

**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 Oliveira¹
Ana Beatriz Tutschky Moreto²
Tiago Farias Neves³
Edgar de Souza Dutra⁴
Juliano Neves Panão⁵

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.com¹

Tecnóloga Mecânica: Processos de Soldagem – Faculdade de Tecnologia de Itaquera “Miguel Reale”
E-mail: anabeatrizmoretto.21@gmail.com²

Tecnólogo Mecânico: Processos de Soldagem – Faculdade de Tecnologia de Itaquera “Miguel Reale”
E-mail: tiago4355@gmail.com³

Mestre em Processos Industriais – Faculdade de Tecnologia de São Paulo – FATEC SP
E-mail: edgar.dutra@cps.sp.gov.br⁴

Mestrando em Eng. de Produção - Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá (FEG-Unesp) E-mail: juliano.panao@unesp.br⁵

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% CO₂, 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.

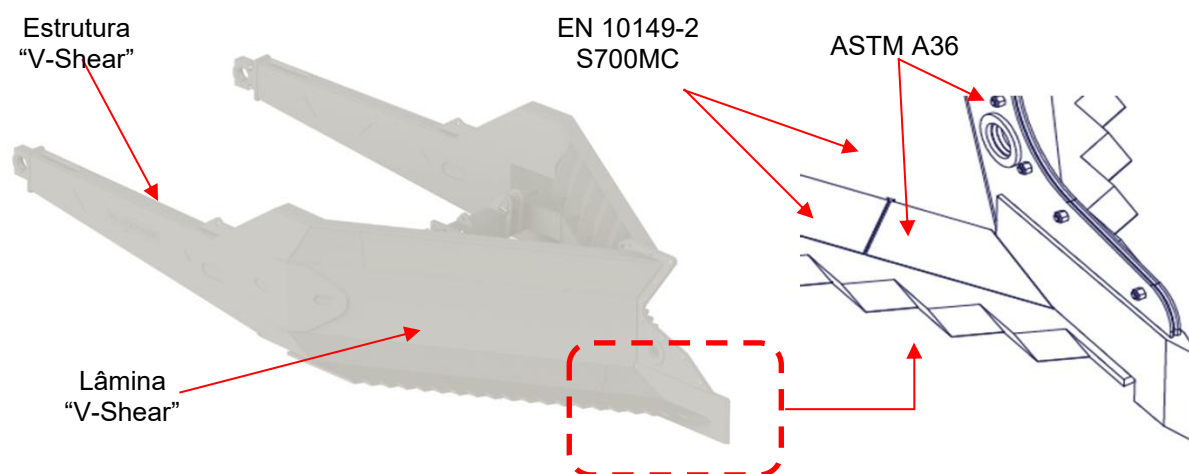
2 METODOLOGIA

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
Límite 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 ($\sim 20^{\circ}\text{C}$) 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% CO₂, 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 CO₂;
- Ar-18 – é a designação da composição, sendo Ar = Argônio; CO₂ – Dióxido de Carbono e 18 = percentual de CO₂ 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

$$\text{Heat Input} \left[\frac{\text{J}}{\text{mm}} \right] = \frac{\text{Corrente (A)} \times \text{Tensão (V)} \times 60}{\text{velocidade de soldagem [in./min (min/min)]}} \quad (1)$$

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-10iA/L. A Figura 02 apresenta o modelo do cobot utilizado durante o processo.

Figura 02: Sistema de Soldagem Robotizado



Fonte: Autores (2025).

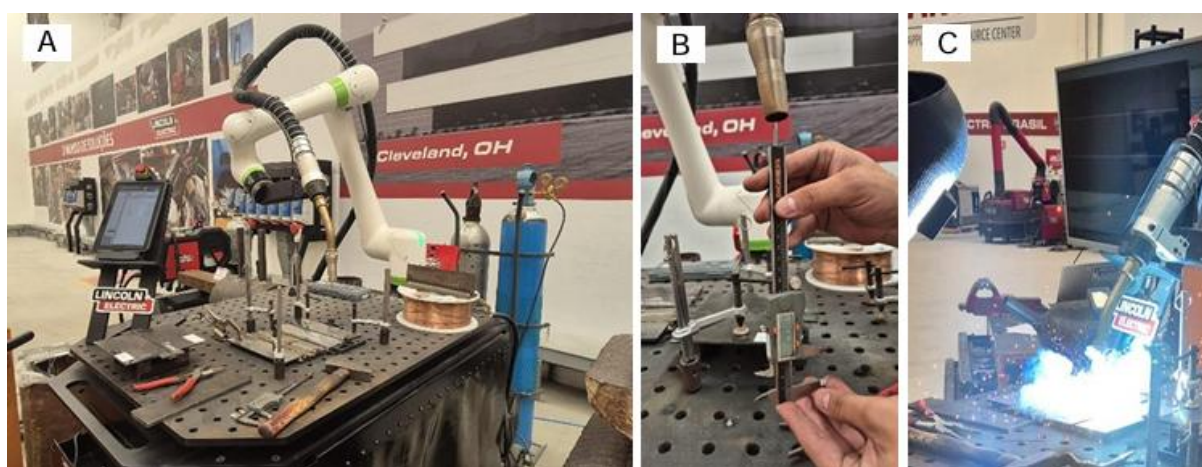
2.2.3 Soldagem Robotizada

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.



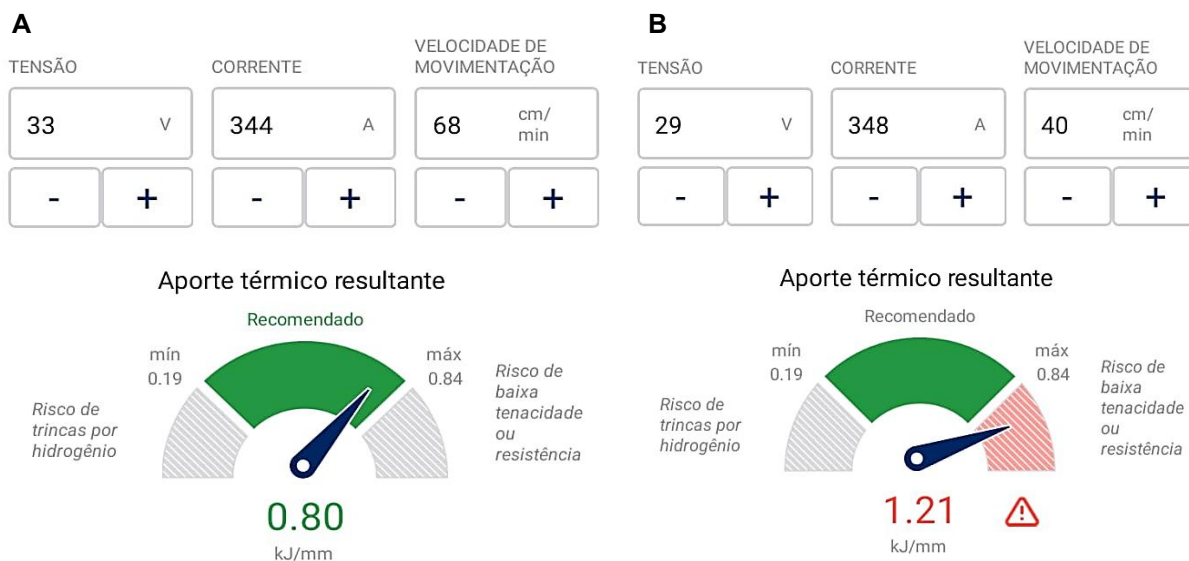
Fonte: Autores (2025).

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

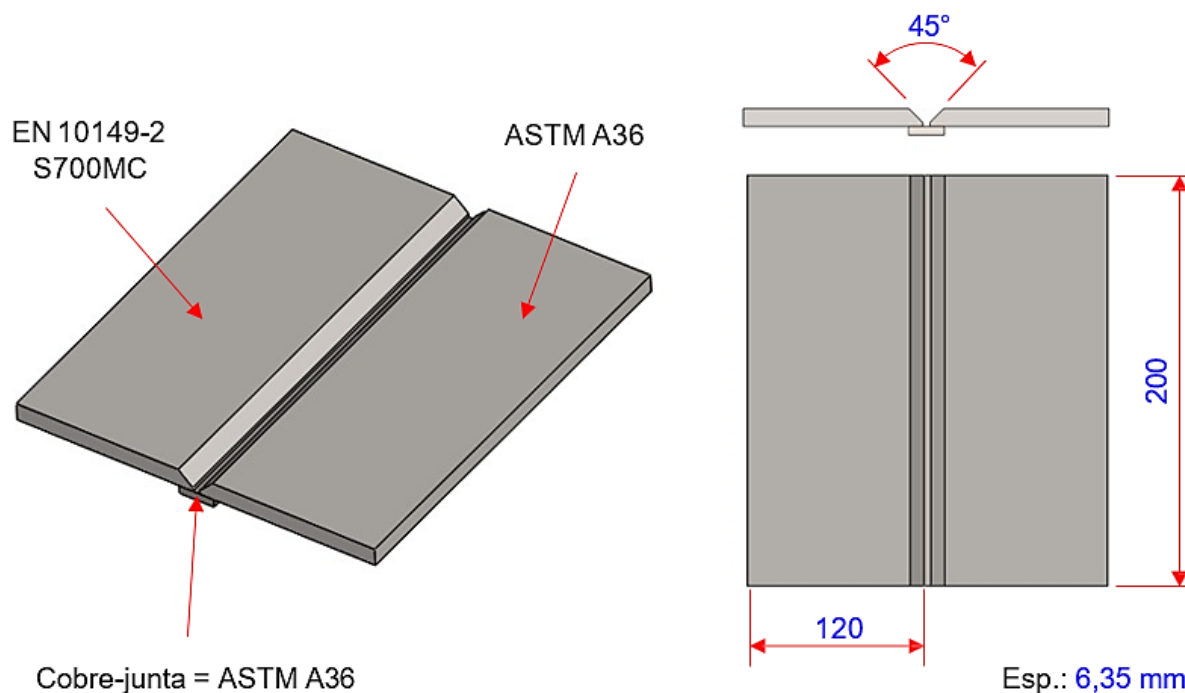
2.3.1 Metais de base

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.

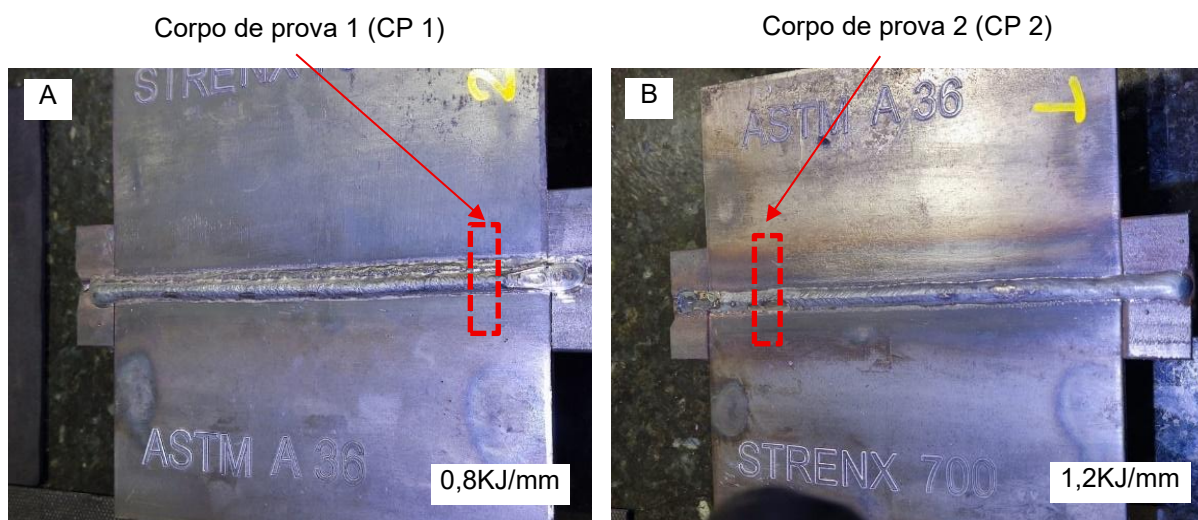
Figura 06 - Simulação da Chapa Teste



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



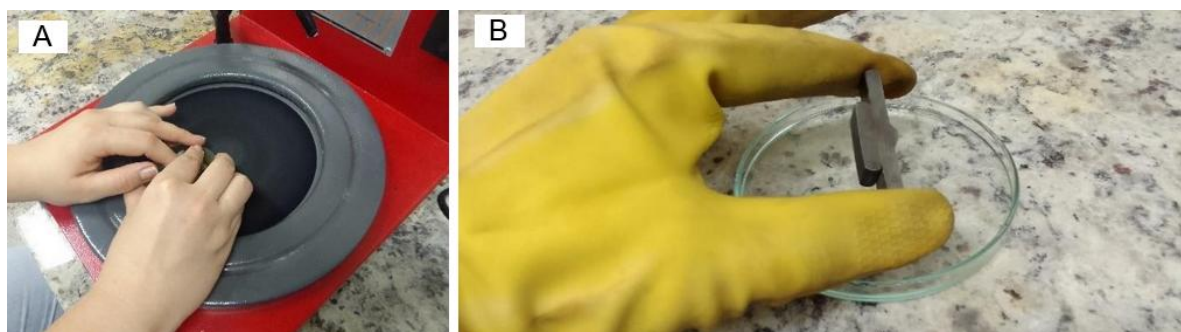
Fonte: Autores (2025).

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 μ m e 1 μ m, 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.

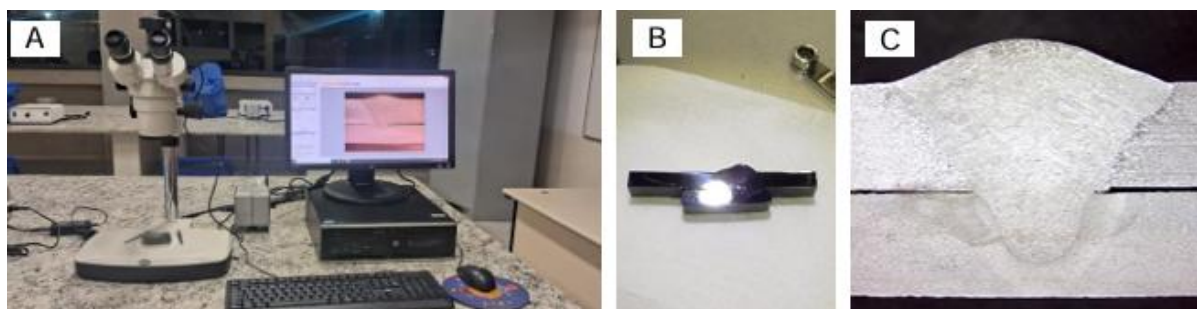
Figura 08 - Preparação e ataque químico



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).

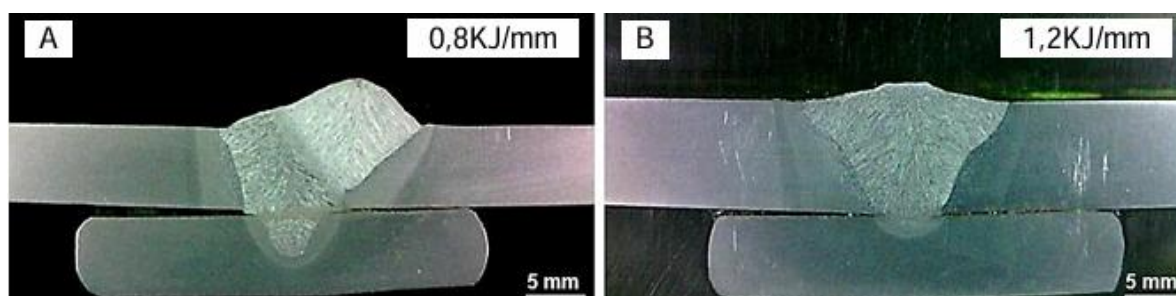
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

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

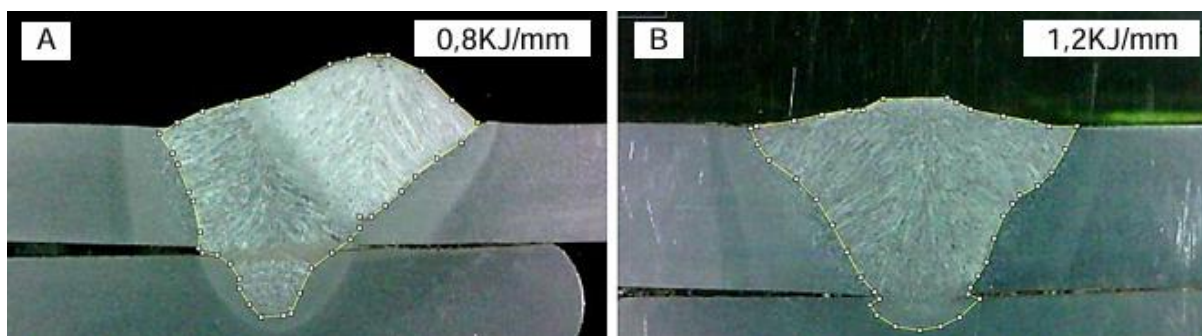


Fonte: Autores (2025).

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

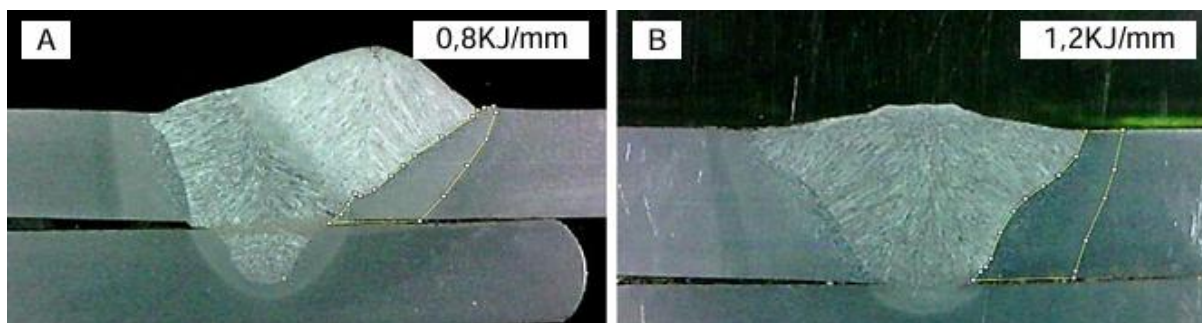


Fonte: Autores (2025).

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

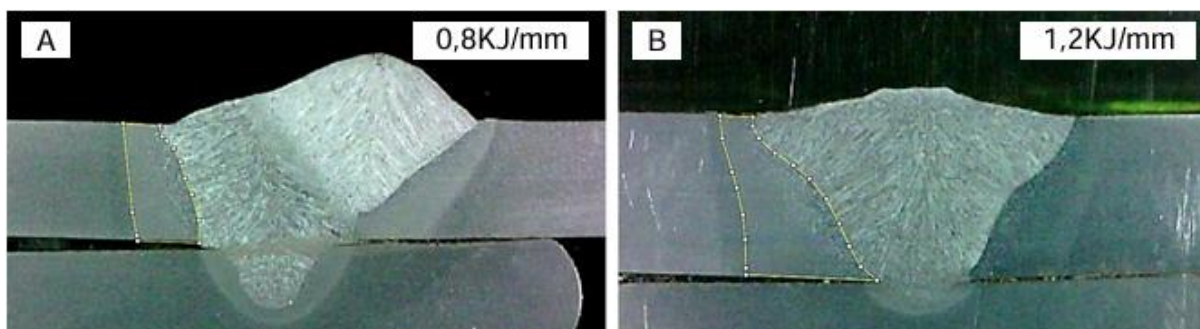


Fonte: Autores (2025).

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

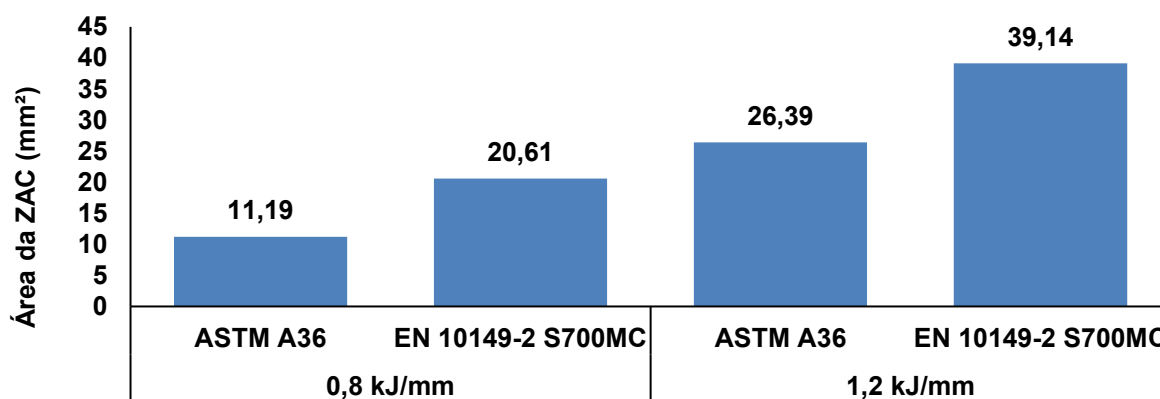


Fonte: Autores (2025).

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/IIIIn40-008.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 CBMAAdi – 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.