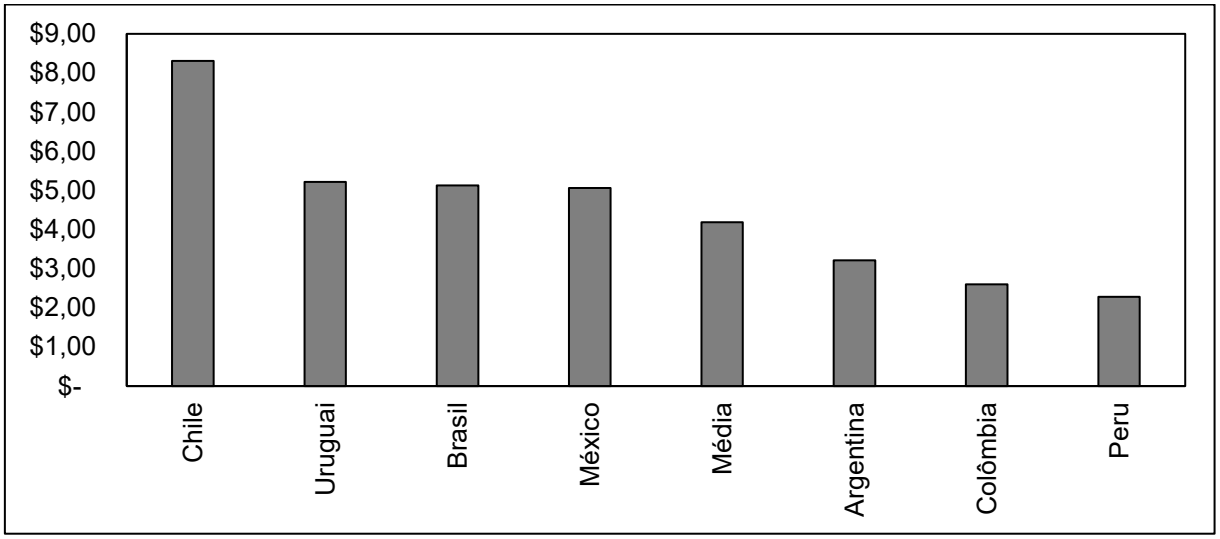
Essa defasagem reforça o risco de aprofundamento da dependência tecnológica e de exclusão competitiva no cenário internacional, demandando estratégias regionais coordenadas para ampliação de investimentos e fortalecimento das capacidades endógenas de inovação (JUNG; KATZ, 2025).

Um dos fatores explicativos dessa baixa intensidade de investimento é a insuficiência de infraestrutura digital na região. Apesar de avanços recentes na conectividade, ainda há extensas áreas rurais e urbanas com acesso limitado a internet de alta velocidade e redes de comunicação modernas. A escassez de centros de dados e plataformas em nuvem restringe a coleta, o armazenamento e o processamento de grandes volumes de informações, componentes indispensáveis ao desenvolvimento da IA. Segundo a CEPAL (2020), em 2019, 66,7% dos habitantes da região possuíam conexão com a Internet. O terço restante apresentava acesso limitado ou inexistente às tecnologias digitais em razão de sua condição econômica e social, especialmente em função da idade e da área de residência. Tal cenário afeta o desenvolvimento da IA, uma vez que a escassez e a segmentação dos dados disponíveis comprometem a qualidade e a representatividade das soluções tecnológicas.

Outro fator é a baixa intensidade de investimento em pesquisa e desenvolvimento (P&D). Enquanto países desenvolvidos destinam entre 2% e 3% do Produto Interno Bruto (PIB) a P&D, a média latino-americana não ultrapassa 0,6% (Banco Mundial, 2025). Essa carência limita a capacidade de desenvolver tecnologias próprias e adaptadas às realidades locais, acentuando a dependência de soluções importadas. Nos gráficos de investimento, essa realidade se traduz na posição periférica da região, cuja participação global em IA é desproporcional ao tamanho de sua economia.

Ao ponderar o gasto em IA pela população e pelo PIB, atenua-se o efeito das diferenças de escala econômica e demográfica, permitindo comparações mais precisas entre países (Gráfico 3).

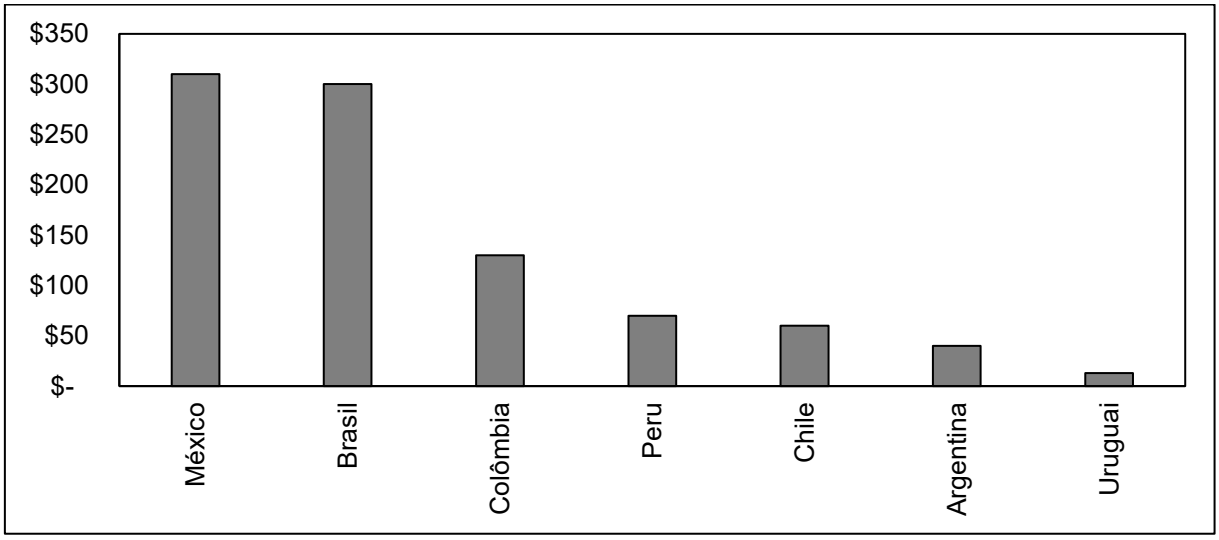
Gráfico 3 – Gasto em IA per capita em 2023 (em dólares)



Fonte: Elaboração própria a partir de Jung; Katz (2025).

No que se refere especificamente à IA generativa, observa-se que o gasto regional é liderado por México, seguido por Brasil e Colômbia (Gráfico 4).

Gráfico 4 – Distribuição do gasto em IA generativa em 2023 (em milhões de dólares)



Fonte: Elaboração própria a partir de Jung; Katz (2025).

Essa distribuição, apresentada por Jung e Katz (2025), confirma tanto a heterogeneidade quanto a concentração dos esforços de investimento em alguns poucos países latino-americanos, refletindo a combinação de fatores estruturais, como dimensão de mercado, capacidade tecnológica e políticas públicas de incentivo. O cenário sugere que, embora a IA generativa esteja em expansão na região, sua consolidação ainda dependerá da ampliação dos investimentos em infraestrutura, formação de talentos e estímulo governamental, a fim de reduzir as assimetrias e fortalecer a soberania digital regional.

Os dados recentes indicam que a adoção da IA na América Latina tem sido guiada por objetivos pragmáticos e imediatos. De acordo com a NTT DATA[2] (2023), 64% das empresas destinam investimentos à busca de eficiência operacional e 62% ao aprimoramento da experiência do cliente, sinalizando que a incorporação da IA está associada sobretudo ao aumento da produtividade e à competitividade de mercado. Entretanto, o processo de implementação também evidencia uma preocupação com a formação e retenção de talentos: 28% das organizações desenvolvem programas internos de capacitação, 27% contratam especialistas externos e 25% optam pela terceirização de serviços, o que demonstra que a qualificação de recursos humanos é um elemento central para viabilizar o uso estratégico da tecnologia. Apesar desses esforços, 12% das empresas apontam os

[2] O relatório da NTT Data (2023) baseia-se em uma pesquisa quantitativa com 120 líderes empresariais de seis países latino-americanos (Argentina, Brasil, Chile, Colômbia, México e Peru), mapeando o nível de maturidade da IA nas organizações da região.

elevados custos de implementação como obstáculo relevante, o que confirma que, além das deficiências de infraestrutura, persistem limitações financeiras que dificultam a consolidação da IA como vetor de transformação regional.

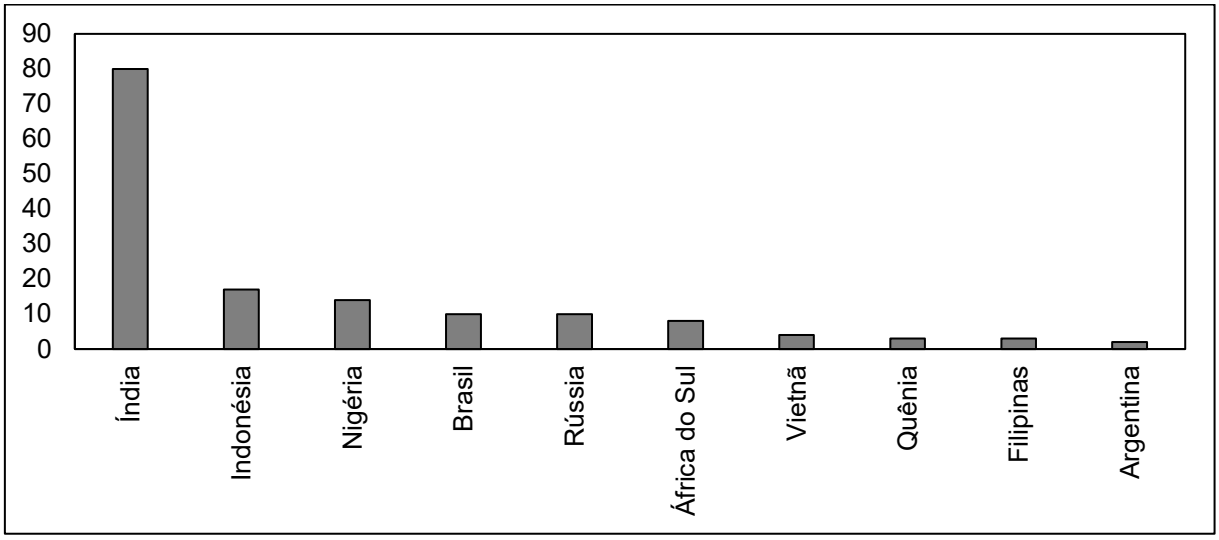
Para além das restrições orçamentárias, é necessário considerar os aspectos culturais e organizacionais que influenciam a adoção tecnológica. Benites *et al*. (2025) observam que muitas empresas latino-americanas ainda encaram a incorporação de novas tecnologias como um processo arriscado e oneroso, optando por manter métodos tradicionais em suas rotinas produtivas. Essa postura conservadora reflete não apenas a aversão ao risco, mas também a ausência de políticas públicas consistentes de estímulo à inovação, o que contribui para a baixa intensidade dos investimentos no setor. Assim, a conjugação entre barreiras financeiras, lacunas de infraestrutura e resistência cultural retarda a construção de um ecossistema mais dinâmico de IA na região, reforçando os desafios para que a América Latina se posicione de forma mais competitiva no cenário global.

Prates; Chiarini (2025) analisaram os denominados *venture arms* (braços de investimento corporativo) das *big techs* estadunidenses e chinesas, listadas no ranking Digital 100 da Fortune, mapeando o número de organizações investidas por essas corporações em diferentes regiões, entre a sua fundação e o ano de 2023[3]. O Gráfico 5 apresenta a distribuição da localização das empresas-alvo de investimentos em países da periferia global, com exceção da China[4].

[3] No conjunto de investimentos realizados em países periféricos, a liderança coube à empresa chinesa Tencent, com 50 empresas apoiadas, seguida pela Microsoft, com 32, e pela Amazon, com 21. Outras *big techs*, como PayPal, Meta, Alibaba, Alphabet e Baidu, aparecem em posições secundárias, com presença menos expressiva. No total, foram identificados 164 investimentos em 21 países periféricos, dos quais 95 foram realizados por companhias estadunidenses e 69 por chinesas (PRATES; CHIARINI, 2025).

[4] Quando a China é incluída como receptora de capital, o número total de investimentos cresce para 784, revelando a enorme concentração de recursos que as próprias empresas chinesas destinam ao seu mercado interno (PRATES; CHIARINI, 2025).

Gráfico 5 – Localização das empresas-alvo na periferia (excluindo China)



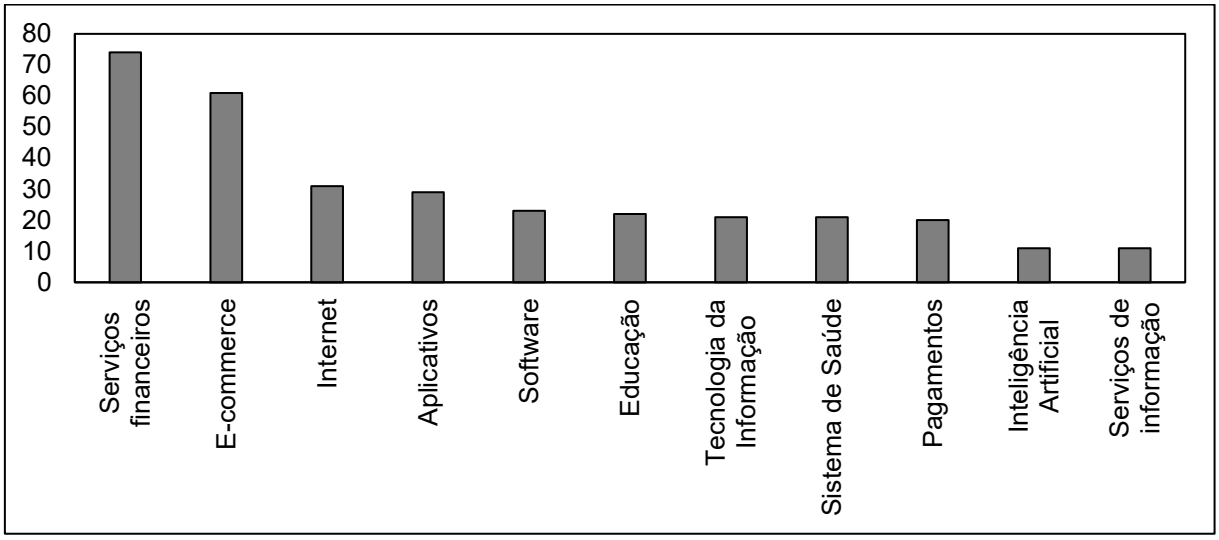
Fonte: Elaboração própria a partir de Prates; Chiarini (2024).

Observa-se que os países como Índia e Indonésia concentram a maioria das empresas-alvo, enquanto a participação de países latino-americanos, como Brasil e Argentina é bastante reduzida. Esse padrão confirma a análise de Prates; Chiarini (2024), segundo a qual os investimentos globais em IA destinam-se prioritariamente a nações com maior massa crítica de mercado e capacidades digitais emergentes.

Tal distribuição reforça a ideia de que a América Latina não apenas investe menos em IA em termos absolutos, como também não se destaca como destino prioritário dos fluxos globais de capital voltados à tecnologia, perpetuando sua condição de dependência e reforçando a concentração de capacidades tecnológicas nos países centrais.

Os setores da periferia que mais recebem aportes financeiros são apresentados no Gráfico 6.

Gráfico 6 – Setores da periferia que recebem aportes financeiros



Fonte: Elaboração própria a partir de Prates; Chiarini (2024).

A análise evidencia que os setores de serviços financeiros, comércio eletrônico concentram a maior parte dos investimentos, seguidos por áreas ligadas à internet e aplicativos. Em contraste, setores estratégicos para o avanço da economia e do progresso técnico, como serviços de informação e IA, permanecem em posição marginal.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho foi demonstrado que a América Latina ocupa uma posição periférica no cenário global da IA, com investimentos ainda modestos com comparação com regiões centrais. Embora países como Brasil, México e Chile liderem regionalmente, o volume de recursos aplicados permanece insuficiente para alinhar a região às tendencias internacionais. Os fatores explicativos incluem a insuficiência de infraestrutura, baixos investimentos em P&D, a resistência cultural ao uso de novas tecnologias e a priorização de setores tradicionais nos fluxos de capital externo.

O estudo possui duas limitações importantes. Em primeiro lugar, a análise baseou-se predominantemente em dados secundários, o que pode restringir a profundidade na compreensão das dinâmicas nacionais e especificidades setoriais. Em segundo lugar, o enfoque quantitativo sobre investimentos não permite captar integralmente processos qualitativos, como iniciativas locais de inovação, práticas empresariais emergentes ou impactos sociais da adoção da IA. Ademais, a

heterogeneidade interna da região, marcada por diferenças econômicas, institucionais e culturais, sugere que os resultados não podem ser generalizados de forma homogênea a todos os países latino-americanos. Pesquisas comparativas entre países, análises de casos específicos de implementação de IA em setores estratégicos e investigações sobre os impactos sociais e trabalhistas da tecnologia são necessárias para aprofundar a compreensão do tema. Somente a partir dessa agenda ampliada será possível delinear estratégias mais precisas para que a região supere sua condição de dependência tecnológica e avance rumo a um modelo de desenvolvimento mais sustentável, inclusivo e soberano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEMOGLU, D. The simple macroeconomics of AI. **Economic Policy**, v. 40, n. 121, p. 13-58, 2024.

BANCO MUNDIAL. **Research and development expenditure (% of GDP)**. World Development Indicators. Washington, DC: World Bank, 2025.

BASSETTI, T. *et al*. **Artificial Intelligence: impact on total factor productivity, e-commerce fintech**. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020.

BENITES, K. B; P. *et al*. Transformación digital de las PYMES en América Latina: barreras, oportunidades y estrategias para la competitividad. **Multidisciplinary Latin American Journal**, v. 3, n. 2, p. 235-255, 2025.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estratégia Brasileira de Inteligência Artificial**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2021.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **IA para o bem de todos: Plano Brasileiro de Inteligência Artificial**. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação; Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2025.

CATALANO, J. V. R. Trajetória da Inteligência Artificial: uma análise panorâmica de 1943 a 2023. In: IASULAITIS, S.; SILVEIRA, S. A. (Org.). **Estudos sociopolíticos da Inteligência Artificial**. Campina Grande: EDUEPB, 2025, p. 175-220.

CEPAL. **Universalizing access to digital technologies to address the consequences of COVID-19**. Special Report COVID-19, n. 7, 2020.

DAMIOLI, G.; ROY, V. V.; VERTESY, D. **The impact of Artificial Intelligence on labor productivity**. Eurasian Business Review, v. 11, p. 1-25, 2021.

EVANGELISTA, R. Por uma etnografia do poder na Inteligência Artificial, no capitalismo de vigilância e no colonialismo digital. In: IASULAITIS, S.; SILVEIRA, S.

A. (Org.). **Estudos sociopolíticos da Inteligência Artificial**. Campina Grande: EDUEPB, 2025, p. 251-274.

FILGUEIRAS, F. Desafíos de gobernanza de inteligencia artificial en América Latina: infraestructura, descolonización y nueva dependencia. **Revista del CLAD Reforma y Democracia**, n. 87, p. 44-56, 2023.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GOMES, E. P. M.; SILVA, R. C. A ciência linguística nas dinâmicas do capitalismo digital: uma análise sociotécnica da linguística no desenvolvimento do projeto cibernético. In: IASULAITIS, S.; SILVEIRA, S. A. (Org.). **Estudos sociopolíticos da Inteligência Artificial**. Campina Grande: EDUEPB, 2025, p. 329-376.

HANG, H.; CHEN, Z. How to realize the full potentials of Artificial Intelligence (AI) in digital economy? A literature review. **Journal of Digital Economy**, v. 1, p. 180-191, 2022.

HATZIUS, J. *et al*. **The potentially large effects of Artificial Intelligence on economic growth**. Goldman Sachs Global Economics Analyst, 27 mar. 2023.

HAWKINS, Z.; LEHDONVIRTA, V.; WU, B. **AI compute sovereignty: infrastructure control across territories, cloud providers, and accelerators**. SSRN, 20 jun. 2025.

JIANG, Y. *et al*. Quo vadis artificial intelligence? **Discov Artif Intell**, v. 2, n. 4, p. 1-12, 2022.

JUNG, J.; KATZ, R. **Impacto económico de la inteligencia artificial en América Latina: transformación tecnológica y rezago en materia de inversión y capacidades laborales**. Documentos de Proyectos (LC/TS.2025/37). CEPAL, 2025.

KAPLAN, J. **Artificial Intelligence: what everyone needs to know**. Oxford: Oxford University Press, 2016.

KURZWEIL, R. **The age of intelligent machines**. Cambridge: MIT Press, 1990.

MCCARTHY, J. **Programs with common sense**. Stanford University, 1959.

MINAYO, M. C. S. **O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde**. 14. ed. São Paulo: Hucitec, 2014.

NTT DATA. **Inteligência Artificial na América Latina 2023: explorando a IA como motor de transformação da fronteira digital na América Latina**. México: NTT DATA; MIT Technology Review, 2023.

OCDE. **Uso estratégico y responsable de la inteligencia artificial en el sector público de América Latina y el Caribe**. Paris: OECD Publishing, 2022.

PRATES, B. P.; CHUARINI, T. Dependência na Era Digital: um ensaio sobre a divisão centro-periferia em Inteligência Artificial. **Liinc em Revista**, v. 20, n. 2, p. e7305, 2024.

RAMOS, A. S. M. **Inteligência Artificial generativa baseada em grandes modelos de linguagem: ferramentas de uso na pesquisa acadêmica**. SciELO Preprints, 2023.

RUSSEL, S.; NORVIG, P. **Inteligência Artificial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

SCHALKOFF, R. **Artificial Intelligence: an engineering approach**. New York: McGraw-Hill, 1990.

SCROLLINI, F; CERVANTES, M. E.; MARISCAL, J. **En busca de rumbo: el estado de las políticas de Inteligencia Artificial en América Latina**. Centro Latam Digital, 2021.

SEARLE, J. Minds and brains without programs. **Mindwaves**, p. 209-233, 1987.

SENGAR, Y. *et al*. Generative artificial intelligence: a systematic review and applications. **Multimed Tools Appl**, v. 84, p. 23661–23700, 2025.

SILVEIRA, S. A. A hipótese do colonialismo de dados e o neoliberalismo. In: SILVEIRA, S. A.; SOUZA, J.; CASSINO, J. F. (Org.). **Colonialismo digital: como opera a fronteira algorítmica na guerra neoliberal**. São Paulo: Autonomia Literária, 2021, p. 33-52.

SILVEIRA, S. A.; XIONG, J. Índice de soberania digital: o caso do Brasil. **Liinc em Revista**, v. 21, n. 1, p. e7451, 2025.

TAULLI, T. **Artificial Intelligence basics: non-technical introduction**. Monrovia, CA: Apress, 2019.

TRINDADE, T. S.; OLIVEIRA, M. Inteligência artificial (IA) generativa e competência em informação: habilidades informacionais necessárias para o uso crítico e ético dessa tecnologia. **Revista Brasileira de Biblioteconomia e Documentação**, v. 20, p. 1-25, 2024.

TURING, A. Computing machinery and intelligence. **Mind**, v. 59, n. 236, p. 433-460, 1950.

UNESCO. **AI and digital transformation: towards inclusive, equitable, and sustainable societies**. Paris: UNESCO, 2023

VINUESA, R. *et al*. The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals. **Nature Communications**, v. 11, n. 233, p. 1-10, 2020.

WEIZENBAUM, J. ELIZA – a computer program for the study of natural language communication between man and machine. **Communications of the ACM**, v. 9, n.1, p. 36-45, 1966.

PERSPECTIVA

COMPARTILHE

Fatec
Itapetininga

Prof. Antonio Belizandro
Barbosa Resende