

ROBÔ COLABORATIVO PARA SOLDAGEM: PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO COM MANUFATURA ADITIVA

COLLABORATIVE ROBOT FOR WELDING: DESIGN AND IMPLEMENTATION WITH ADDITIVE MANUFACTURING

Henrique de Oliveira Leite¹
José Maria Pereira da Silva Junior²
Nasareno das Neves³
Samuel Mendes Franco⁴

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 metalmeccânico. 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



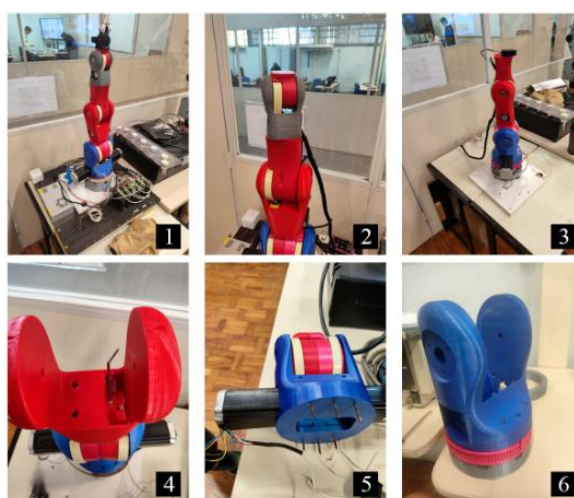
Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

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

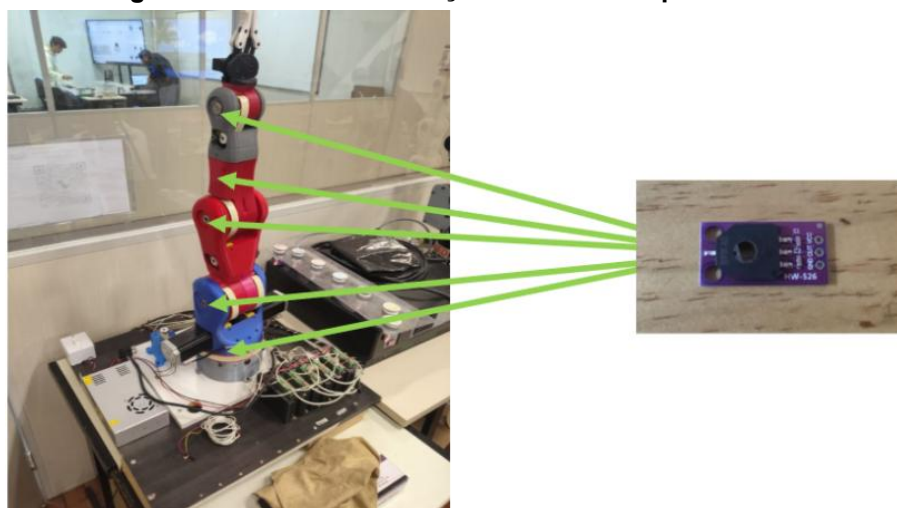
A desmontagem foi desenvolvida em etapas, conforme indicado na Figura 2, com o objetivo de identificar os componentes que precisariam ser modificados para permitir a integração dos sensores. Também foi avaliado o tipo de sensor mais adequado para tornar o modelo compatível com a proposta de aplicação 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).

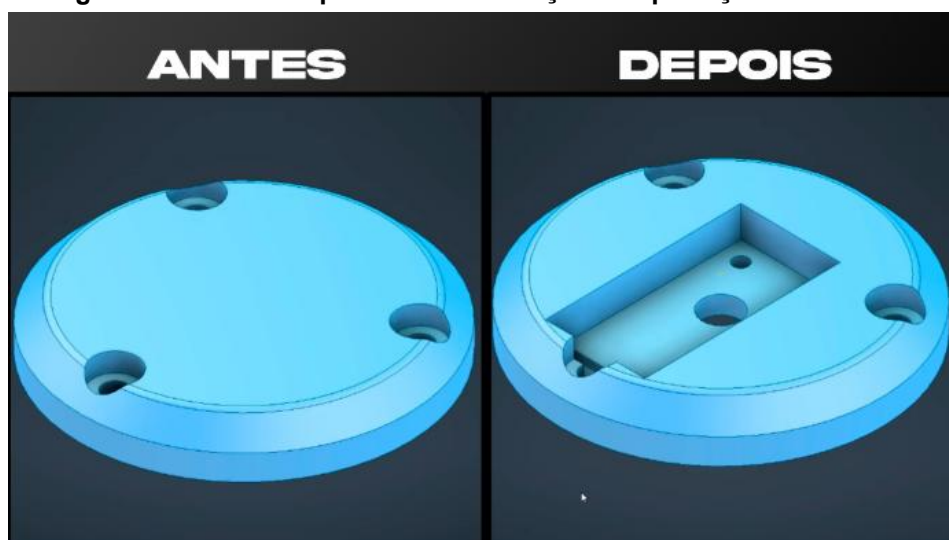
Nas tampas protetoras laterais dos eixos, foi necessário executar modificações em três modelos distintos: a proteção do ombro, a proteção do cotovelo e a proteção do punho, conforme apresentado nas Figuras 5, 6 e 7.

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).

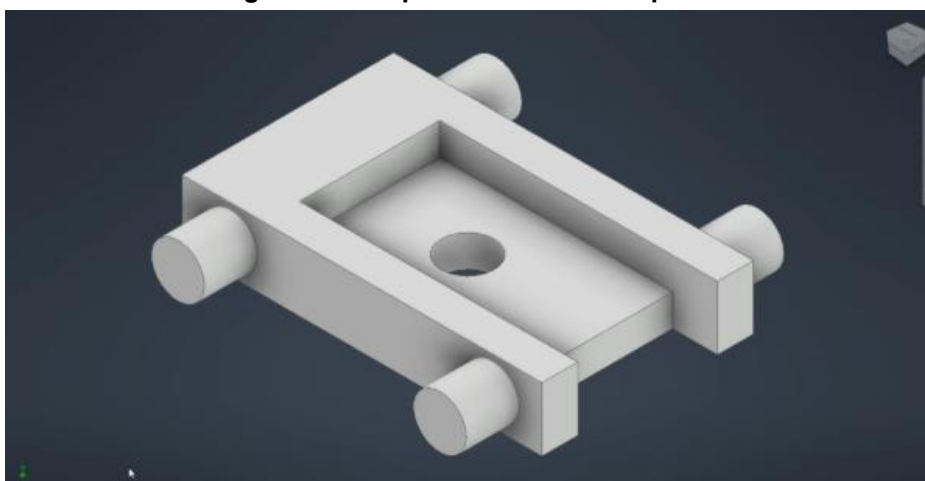
Além das modificações nas peças existentes, foram desenhados novos componentes para a instalação do sensor na base, do sensor no pulso e de um porta-ferramentas universal para substituir a garra e acomodar a tocha de solda, conforme apresentado nas Figuras 10, 11 e 12.

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).

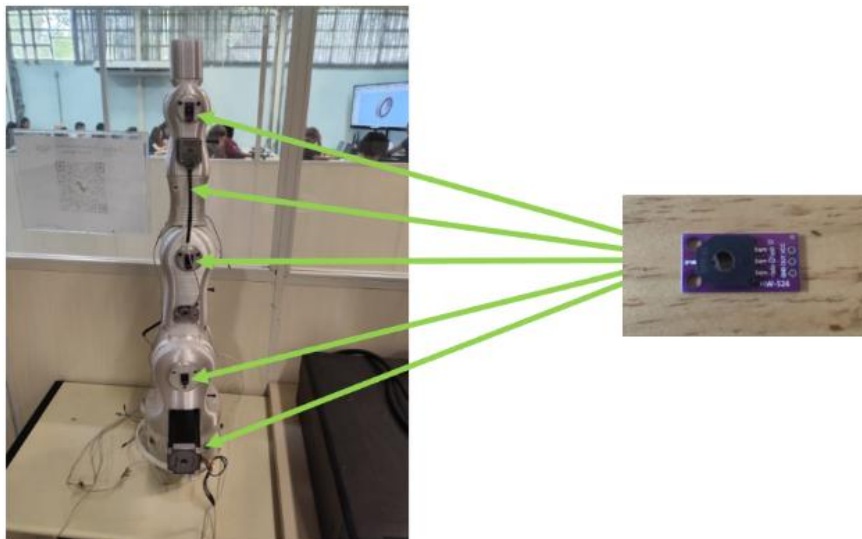
A implementação dos sensores HW-526 nos pontos indicados anteriormente foi realizada com a criação de furos roscados M4, com 4 mm de profundidade em cada eixo, e com a utilização de segmentos de barra roscada M4 de 8 mm de comprimento. No motor responsável pelo giro do pulso, foi feito um furo M3 com 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.