

RETROFIT DE MESA DE SOLDAGEM EM CÉLULA ROBOTIZADA

Victor H. L. Zamberlan¹, Julian C. Giacomini²

Instituição Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha- Panambi- RS, Brasil

e-mail: victor.2023008317@aluno.iffar.edu.br, julian.giacomini@iffarroupilha.edu.br

Resumo – Considerando a necessidade de melhorar o processo de montagem das vigas e otimizar o tempo de produção, foi desenvolvido um sistema automatizado para uma mesa de soldagem em uma célula robotizada. O presente estudo tratou de um *retrofit* em uma mesa de soldagem robótica anteriormente operada de forma manual, a qual foi modernizada para incorporar movimentação automática. O objetivo do trabalho foi aplicar técnicas aprendidas ao longo da formação acadêmica, promovendo melhorias na ergonomia e na agilidade operacional, além de avaliar a relação custo-benefício da solução desenvolvida. Foram realizados o estudo e a implementação de um projeto de *retrofit* envolvendo adaptações mecânicas, elétricas e de automação do sistema. Também foram levantadas e identificadas as limitações do sistema manual, bem como realizada a comparação entre a operação manual e a automatizada. Os resultados obtidos demonstraram ganhos em ergonomia, segurança e eficiência operacional, evidenciando a viabilidade da modernização proposta.

Palavras-Chave – Automação, Ergonomia, Robótica, *Retrofit*, Soldagem.

RETROFIT ON ROBOTIC WELDING TABLE

Abstract – Considering the need to improve the part assembly process and optimize production time, an automated system was developed for a welding table in a robotic welding cell. This study addressed a *retrofit* of a robotic welding table that was previously operated manually and was modernized to incorporate automatic movement. The objective was to apply techniques acquired throughout the academic training program, promoting improvements in ergonomics and operational efficiency, while also evaluating the cost-effectiveness relationship of the developed solution. A *retrofit* project involving mechanical, electrical, and automation adaptations was studied and implemented. In addition, the limitations of the manual system were identified and analyzed, and a comparison between manual and automated operation was carried out. The results obtained demonstrated improvements in ergonomics, safety, and operational efficiency, highlighting the feasibility of the proposed modernization.

Keywords – Automation, Ergonomics, Robotics, *Retrofit*, Welding.

I. INTRODUÇÃO

Atualmente, no mercado industrial, as empresas buscam constantemente recursos que possibilitem a melhoria da

qualidade e da produtividade de seus produtos, visando otimizar os processos de fabricação com maior eficiência e precisão. Nesse cenário, torna-se essencial identificar as etapas que mais necessitam de aperfeiçoamento e implementar soluções tecnológicas, como a automatização de processos internos. Diante disso, as fábricas que utilizam o processo de soldagem têm optado pela modernização de seus sistemas por meio da implementação do *retrofit*.

O termo *retrofit* tem a definição para melhoria de produtos, por meio da aplicação de novas soluções para aumentar a produtividade, a segurança e a precisão, além de representar uma forma econômica de otimizar recursos e materiais para empresas, ou seja, é modernizar sem alterar significativamente a estrutura de robôs, máquinas, entre outros [1].

No processo da mesa de soldagem robótica, tradicionalmente realizado de forma manual por operadores, existe uma delimitação de movimento, em que os resultados dependem diretamente da agilidade individual de cada profissional. Essa característica gera limitações, como baixo desempenho, falhas operacionais recorrentes, comprometimento da produtividade e aumento dos custos de manutenção. Nesse contexto, a adoção de sistemas modernos se apresenta como solução para os problemas enfrentados no dia a dia das indústrias.

Os robôs de solda representam um exemplo de tecnologia capaz de garantir precisão, repetibilidade e qualidade, aliados à segurança e à alta produtividade em linhas industriais [2]. No caso da soldagem, busca-se substituir processos manuais por sistemas automatizados, de forma a assegurar maior eficácia e qualidade. A introdução de soluções como o *retrofit* permite executar, de forma automatizada, as mesmas atividades realizadas por operadores, assegurando uniformidade nos cordões, redução de defeitos e maior controle de qualidade das peças.

O objetivo desse projeto foi demonstrar a viabilidade da aplicação do sistema *retrofit* em células de soldagem robotizadas, evidenciando seus benefícios na modernização de processos industriais, com foco na melhoria da produtividade, eficiência, segurança e redução de custos operacionais sem a necessidade de substituição completa dos equipamentos existentes.

Buscou-se analisar o funcionamento do processo de soldagem robótica tradicional, identificando limitações relacionadas à produtividade, precisão e segurança. Foram estudados os conceitos e princípios do *retrofit* aplicados a sistemas de soldagem, destacando suas vantagens técnicas. Foi proposta e implementada a melhoria em uma célula de soldagem robotizada por meio do *retrofit*, buscando otimizar o desempenho operacional. Foi avaliado o impacto da modernização na segurança do operador e na ergonomia do processo de alimentação da célula de soldagem. Demonstrou-se que o *retrofit* constitui uma alternativa

sustentável e economicamente viável para a atualização de equipamentos industriais obsoletos.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A definição do termo *retrofit* surgiu na década de 1990, inicialmente na indústria aeronáutica, onde foi utilizado para descrever processos de modernização de aeronaves, com o objetivo de atualizar sistemas, aprimorar o desempenho e prolongar a vida útil dos equipamentos já existentes. De acordo com [4], a palavra é a junção de dois termos: “retro”, cujo significado é “movimentar-se para trás”, e “fit”, que significa “ajustar” [3, 4].

Com o passar do tempo, o uso do termo foi se expandindo para novos setores, ganhando diferentes interpretações. Contudo, os significados para a palavra envolvem sempre a modernização de equipamentos, visando o aumento de vida útil, atualizações de peças e equipamentos, mas mantendo sua estrutura [5]. Com o avanço constante da automação industrial, tornam-se obsoletos a eficiência e segurança de equipamentos antigos, sendo assim, o *retrofit* surge como uma solução viável e econômica para atualizar os mesmos.

O avanço da indústria se torna cada vez mais evidente e competitiva no cenário atual, exigindo das empresas uma produção eficiente, com foco na qualidade e na sustentabilidade. A aplicação de novas técnicas de manufatura contribui para o aumento da produtividade, possibilitando a fabricação de peças mais complexas e reduzindo perdas de tempo e matérias primas [6].

Em uma perspectiva externa, o uso de uma célula de soldagem robotizada pode parecer inviável em comparação à soldagem manual, principalmente devido ao alto custo de aquisição inicial. No entanto, ao analisar os ganhos de produtividade e eficiência, percebe-se que o investimento nesses equipamentos se torna vantajoso [7].

Diante disso, as principais características que compõem a célula de soldagem robotizada envolvem a integração de diversos componentes e sistemas que garantem a eficiência e segurança operacional [8]. Conforme a Figura 1 [9], entre os principais componentes estão: 1-robô de solda, 2-tocha, 3-posicionadores, 4-controlador, 5-fontes de energia, 6-estação de limpeza, 7-sistema de segurança, 8-alimentador de arame e os consumíveis que estão ligados à tocha.

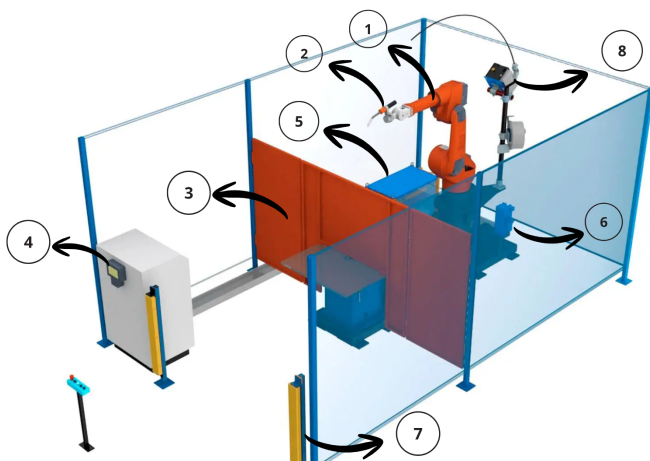


Figura 1 - Projeto 3D da célula de soldagem [9].

Foram abordados aspectos estruturais, operacionais e tecnológicos que garantem precisão, eficiência e qualidade. Assim, estabelece-se um contexto claro para compreender o papel de cada recurso dentro do sistema automatizado da célula de soldagem.

Um robô apresenta características antropomórficas, sendo formado por um braço mecânico e um sistema de controle, que atua como seu “cérebro”, responsável pela coordenação dos movimentos. O sistema computadorizado do robô depende de um programa previamente armazenado em sua memória, o qual contém as instruções de operação. Durante a execução do programa, os comandos são enviados aos motores, que transformam os sinais em movimentos precisos do braço mecânico, permitindo a realização das tarefas desejadas [10].

A tocha tem a função de conduzir o arame e o gás de proteção até a região da peça onde ocorre a soldagem. Nas operações de soldagem MIG/MAG robotizada, as tochas são submetidas a altos ciclos de trabalho, o que torna indispensável a presença de um sistema de refrigeração, responsável por reduzir o desgaste e prolongar a vida útil dos consumíveis [8].

Os posicionadores, também chamados de mesas de trabalho giratórias, são responsáveis por fixar e posicionar corretamente as peças que serão soldadas pelo robô. As mesas posicionadoras para solda representam uma solução prática e acessível para a automação de processos de soldagem em diversos segmentos industriais. Esses equipamentos podem ser utilizados tanto em sua configuração original, para soldagem semi-automática, quanto adaptados com opcionais que permitem a automação completa do processo, proporcionando maior produtividade, precisão e qualidade nas soldas. [11, 12].

O controlador do robô é um computador dedicado, composto por hardware e software, que atua como o centro de comando do sistema, desempenhando o papel de seu “cérebro”. Ele reúne todas as características de um computador moderno, incluindo capacidade de processamento, armazenamento de dados e tomada de decisões complexas. Através de interfaces com válvulas de controle e sensores de *feedback* do manipulador, o controlador gerencia o início e o término dos movimentos do robô. Além disso, realiza cálculos aritméticos avançados para definir o trajeto, a velocidade e a posição do manipulador, e mantém comunicação bidirecional com dispositivos auxiliares, assegurando precisão, coordenação e eficiência em todo o processo automatizado [13].

Atualmente, existem dois tipos principais de fontes de soldagem utilizadas nos processos MIG/MAG: as fontes convencionais e as fontes pulsadas. As fontes convencionais fornecem corrente contínua e tensão constante, sendo amplamente empregadas na maioria das operações de soldagem MIG/MAG [14].

As fontes de soldagem pulsada operam com corrente contínua cuja intensidade varia ao longo do tempo, alternando entre níveis mais altos (pico) e mais baixos (base). A transferência de material ocorre quando a corrente atinge o valor de pico, favorecendo uma deposição controlada e estável. Esse tipo de fonte possibilita soldagens com elevada qualidade mecânica e excelente acabamento superficial,

sendo amplamente recomendada para a união de materiais como alumínio, aços inoxidáveis e aços carbono em aplicações que demandam alta responsabilidade estrutural [15].

Além disso, a estação de limpeza possui um sistema do tipo fresa mecânica, projetada para realizar a remoção eficiente dos respingos de solda aderidos ao bocal, contando com um injetor de antirrespingos e um cortador de arame da tocha integrado [8].

As áreas de risco das máquinas e equipamentos devem ser dotadas de sistemas de segurança compostos por proteções fixas, móveis e dispositivos interligados, de forma a assegurar a preservação da saúde e da integridade física dos trabalhadores. A implementação desses sistemas deve levar em conta as características técnicas da máquina, o tipo de processo de trabalho e as alternativas tecnológicas disponíveis, visando alcançar o nível de segurança exigido para a operação. O alimentador de arame, comumente utilizado em processos de soldagem robotizada, é instalado sobre o robô e também conhecido como cabeçote. Sua função é conduzir o arame desde o carretel ou barrica até o arco de soldagem, por meio de um conjunto de cabos específicos. O sistema é acionado por um motor de corrente contínua, que garante o fornecimento de arame em velocidade constante. Embora não haja conexão direta entre o alimentador e a fonte de energia, a regulagem da velocidade de alimentação do arame permite ajustar, de forma indireta, a corrente de soldagem disponibilizada pela máquina [16, 17].

Esses consumíveis são compostos, essencialmente, por um bico de contato responsável pela energização do arame-eletrodo e por um bocal, que direciona o fluxo do gás de proteção. O bico de contato é um pequeno tubo fabricado em cobre, enquanto o bocal pode ser confeccionado em cobre ou material cerâmico, devendo possuir um diâmetro adequado à corrente de soldagem e ao fluxo de gás utilizado [17].

III. DESCRIÇÃO DA PROPOSTA DE MELHORIA

A célula robotizada é constituída por três mesas de soldagem, que possibilitam a realização de diferentes configurações de montagem das peças a serem unidas. Nessa mesa de soldagem específica, são realizadas soldagens de diversos tipos de vigas, as quais compõem o chassi de um tombador, com comprimentos variando entre 3 e 21 metros.

Nessa mesa de soldagem, o lado fixo é equipado com um motor responsável por girar a peça durante o processo de solda e também por posicionar a mesa no momento da colocação da peça a ser trabalhada (Figura 2). No lado oposto, encontra-se o contraponto, que consiste em uma mesa giratória móvel destinada a apoiar a peça durante a soldagem. Essa mesa móvel é composta por um prato giratório, no qual está fixado um dispositivo denominado gabarito, utilizado para encaixar e travar a peça. Além disso, possui dois trilhos na base inferior com quatro patins, que permitem o deslocamento da mesa por meio de guias lineares. Na parte traseira, há ainda duas alças que facilitam sua movimentação (Figura 3).



Figura 2 - Mesa de soldagem fixa.



Figura 3 - Mesa de soldagem móvel.

A movimentação da mesa móvel é realizada manualmente pelo operador, que se posiciona na parte traseira e, segurando nas alças, empurra a mesa para a frente até encostá-la na peça (Figura 4). Esse deslocamento exige do operador um esforço físico considerável, já que a mesa possui peso aproximado de 250 kg, o que representa uma desvantagem do sistema atual.

Considerando as condições atuais e visando à saúde e ao bem-estar do operador, observa-se que o esforço físico exigido para a movimentação da mesa pode causar desgaste corporal e, conseqüentemente, gerar afastamentos por problemas de saúde relacionados a essa atividade. Diante disso, buscou-se desenvolver uma solução que evitasse essa situação e, ao mesmo tempo, aprimorasse as condições da mesa, promovendo melhorias ergonômicas e facilitando o trabalho do operador.



Figura 4 - Movimentação da mesa manualmente pelo operador.

A proposta de implementação do sistema *retrofit* surgiu principalmente a partir das reclamações do operador quanto ao peso da mesa e à necessidade de repetir o movimento diversas vezes ao longo do dia. Dessa forma, o *retrofit* apresenta-se como uma solução viável para substituir a movimentação manual, reduzindo os riscos à saúde e ao bem-estar do operador, especialmente relacionados ao esforço físico excessivo. O desenvolvimento do sistema foi realizado conforme as etapas apresentadas na (Figura 5).

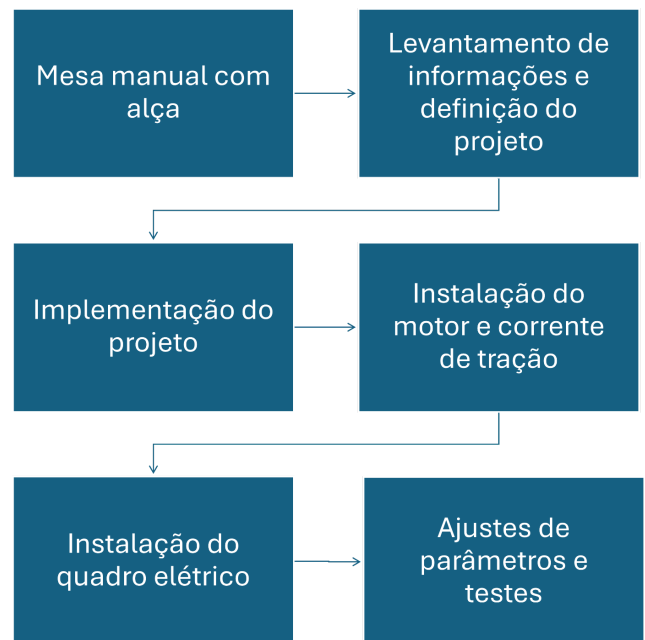


Figura 5 - Fluxograma das etapas do projeto.

IV. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho baseou-se em uma abordagem aplicada e experimental, com o objetivo de desenvolver um sistema automatizado por meio da técnica de *retrofit* em uma mesa de soldagem robótica. O estudo iniciou-se com a análise do sistema existente, identificando limitações relacionadas à ergonomia, produtividade e operação, a fim de definir os requisitos necessários para sua modernização.

Em um primeiro momento, foi realizado o desenho em 3D da mesa de soldagem com a instalação do motor trifásico, incluindo as engrenagens, a corrente de tração e o sistema elétrico (Figura 6).

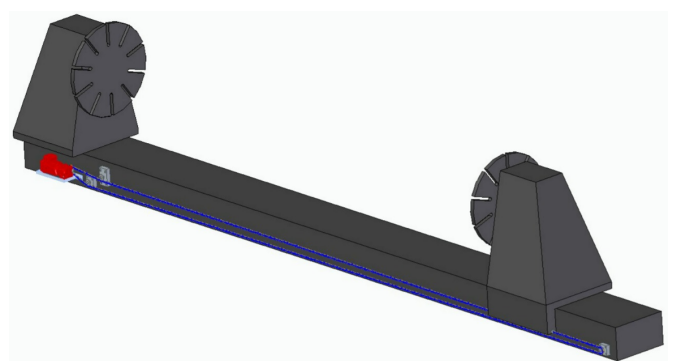


Figura 6 - Desenho 3D da célula de soldagem. Fonte: Autoria própria (2026).

Com base nesse levantamento, foi elaborada uma proposta de adequação envolvendo modificações mecânicas, elétricas e de automação. Após a seleção dos componentes e o desenvolvimento da lógica de controle, foram realizadas as adaptações necessárias para a automatização da mesa. Por

fim, o sistema foi submetido a ensaios e testes operacionais para validação de seu funcionamento e avaliação dos ganhos obtidos em comparação ao processo manual.

V. DESENVOLVIMENTO

A. Levantamento de informações e diagnóstico do sistema atual

Inicialmente, foi realizado o levantamento das condições operacionais da mesa de soldagem, atualmente movimentada de forma manual pelo operador. Foram observadas as limitações ergonômicas, o esforço físico necessário para o deslocamento da mesa (com peso aproximado de 250 kg), o tempo médio de operação e os riscos potenciais à saúde do trabalhador. Essas informações foram obtidas por meio de observações diretas e relatos dos operadores, servindo de base para a definição das melhorias necessárias.

B. Definição dos requisitos do sistema automatizado

Com base na análise do sistema existente, foram definidos os requisitos funcionais do *retrofit*, que incluem:

- Reduzir o esforço físico do operador;
- Garantir maior segurança e ergonomia na operação;
- Permitir movimentação controlada e precisa da mesa;
- Assegurar baixo custo de implementação e manutenção.

Dessa forma, optou-se pela instalação de um sistema motorizado trifásico, comandado por botoeiras de avanço e recuo, eliminando a necessidade de movimentação manual.

C. Projeto mecânico e elétrico

O projeto mecânico envolveu a adaptação da mesa de soldagem para receber um conjunto motriz, composto por um motor trifásico acoplado a um redutor (Figura 7). Esse conjunto foi instalado na base da mesa fixa e ligado a uma engrenagem montada no eixo do motor, responsável por transmitir o movimento à mesa móvel por meio de uma corrente de tração. A corrente foi fixada à mesa móvel em dois pontos de esticamento, enquanto as guias lineares garantem um deslocamento suave, estável e alinhado durante todo o percurso.

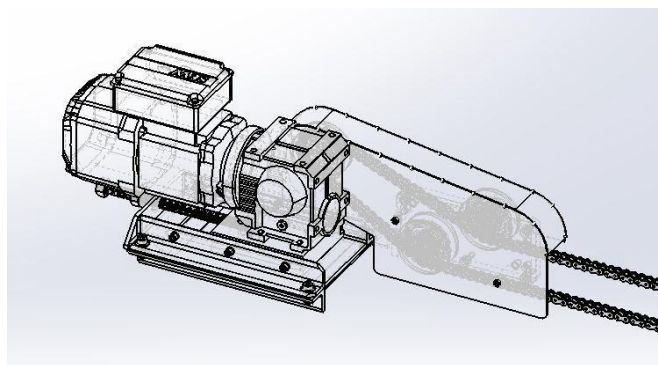


Figura 7 - Conjunto motriz. Fonte: Saur (2026).

O desenvolvimento do sistema elétrico foi realizado por uma empresa terceirizada, apresenta uma arquitetura simples e ao mesmo tempo robusta (Figura 8), composto por um disjuntor motor que oferece proteção contra sobrecargas, um inversor de frequência responsável pelo controle da velocidade e do sentido de rotação, e um motor trifásico que realiza o movimento da mesa. Além disso, uma fonte de 24V é utilizada para alimentar o circuito de comando, permitindo o acionamento de avanço e retorno da mesa, ela compõe 1- Disjuntor geral: Responsável pela proteção elétrica do quadro contra sobrecargas e curtos-circuitos. Também permite o seccionamento da alimentação para manutenção; 2- Fonte 24Vcc: Converte a tensão da rede elétrica (CA) em 24 Vcc para alimentar os circuitos de comando, sensores e demais dispositivos eletrônicos do painel; 3- Inversor de frequência (*SEW Movitrac*): Controla a velocidade, o torque e o sentido de rotação do motor elétrico, proporcionando partidas e paradas suaves, além de ajuste da velocidade conforme a necessidade do processo; 4- Chave geral: Permite ligar e desligar toda a alimentação elétrica do quadro de forma rápida e segura, sendo utilizada para operação e isolamento durante intervenções; 5- Bornes de passagem: Realizam a distribuição e interligação dos condutores de potência e comando, facilitando a organização, identificação e manutenção das conexões elétricas; 6- Entrada de Cabos (Prensa-cabos): Local de entrada dos cabos de potência, comando e aterramento no quadro elétrico. Os prensa-cabos garantem a fixação mecânica dos cabos e a vedação contra poeira, umidade e esforços mecânicos (Figura 9).

O comando foi projetado para operar por meio de um controle com botoeiras, contendo os botões de avanço, recuo e parada de emergência, permitindo que o operador acione a mesa de forma segura e ergonômica. No diagrama projetado evidencia-se mais a instalação dos botões e ligação ao inversor, o funcionamento do botão de emergência (NF) ao pressionar abre o circuito de comando (24 Vcc), desabilitando os comandos e parando o motor. Já no botão avança (NA) ao pressionar, envia +24 V para a entrada DI1 do inversor, o inversor executa o movimento de avanço. No botão de Recuar (NA), ao pressionar, envia +24 V para a entrada DI2 do inversor, o inversor executa o movimento de recuo (Figura 10).



Figura 8 - Painel elétrico.

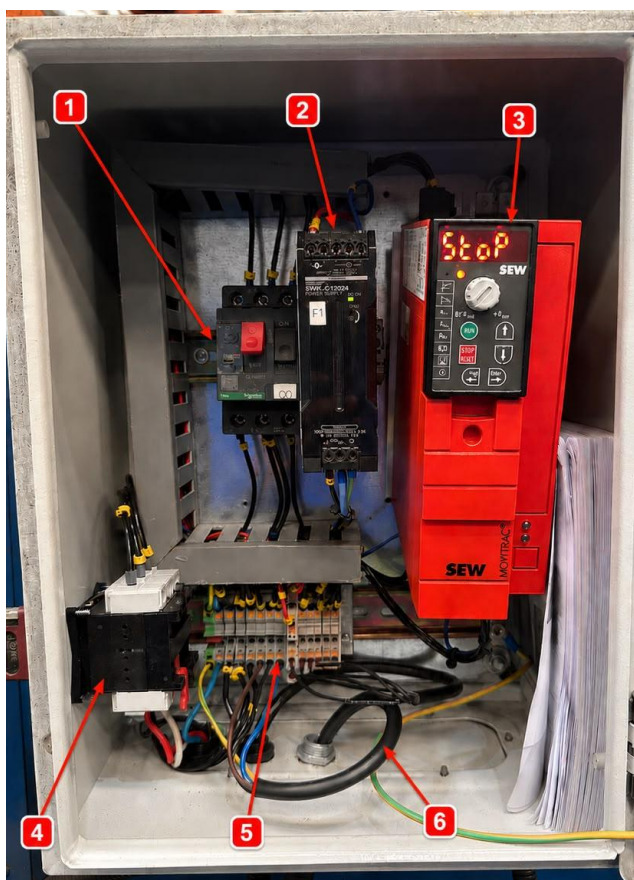


Figura 9 - Painel elétrico interno.

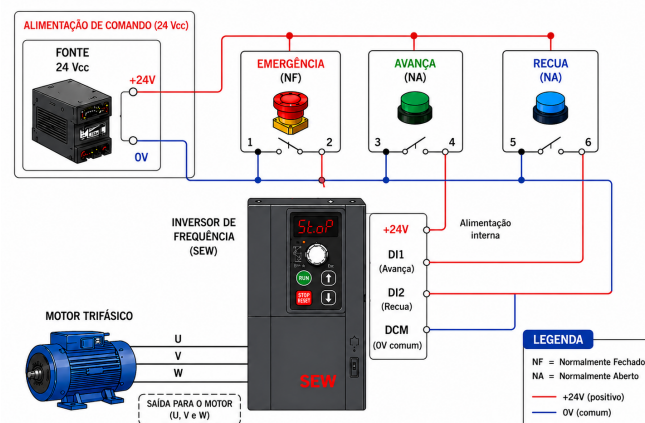


Figura 10 - Diagrama simplificado - comando avança/recua com inversor e emergência (24Vcc). Fonte: Autoria própria (2026).

D. Integração e operação do sistema

O inversor de frequência foi configurado para controlar diretamente o motor trifásico, ajustando o sentido de rotação conforme o comando de avanço ou recuo selecionado nas botoeiras (Figura 11).

O sistema foi projetado para garantir operação simples e direta, sem a necessidade de controladores programáveis, reduzindo custos e facilitando a manutenção. A fiação e os componentes elétricos foram instalados em conformidade com as normas de segurança, assegurando o correto funcionamento e proteção contra sobrecargas e curtos-circuitos.



Figura 11 - Comando de avanço e recuo da mesa.

VI. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a conclusão do projeto, foram adquiridos os principais componentes necessários para a implementação do *retrofit*, incluindo um motor trifásico com redutor da SEW Eurodrive, um inversor de frequência SEW Eurodrive, uma corrente de tração e um painel elétrico Kraft. Adicionalmente, a empresa fabricou internamente os suportes das engrenagens e os blocos metálicos utilizados para a fixação das extremidades da corrente. O investimento total nos componentes e equipamentos destinados à modernização do sistema foi de R\$ 22.064,56, sendo que a mão de obra e a instalação foram integralmente realizadas pelas equipes internas de ferramentaria e manutenção, não gerando custos adicionais diretos.

No mercado industrial, mesas posicionadoras automatizadas para soldagem apresentam custos elevados, especialmente quando destinadas à integração com células robotizadas. Equipamentos de médio porte, com capacidade entre 500 kg e 2 toneladas e controle por inversor de frequência, apresentam valores típicos entre R\$ 60.000 e R\$ 150.000 [9]. Ao comparar esses valores com o investimento realizado neste projeto (R\$ 22.064,56), observa-se uma redução de custo de aproximadamente 63% em relação ao limite inferior de mercado e de até 85% quando comparado ao limite superior. Esses dados reforçam a viabilidade econômica do *retrofit* como alternativa à aquisição de novos equipamentos, principalmente em aplicações onde não há necessidade de substituição completa do sistema, mas sim de melhorias funcionais e ergonômicas.

Em relação a instalação mecânica, o motor trifásico foi fixado à mesa fixa por meio de uma base fabricada internamente, sendo preso por quatro parafusos de fixação. O redutor, por sua vez, foi acoplado diretamente ao eixo do motor trifásico, uma vez que foi adquirido de acordo com as especificações compatíveis com o modelo do motor utilizado (Figura 12).



Figura 12 - Motor, redutor e engrenagens instalados na mesa fixa.

A engrenagem principal foi usinada internamente na empresa, respeitando as dimensões do eixo para garantir melhor adaptação ao conjunto. Além disso, foi fabricada uma chaveta, instalada entre a engrenagem e o eixo do motor, assegurando a correta transmissão de torque. As outras três engrenagens têm a função de direcionar a corrente de tração ao longo do sistema (Figura 13).



Figura 13 - Engrenagens.

Os dois blocos de fixação foram usinados para possibilitar a fixação das extremidades da corrente e, posteriormente, soldados à mesa móvel, garantindo o deslocamento da estrutura nos sentidos de avanço e retorno. Por fim, a corrente foi fixada aos blocos e posicionada adequadamente sobre as demais engrenagens do sistema (Figura 14 e 15).



Figura 14 - Bloco de fixação da corrente direita.



Figura 15 - Bloco de fixação da corrente esquerda.

O sistema elétrico foi instalado por uma empresa terceirizada e fixado à mesa móvel, uma vez que o comando foi conectado diretamente ao quadro elétrico, permitindo que o operador permaneça próximo à mesa a ser movimentada por meio desse comando. Os ajustes de velocidade e torque do motor foram realizados pela própria empresa responsável pela instalação do sistema. A alimentação do quadro elétrico foi instalada internamente, sendo adicionado um disjuntor trifásico ao painel elétrico do robô de solda.

Após a instalação do sistema elétrico, foram realizados testes de avanço e recuo da mesa, sendo constatado que a rampa de torque de partida do motor estava excessivamente elevada. Diante disso, foi solicitado à empresa terceirizada o ajuste desta configuração, proporcionando uma partida mais suave do motor e atendendo adequadamente à necessidade de movimentação da mesa.

Durante a instalação do motor e dos componentes do sistema de transmissão, foi necessário realizar o ajuste do posicionamento das engrenagens, com o objetivo de garantir o alinhamento adequado da corrente de tração. Esse procedimento foi fundamental para evitar interferências mecânicas e o enroscamento da corrente durante o funcionamento do sistema.

Com o correto alinhamento das engrenagens, assegurou-se o deslocamento contínuo e uniforme da corrente de tração, permitindo que a mesa móvel fosse acionada de maneira eficiente. Além disso, os esticadores, nos quais a corrente está fixada, desempenham a função de manter a tensão adequada do conjunto, garantindo estabilidade no movimento e melhor desempenho do sistema de tração da mesa móvel.

Após a modificação da máquina de soldagem, com a implementação do sistema de rotação automatizada da mesa (tipo torno), foram observadas melhorias significativas no processo operacional, especialmente em relação à ergonomia, esforço físico e eficiência da operação.

Antes da modificação, a movimentação da peça era realizada manualmente pelo operador, exigindo o deslocamento de uma estrutura com massa aproximada de 250 kg. Essa condição demandava esforço físico elevado, além da adoção de posturas inadequadas e movimentos repetitivos, fatores que aumentavam o risco de fadiga e lesões ocupacionais.

Com a automação implementada, a rotação da peça passou a ser realizada por acionamento elétrico, eliminando completamente a necessidade de esforço físico direto do operador durante o processo. Dessa forma, houve uma redução de 100% na exigência de força manual para movimentação da carga, tornando a operação mais segura e ergonomicamente adequada.

Além disso, a intervenção do operador no reposicionamento da peça foi significativamente reduzida, uma vez que o sistema permite o controle da rotação de forma contínua e precisa. Essa melhoria contribui diretamente para a padronização do processo de soldagem, favorecendo maior uniformidade na execução e melhor qualidade do cordão de solda.

Do ponto de vista ergonômico, a condição anterior exigia esforço físico intenso e exposição a sobrecarga biomecânica. Com a implementação do sistema automatizado, houve eliminação dos esforços de empurrar e puxar cargas,

reduzindo significativamente a exigência física do operador. Essa modificação está alinhada com os princípios estabelecidos pela NR-17 (Ergonomia), que preconiza a adaptação das condições de trabalho às capacidades do trabalhador, especialmente no que se refere à redução da movimentação manual de cargas e à minimização de esforços excessivos. Dessa forma, observa-se uma redução significativa do risco de desenvolvimento de distúrbios musculoesqueléticos relacionados ao trabalho.

Em termos operacionais, verificou-se que o tempo de execução do processo de soldagem permaneceu inalterado. No entanto, houve ganho qualitativo relevante associado à redução de variabilidade na execução e à melhoria das condições de trabalho.

Por fim, observa-se que a implementação não apenas melhorou as condições ergonômicas e operacionais, mas também agregou valor ao equipamento existente, prolongando sua vida útil e aumentando sua eficiência, sem a necessidade de aquisição de um novo sistema completo.

A instalação do sistema de *retrofit* foi concluída com sucesso, atendendo aos requisitos operacionais estabelecidos. O sistema apresentou funcionamento estável, com movimentação contínua e controlada da mesa móvel, resultando na redução de intervenções manuais, aumento da confiabilidade do processo e melhoria geral das condições de trabalho, evidenciando a eficiência técnica e econômica da solução implementada.

VII. CONCLUSÕES

O desenvolvimento deste projeto demonstrou que a aplicação da técnica de *retrofit* em uma mesa de soldagem robótica representa uma solução eficiente, econômica e tecnicamente viável para a modernização de equipamentos industriais já existentes. A análise do sistema atual evidenciou limitações significativas relacionadas ao esforço físico exigido do operador, à baixa ergonomia, ao risco de desgaste corporal e aos impactos negativos sobre a produtividade. Esses fatores confirmaram a necessidade de uma intervenção que promovesse melhorias tanto no desempenho do processo quanto nas condições de trabalho.

Esse investimento proporcionou a atualização tecnológica do equipamento, garantindo maior confiabilidade operacional, segurança e eficiência no processo produtivo, sem a necessidade de substituição completa da mesa de soldagem.

Os resultados obtidos demonstram que o *retrofit* implementado atende plenamente aos objetivos estabelecidos, proporcionando uma operação mais segura, ergonômica e eficiente, além de garantir maior controle no deslocamento da mesa de soldagem. A automatização do processo contribui para a redução de falhas operacionais, o aumento da produtividade e a diminuição de custos relacionados à manutenção e aos afastamentos por problemas de saúde, refletindo diretamente na melhoria do desempenho global da célula de soldagem robotizada.

Dessa forma, conclui-se que a modernização realizada por meio do *retrofit* não apenas prolonga a vida útil dos equipamentos, mas também agrega valor ao processo industrial, tornando-o mais competitivo, seguro e alinhado às

demandas tecnológicas atuais. Após a implementação, os testes realizados comprovaram a eficiência e a confiabilidade do sistema automatizado, evidenciando melhorias significativas no desempenho da mesa de soldagem e abrindo possibilidades para futuros aperfeiçoamentos na área de automação aplicada à soldagem.

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, e aos meus pais, Alcione e Zenaide, além do meu irmão Arthur, por estarem sempre ao meu lado, oferecendo apoio, incentivo e oportunidades ao longo dessa jornada. Sou profundamente grato por todo o empenho e dedicação de cada um de vocês. Estendo minha gratidão aos demais familiares, que contribuíram com apoio e motivação durante todo este ano acadêmico. E à minha namorada Cássia, pelo apoio constante, pelas palavras de incentivo e por estar ao meu lado em cada etapa desta jornada. Aos meus amigos e colegas, pelo apoio, colaboração e companhia ao longo desta etapa acadêmica. Agradeço pela parceria e pela troca de conhecimentos durante a nossa jornada acadêmica. Obrigado a todos!

REFERÊNCIAS

- [1] MENDONÇA, R. S. Proposta de metodologia Retrofit aplicada em um processo produtivo legado. Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, AM, 2024.
- [2] LISBOA, G. S. Manutenção elétrica industrial: Retrofit. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2022.
- [3] MORAES, V. T. F.; QUELHAS, O. L. G. O desenvolvimento da metodologia e os processos de um “retrofit” arquitetônico. *Sistemas & Gestão*, Niterói, v. 7, p. 448-461, 2012.
- [4] BARRIENTOS, M. I. G. G. Retrofit de edificações: estudo de reabilitação e adaptação das edificações antigas às necessidades atuais. 189 f. Dissertação (Faculdade de Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
- [5] JESUS, C. R. M.. Análise de custos para reabilitação de edifícios para habitação. 128 f. *Trabalho de Conclusão de Curso — Escola Politécnica, Universidade de São Paulo*, São Paulo, 2008.
- [6] CASAGRANDE, H. C. Fabricação de peças metálicas por manufatura aditiva em aços com baixo teor de carbono. In: *Engenharias em perspectiva: ciência, tecnologia e inovação*. v. 2. [S. l.: s. n.], cap. 5, p. 52–62. 2024.
- [7] BONIFÁCIO, D. C. Determinação de lote mínimo para viabilização de uma célula para soldagem robotizada em uma indústria de implementos agrícolas. *Revista Vincci – Periódico Científico da UniSATC*, v. 9, n. 2, p. 205-225, ago./dez. 2024.
- [8] DELLAY, D. D. B. Análise da viabilidade de um projeto de aquisição de uma célula de soldagem robotizada. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) — Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo. 2021.

[9] CLOOS. Célula robotizada de soldagem. Brasil: CLOOS, [s. d.]. Disponível em: <https://www.directindustry.com/pt/prod/cloos/product-9248-607398.html>. Acesso em: 22 nov. 2025.

[10] ROSÁRIO, João Maurício. Princípios de mecatrônica. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 356 p. 2005.

[11] MACHINE-CONTROLLER. Fabricantes e fornecedores de robôs industriais da China – “Robô Industrial”. *Direitos autorais* © Adtech (Shenzhen) Tecnologia Co., Ltd. Disponível em: <https://pt.machine-controller.org/industrial-robot/>. Acesso em: 02 nov. 2025.

[12] CIG Soldas. Mesas posicionadoras para solda. Disponível em: <https://cigsoldas.com.br/mesas-posicionadoras-para-solda/>. Acesso em: 02 nov. 2025.

[13] MATOS, E.S.; MARQUES, C. R. M.. Projeto de reinstalação de uma célula robotizada para soldagem. 25 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecatrônica) — Centro Universitário UniSATC, Criciúma, SC, dez. 2021.

[14] ESAB. Soldagem MIG/MAG. Material de apoio. São Paulo: ESAB Soldagem e Corte, 2004. AWS. *Structural Welding Code – Steel ANSI/AWS D1.1*. 2010.

[15] SUMIG, Robótica e automação. Treinamento básico de soldagem. *Apostila*, 2016.

[16] CRESPO, D. A. Especificações de segurança para células robotizadas. *Departamento de Engenharia Mecânica*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Ministério da Educação. Porto Alegre, nov. 2011.

[17] RAMALHO, J. P.; GIMENEZ, L. Processo de soldagem MIG/MAG. In: Manual de Tecnologia de Fabricação e Soldagem. Núcleo Tecnológico de *Soldagem e Qualidade*. Copyright, São Paulo, SP, 2002.

DADOS BIOGRÁFICOS

Victor Hugo Luft Zamberlan, nascido em 09 de janeiro de 1996, em Condor-RS, atualmente trabalha na empresa Saur Equipamentos S.A. como Eletromecânico II e cursa o 7º semestre do Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial.