

## APLICAÇÃO DA AUTOMAÇÃO NOS PROCESSOS DE SOLDAGEM:

### Uma Introdução

Thawany Karoline Sousa Fernandes<sup>1</sup>

Luiz Fernando Alves Rodrigues<sup>2</sup>

Marcos Mesquita da Silva<sup>3</sup>

Renato Alexandre Costa de Santana<sup>4</sup>

### RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar os conceitos, características e aplicações da automação no processo da soldagem através de uma revisão da literatura - fazendo uma análise quantitativa e qualitativa das principais potencialidades destes processos praticados pela literatura. Para isso, foram realizadas pesquisas através de livros, artigos científicos, teses e dissertações em bases de dados tais como Scielo, Google acadêmico e Periódicos CAPES. Assim, foi feito um estudo dos principais fatores em relação às formas do processo de automação aplicada na soldagem dando ênfase para a automação, e robotização dos processos. Para análise desses parâmetros, os dados foram coletados, tabulados e organizados, para uma melhor interpretação. Em síntese os resultados indicaram uma busca contínua pela melhoria do processo através de novas tecnologias por meio da utilização de robôs de solda na indústria, visando uma maior produtividade, qualidade e precisão do processo. Essas novas tecnologias tornam o processo de solda mais robusto e eficaz. Em uma visão holística, verificou-se que o tipo de forma construtiva dos robôs nomeiam estes na indústria. Além disso, foi possível destacar as principais vantagens e desvantagens dos tipos de robôs industriais e dos seus tipos de acionamentos. Por fim, destacou-se várias aplicações da soldagem automatizada (robotizada) em vários tipos de indústrias.

**Palavras-chave:** soldagem, automação, robôs industriais.

### INTRODUÇÃO

Na historicidade, o processo de soldagem é realizado de maneira manual, por um ou mais soldadores, os quais realizam o procedimento *in loco*, suscetíveis a um ambiente de temperaturas elevadas, exposição a uma alta quantidade de radiação e contato com gases tóxicos liberados durante a operação. Sendo assim, a operação da soldagem manual exige alta habilidade e trabalho intenso do operador (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

Nesse sentido, os artefatos validam que o desenvolvimento da soldagem teve elevado avanço a partir da Revolução Industrial. Desde sua descoberta, a soldagem tem sido de grande

---

1 Graduanda em Ciências da Computação, UEPB, thawannyfernandes722@gmail.com;

2 Professor Doutor, IFPB, Petróleo e Gás, Campus Campina Grande- PB, luiz.rodrigues@ifpb.edu.br;

3 Professor Doutor, IFPB, Petróleo e Gás, Campus Campina Grande- PB, marcos.silva@ifpb.edu.br;

4 Professor orientador: Doutor, UFCG, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica, renatoacs@ufcg.edu.br.

valia para todos os segmentos industriais, tendo em vista que a soldagem é um dos processos de fabricação mais difundidos em diversas aplicações industriais, sendo utilizado principalmente para promover a união de dois ou mais componentes (SILVA, 2016).

Nesse contexto, a revolução Industrial proporcionou a produção em massa e uma nova forma de organização da manufatura, destacando-se o controle automático, que proporciona até os dias atuais um desempenho otimizado de equipamentos, melhorando a qualidade, reduzindo os custos e aumentando a produtividade (PESSÔA; SPINOLA, 2014).

Somado a isso, o setor da indústria já está na sua 4ª revolução, também comumente conhecida como Indústria 4.0. A priori, fundada em meados de 2010, esse momento é reconhecido pela elevada inteligência artificial, aliada à robótica e ao monitoramento constante das atividades, onde os processos de soldagem também seguiram a mesma tendência (TREAL, 2022).

Hodiernamente, já há indústrias que realizam a soldagem de forma quase toda robotizada possibilitando a conferência de mais qualidade, consistência e repetibilidade dos processos de soldagem, impactando diretamente na qualidade das peças soldadas. (SIMONI; CECCONELLO, 2020)

Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar os conceitos, características e aplicações de robôs industriais na automação da soldagem através de uma revisão da literatura.

## **METODOLOGIA**

Para o desenvolvimento deste artigo foram analisados trabalhos na literatura entre livros, artigos científicos, teses e dissertações. Para isso, algumas bases de dados foram utilizadas tais como Scielo, Google Acadêmico e Periódicos CAPES. Nessas buscas os seguintes termos técnicos foram empregados: soldagem, automação, robótica, indústria 4.0, entre outros.

Após as buscas nas bases de dados foi realizada uma seleção das fontes de dados baseada em 3 (três) critérios: pré-análise, exploração do material e resumo dos resultados obtidos.

Assim, foi feita uma análise dos principais fatores em relação às formas do processo de automação aplicada na soldagem dando ênfase para a automação e robotização dos processos. Para análise desses parâmetros, os dados foram coletados e organizados, para uma melhor interpretação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os processos de soldagem podem ser classificados de acordo com o tipo de operação dos mesmos. A Tabela 1 apresenta essa classificação em função das ações do soldador e da máquina (ou robô) durante a realização dos processos de soldagem. Em geral, as operações automáticas e automatizadas são realizadas por robôs industriais.

Tabela 1: Classificação das operações dos processos de soldagem.

| Tipos de operação  | Ação                             |                    |  |                      |   |                      |  |
|--|----------------------------------|--------------------|--|----------------------|---|----------------------|--|
|  | Iniciar e manter o arco elétrico | Alimentar material | Controlar energia para adequada penetração | Deslocar a tocha     | Guiar o arco elétrico ao longo da junta | Manipular a tocha    | Corrigir arco elétrico em desvios                            |
| Manual<br>          | Soldador                         | Soldador           | Soldador                                   | Soldador             | Soldador                                | Soldador             | Soldador   |
| Semiautomático<br> | Máquina                          | Máquina            | Soldador                                   | Soldador             | Soldador                                | Soldador             | Soldador   |
| Mecanizado<br>    | Máquina                          | Máquina            | Máquina                                    | Máquina              | Soldador                                | Soldador             | Soldador   |
| Automático<br>    | Máquina                          | Máquina            | Máquina                                    | Máquina              | Máquina                                 | Máquina              | Não corrige imperfeições detectadas na densidade de potência |
| Automatizado<br>  | Máquina (com sensor)             | Máquina            | Máquina (com sensor)                       | Máquina (com sensor) | Máquina (com sensor)                    | Máquina (com sensor) | Máquina (com sensor)   |

Fonte: Adaptado de Fernandes (2013).

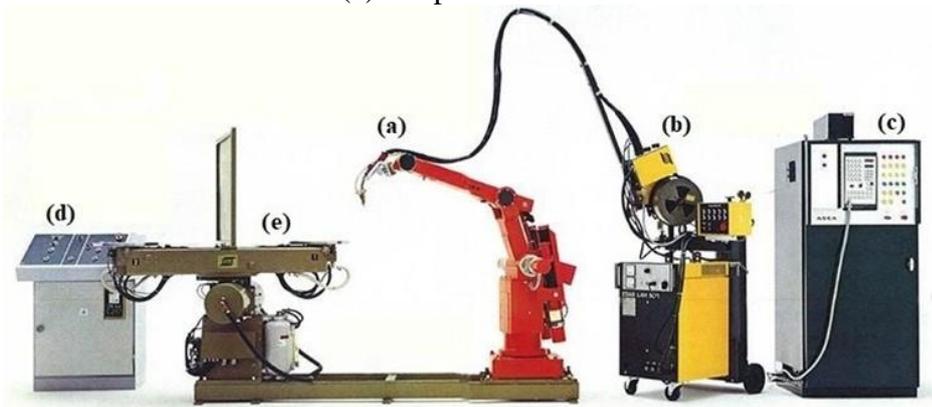
Com o advento da automação industrial, observou-se a oportunidade de utilizar robô no processo de solda, tendo em vista que a automação dos processos de soldagem tem viabilizado um aumento expressivo na produtividade em relação aos processos convencionais, sendo importantíssimos e amplamente utilizados na indústria (FERNANDES, 2013).

Desse modo, ao limiar do Século XXI a introdução da Indústria 4.0 na manufatura, obteve novos avanços e tecnologias para o processo de soldagem automatizada. Com o desenvolvimento da soldagem robotizada percebeu-se a necessidade de diminuir a interferência

do ser humano nos processos, visando além de melhorias na produtividade e qualidade, tirar o ser humano de atividades perigosas, repetitivas e de difícil manuseio (FARIA; FILLETI; HELLENO, 2022).

Sendo assim, dentre as tecnologias que se desenvolveram nas últimas décadas, os sensores contribuíram significativamente para alavancar o emprego de sistemas robotizados. A exemplo disso têm-se uma aplicação de estação de solda robotizada, que consiste em um braço robótico alimentado com arame (Figura 1a), uma fonte (máquina) de solda (Figura 1b), uma caixa de controle do sistema (Figura 1c), um painel de operação (Figura 1d) e um posicionador (Figura 1e), onde o metal de base (peça) deve ser fixado. A caixa de controle realiza a integração entre os sensores, programa, fonte de soldagem e painel de operação. Além disso, é a partir do painel de operação e da caixa de controle que o soldador inicia o programa, bem como acompanha o tempo de ciclo, mensagens de erro e dados sobre os sistemas de manutenção e segurança da estação (FARIA; FILLETI; HELLENO, 2022).

Figura 1: Estação de soldagem com robô industrial articulado composta por (a) um braço robótico, (b) uma fonte de soldagem, (c) uma caixa de controle, (d) um painel de operação, e (e) um posicionador.



Fonte: Faria, Filleti e Helleno (2022).

A vista disso, a robotização apresenta-se como uma técnica alternativa, capaz de revigorar a competência produtiva e qualitativa da soldagem. Deste modo, é importante que se revejam as técnicas e recursos destinados à implantação de tal automação (SIMONI; CECCONELLO, 2020).

Somado a isso, um dos elementos intrínsecos da soldagem robotizada são seus acionamentos, pois devem ser capazes de gerar movimento, além de uma potência compatível com a tarefa a ser realizada. Dessa maneira, as formas de acionamento podem ser classificadas

em três tipos, sendo eles pneumáticos, hidráulicos e elétricos (FERNANDES, 2013). A Tabela 2 mostra as principais vantagens e desvantagens desses acionamentos.

Tabela 2: Vantagens e desvantagens dos acionamentos na soldagem robotizada.

| ACIONAMENTO | VANTAGENS   | DESvantagens  |
|-------------|---|---|
| Pneumático  | Robôs mais leves, alta velocidade, baixo custo e menos limpeza, (comparado ao acionamento hidráulico).  | Existência de abrasão e corrosão, provocadas por partículas contaminadas na rede de ar e menor precisão (comparado aos acionamentos elétricos e hidráulicos).   |
| Hidráulico  | Movimentos suaves (apropriados a ambientes agressivos com contaminantes, ruído e variações térmicas), alta capacidade de movimentação de cargas | Perda de fluxo em vazamentos do sistema (pode causar perda de precisão na movimentação); transformação de energia elétrica em energia de atuação hidráulica (transformação de baixo rendimento, tornando dispendioso o controle elétrico do sistema). |
| Elétrico    | Construção simples, elevada precisão, manutenção simplificada e baixo custo.  | Requer um tamanho maior quando se trata de cargas maiores e os problemas térmicos (uma sobrecarga pode queimar o acionamento)   |

Fonte: Autoria própria.

Ademais, é indispensável o estudo da configuração geométrica ou a arquitetura mecânica do robô, para uma perfeita escolha baseada na teoria de movimento de um objeto tridimensional. Esse movimento é composto de translações e rotações, estabelecendo como referencial o sistema de coordenadas cartesianas (X, Y, Z) que sempre pode ser representado matematicamente por uma matriz.

A forma construtiva de um robô industrial pode ser classificada em: coordenada polar ou esférica, coordenada cartesiana, coordenadas cilíndricas e coordenada articulada ou de revolução, conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 3: Vantagens e desvantagens das formas construtivas de robôs industriais.

|                           | Vantagens  | Desvantagens   |
|---------------------------|--|--|
| Coordenada Polar/Esférica | Programação simples, Área maior de trabalho comparado as coordenadas cartesianas e cilíndricas | Possibilidade de vibrações no movimento do braço linear                    |
| Coordenada Cartesiana     | Simplicidade de estrutura, fácil controle e alta precisão                                      | Possui grande área de ocupação se comparado com a área efetiva de trabalho |

|                       |   |  |
|-----------------------|---|--|
| Coordenada Articulada | Alta velocidade, Mais flexibilidade para aplicações que requerem menos espaço, Mais fácil de alinhar a várias coordenadas | Construção com elevado custo e dificuldade na elaboração de um sistema de controle |
| Coordenada Cilíndrica | Programação simplificada  | Área de trabalho limitada  |

Fonte: Autoria própria

Diante do exposto, a soldagem possui particularidades em suas operações, portanto a escolha do robô mais consonante é imprescindível para o melhor desenvolvimento das operações previstas. Desse modo, os critérios de escolha, são: forma construtiva, acionamento, elemento terminal, volume de trabalho, precisão, repetibilidade, graus de liberdade e capacidade de carga (FERNANDES 2013).

Em geral as formas construtivas (Tabela 3) dos robôs nas indústrias também dão nomes a esses robôs. Sendo assim, as Figuras 2, 3, 4 e 5 apresentam os robôs articulado, cartesiano, polar e cilíndrico, respectivamente.

### **Robô articulado**

A Figura 2 apresenta os robôs articulados que são os mais aplicados na indústria pois possuem em sua configuração mecânica um braço semelhante ao humano. O braço por sua vez é conectado à base com uma junta de torção que possibilita o giro do robô. O número de juntas rotativas que conectam os elos do braço pode variar de duas juntas a dez juntas e cada articulação fornece um grau adicional de liberdade, além de ter aplicações diversas na indústria como soldagem a arco, soldagem a ponto, manuseio de materiais, alimentação de máquinas, montagem automotiva, corte de aço, manipulação de vidro, fundição e aplicação de forjamento dentre outras (SILVEIRA, 2019).

Figura 2: Robô Articulado.



Fonte: Silveira (2019).

## Robô Cartesiano

Na Figura 3 é possível verificar os robôs cartesianos que apresentam uma configuração retangular. Esses tipos de robôs industriais possuem três juntas prismáticas com o propósito de prover o movimento linear deslizando em seus três eixos perpendiculares (X, Y e Z). Os robôs cartesianos são utilizados na maioria das aplicações industriais, uma vez que oferecem flexibilidade em sua configuração, o que os torna convenientes para imposições específicas.

Figura 3: Robôs cartesianos.

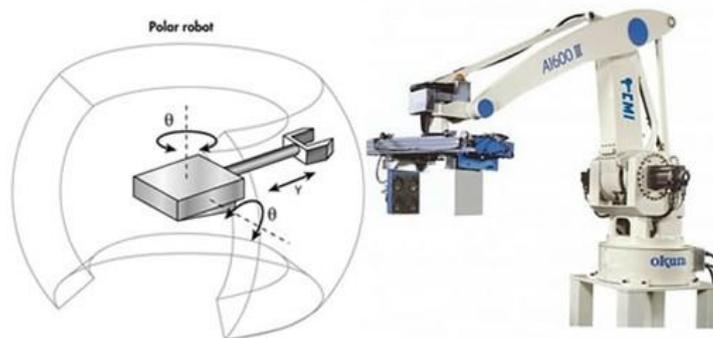


Fonte: Silveira (2019)

## Robô Polar

Observando a Figura 4, é possível de identificação um robô polar que possui uma junta de torção, que liga o braço à base e uma combinação de duas juntas rotativas, além de uma junta linear conectando os links. Estes tipos de robôs são também nomeados de robôs esféricos, visto que têm um envelope de trabalho esférico e os eixos integram um sistema de coordenadas polares. Esses robôs têm um eixo de articulação central e um braço giratório extensível. A configuração da torre de revólver dos robôs polares varre um grande volume de espaço, porém o acesso do braço é restrito ao seu espaço de trabalho e suas aplicações são vastas na soldagem, fundição, manuseio de materiais entre outras (FERNANDES 2013).

Figura 5: Robô Polar.



Fonte: Silveira (2019)

### Robô cilíndrico

A Figura 5 retrata os robôs cilíndricos, que dispõem pelo menos de uma junta rotativa na base e ao menos uma junta prismática para conexão dos elos. Estes tipos de robôs operam dentro de um envelope de trabalho de formato cilíndrico, fornecem movimentos lineares verticais e horizontais, juntamente com movimento rotativo em torno do eixo vertical. O design compacto da extremidade do braço permite que o robô alcance ranges apertadas de trabalho sem perda de velocidade e repetibilidade. É usado principalmente em aplicações simples, onde os materiais são recolhidos, girados e colocados (SILVEIRA, 2019).

Figura 6: Robô cilíndricos



Fonte: Silveira (2019)

Em síntese, a automação pode facilitar a fabricação e seus respectivos processos. Em contrapartida, o caminho que segrega a soldagem manual e a soldagem automática é extenso. Posto que, à proporção que se destina as funções do soldador para um sistema controlado, as complexidades e o custo deste sistema aumentam exponencialmente (BROERING, 2005).

Assim sendo, a automação aplicada na soldagem é extensa e já possui diversas aplicações, desse modo as Figuras 6 e 7 exemplificam essas funcionalidades.

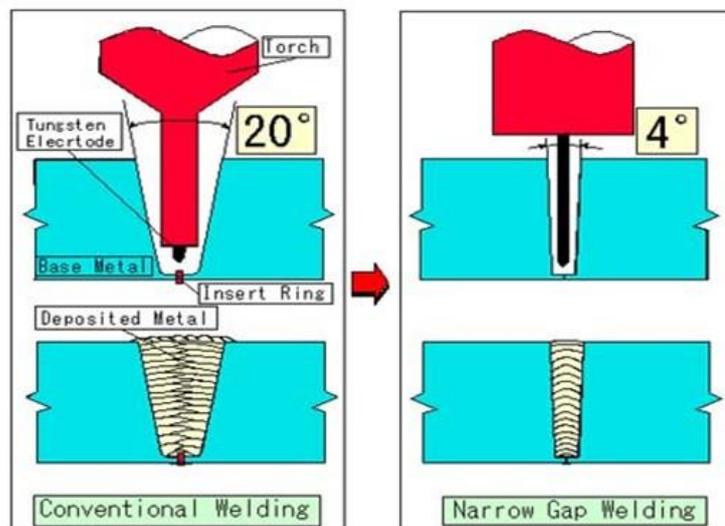
## Aplicações na soldagem Robotizada

Apesar de ser ainda ser objeto de pesquisa e desenvolvimento, a soldagem automatizada (com uso de robôs) já existe em várias áreas demonstrando ótimos resultados. Como exemplos dessas áreas, têm-se: indústria de estruturas pesadas (perfis e pontes), indústria automobilística; indústria naval e caldeiraria pesada, indústria de Petróleo e gás (soldagem de tubulações, revestimentos anticorrosivos, etc.), manufatura aditiva, etc.

Os sistemas de soldagem automatizada foram construídos para mecanizar os processos manuais e semiautomáticos. Dessa forma, a sistematização mais trivial que são aplicadas são as soldagens orbitais e a soldagem com chanfro estreito conhecido como *narrow gap* (FERNANDES, 2013).

Dessarte, os dispositivos e manipuladores mais utilizados na indústria são voltados para os processos TIG, MIG/MAG, pois oferecem vantagens pontuais como alta produtividade, precisão e repetibilidade, além de oferecer maior “detalhe na solda”. Como pode ser verificado na Figura 6, um sistema de soldagem *Narrow Gap* atende às demandas de um processo de soldagem, totalmente automático, com controle preciso de todos os parâmetros para tempos de soldagem reduzidos e metal de solda perfeito ao soldar material de alta resistência.

Figura 6: Substituição de tubulação com soldagem de espaço estreito.



Autor: IHI (2022)

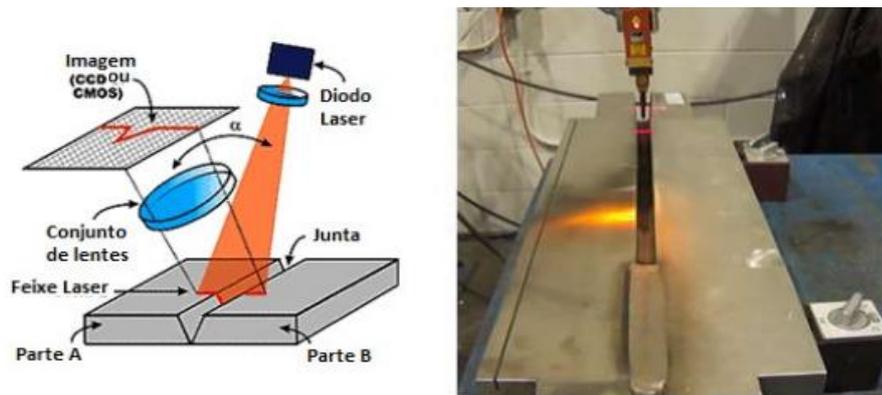
Vale salientar-se que, ao utilizar a soldagem de *Narrow gap*, com os processos TIG ou MIG, não há necessidade de remover escórias, pois o processo requer um número menor de passes de solda, se comparada aos procedimentos convencionais. Além de possuir uma redução

das tensões residuais, permitindo automatizar o sistema e atingir uma alta produtividade, pois a fabricação do chanfro é simplificada e as distorções são mínimas (FERNANDES, 2013).

Uma exemplificação que se tem, onde a repetibilidade das soldas automatizadas é muito considerável é no revestimento de superfícies. A função de recobrimento torna-se mais produtiva com a utilização da soldagem automatizada, pois, além de aumentar a quantidade de material depositado por hora, a repetibilidade faz com que a espessura da camada de solda aplicada mantenha-se uniforme, diminuindo o tempo de acabamento. Exemplos de aplicação de revestimentos podem ser encontrados nas indústrias químicas, petroquímicas e papeleiras, onde é trivial revestir tanques e tubos de aço carbono com aço inox. (INFOSOLDA, 2014).

Analisando a Figura 7, é possível observar sensores externos os quais fornecem informações do ambiente ao redor do robô, sua aplicação potencializa sua utilidade, permitindo que os robôs trabalhem de forma outrora vista. Com o aparecimento da nova geração de robôs industriais foi possível conectar estes sensores externos diretamente ao controlador do robô, dando-lhe condições de utilizar tais sensores para obter informações do ambiente e a partir destas tomar as melhores decisões com base em um programa. (REIS, 2014).

Figura 7: Esquema de montagem do sistema de visão artificial a laser a esquerda e aplicação em ambiente fabril a direita.



Fonte: Reis (2014).

Ademais, o sensor de proximidade laser (Figura 7) é um exemplo de aplicação comercialmente utilizado na soldagem GMAW, que permitiu um sistema mais inteligente e com menor intervenção humana, este sensor produz um laser de baixa potência, com potência máxima irradiada de 1.5mW e tem a capacidade de detectar superfícies a serem soldadas, reconstruir topografias das juntas de soldagem, além de seguir o cordão a soldar, podendo dessa

forma guiar a tocha com precisão mesmo que a geometria da junta se altere dentro das tolerâncias (INFOSOLDA, 2014).

Em suma, a integração da manufatura é a continuidade natural de uma tendência na direção da automação que envolve tecnologias como CAD/CAM , comando numérico computadorizado (CNC) e robótico, formando a célula integrada à manufatura (CIM), (FERNANDES, 2013). Dessa forma, pensando na redução de tempo obtido por meio da programação *offline*, a literatura apresenta alternativas de programação por meio da interface CAD e sistemas de inteligência artificial, permitindo a criação automática das trajetórias de solda (FARIA; FILLETI; HELLENO, 2022).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como proposta principal, definir e destacar, as principais aplicações da automação empregadas na área da soldagem. Para isso, dados foram coletados e organizados, para obtenção de um melhor panorama das evoluções tecnológicas da automação dos processos de soldagem. Para isso foi feita uma revisão da literatura, onde os resultados da revisão bibliográfica de soldagem indicaram uma busca contínua pela melhoria do processo através de novas tecnologias. Essas novas tecnologias tornam o processo de solda mais robusto e eficaz.

Em uma visão holística, verificou-se que o tipo de forma construtiva dos robôs nomeiam estes na indústria. Além disso, foi possível destacar as principais vantagens e desvantagens dos tipos de robôs industriais e dos seus tipos de acionamentos.

Por fim, destacou-se várias aplicações da soldagem automatizada (robotizada) em vários tipos de indústrias.

## AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal da Paraíba (IFPB), Campus Campina Grande.

## REFERÊNCIAS

FERNANDES, Paulo Eduardo Alves (org.). **Soldagem**. São Paulo: Senai-SP Editora, 2013. 720p.

MARQUES, Paulo Villani; MODENESI, Paulo José; BRACARENSE, Alexandre Queiroz. **Soldagem**: fundamentos e tecnologia. 3. ed. Belo Horizonte: Editora Ufmg, 2009.

PESSÔA, Marcelo Schneck de Paula; SPINOLA, Mauro de Mesquita. **Introdução à automação**: para cursos de engenharia e gestão. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2014. 333 p.

SIMONI, Diego Leonardo; CECCONELLO, Ivandro. Modelo de maturidade aplicado à células de soldagem robotizada: uma proposta baseada no modelo cmmi. **Scientia Cum Industria**. Caxias do Sul, p. 1-12. dez. 2020.

BROERING, Carlos Eduardo. **DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS PARA A AUTOMAÇÃO DA SOLDAGEM E CORTE TÉRMICO**. 2005. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 3., 2005, Florianópolis. **DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO PARA A AUTOMAÇÃO DA SOLDAGEM DE RESERVATÓRIOS**. Salvador: Editora Ibp, 2005. 6 p.

FARIA, Isabella Cristina Souza; FILLETI, Remo Augusto Padovezi; HELLENO, André Luís. Evolução dos Processos de Automação em Células de Soldagem: uma revisão da literatura. **Soldagem & Inspeção**, [S.L.], v. 27, n. 1, p. 1-16, 7 out. 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0104-9224/si27.04>.

ZENG, Jinle; CHANG, Baohua; DU, Dong; WANG, Li; CHANG, Shuhe; PENG, Guodong; WANG, Wenzhu. Um método de reconhecimento de posição de solda baseado na fusão de informações de luz direcional e estruturada em soldagem multicamada/multipassagem. **Sensors**, Basileia, Suíça, v. 18, n. 1, p. 1-129, jan. 2018.

SILVA, Roberto. **Processos de soldagem e seus efeitos estruturais**. 2016. Disponível em: <https://www.esss.co/blog/processos-de-soldagem-e-seus-efeitos-estruturais/>. Acesso em: 21 abr. 2022.

TREAL. **Como a indústria 4.0 pode ser aplicada no processo de soldagem robotizada**. Disponível em: <https://www.treal.com.br/blog/>. Acesso em: 21 abr. 2022.

NERIS, Manoel Messias. **Soldagem: eixo tecnológico: controle e processos industriais**. São Paulo: Editora Paula Souza, 2012.

REIS, Sidcley L. dos. **Inteligência Artificial em Processos Robotizados de Soldagem GMAW**. São Paulo: Fatec - Sp, 2014. 11 p.

PEIXOTO, Arildomá Lobato. **Soldagem**. Santa Maria - Belém: E-Tec Brasil, 2012. 99 p.

SILVEIRA, Cristiano Bertulucci. **Os 6 Principais Tipos de Robôs Industriais**. 2019. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/>. Acesso em: 23 jun. 2022.