

AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE SOLDAGEM GTAW E SMAW EM AÇO ASTM-A36

Mário Cássio Ferreira da Silva ¹
Rodrigo de Assis Benedito ²
Renata Pessoa Bifano ³
Michel Pedrosa Machado ⁴
Pedro Genuíno Santana Júnior ⁵
Imaculada Coelho da Silva Cardoso ⁶
Mateus Zanirate de Miranda ⁷

michel.p.machado@hotmail.com

ÁREA DO CONHECIMENTO: Engenharias

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo comparar os processos de soldagem de eletrodo revestido e eletrodo de tungstênio em atmosfera de gás inerte em aço ASTM-A36, analisando o consumo de materiais, produtividade e acabamento visual em diferentes condições ambientais. A pesquisa foi conduzida em uma multinacional de mineração e envolveu quatro grupos de trabalho, em que dois grupos utilizaram a técnica SMAW e os outros dois a GTAW. Os processos foram realizados em ambientes abertos e fechados, com triplicatas para assegurar a consistência dos dados. Foram avaliados o consumo de material, a quantidade de gás utilizado, a potência elétrica consumida, o tempo de execução e a qualidade visual das soldas, conforme os padrões da norma NBR 16079-1. Os resultados indicaram que a técnica GTAW apresentou um acabamento visual excelente em ambientes fechados, enquanto a técnica SMAW demonstrou consistência em ambos os ambientes, com maior consumo de material e menor tempo de execução. Em ambiente aberto, a soldagem GTAW apresentou variações na qualidade, sugerindo maior sensibilidade a correntes de ar. Conclui-se que a escolha do processo de soldagem deve ser baseada no balanço entre qualidade visual e consumo de recursos, conforme as condições de aplicação. O estudo oferece informações para otimizar decisões no uso de técnicas de soldagem em contextos industriais variados.

PALAVRAS-CHAVE: soldagem; gtaw; smaw; astm-a36.

¹ Acadêmica do Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário Vértice-UNIVÉRTIX – Matipó.

² Acadêmica do Curso de Engenharia do Centro Universitário Vértice-UNIVÉRTIX – Matipó e Técnica em Edificações (IFMG-OP).

³ Licenciada em Matemática e Física. Mestre em Matemática. Professora do Centro Universitário Vértice-UNIVÉRTIX-Matipó

⁴ Mestre em engenharia mecânica, professor do curso de engenharia mecânica do Centro Universitário Univértix.

⁵ Mestre em Ciências naturais e da Saúde e professor do Centro Universitário Univértix

⁶ Mestre em matemática e professora do Centro Universitário Univértix

⁷ Especialista em engenharia de segurança do trabalho e professor do Centro Universitário Univértix

1 INTRODUÇÃO

Os metais e suas ligas desempenharam um papel crucial na história da civilização humana. As uniões metálicas eram desenvolvidas incorporando elementos secundários em baixa concentração a um metal primário, visando a melhorar suas propriedades. Essa abordagem persistiu por milênios e ainda é utilizada, atualmente, no projeto de muitas ligas importantes, como as de ferro, alumínio, magnésio, titânio e superligas (Garcia Filho; Monteiro, 2018).

No contexto atual, o aço ASTM-A36 é uma das ligas metálicas que merecem destaque. É um tipo de aço carbono, que representa 90% dos aços produzidos. Isso se deve principalmente à sua excelente relação custo-benefício e a propriedades como resistência mecânica, boa soldabilidade e usinabilidade (Fonseca *et al.*, 2020).

A soldagem é o método empregado para unir materiais metálicos, aquecendo-os até atingirem uma temperatura adequada. A indústria amplamente utiliza este processo, que possui aplicações que variam desde a fabricação de microeletrônicos até a produção de peças estruturais de máquinas que são capazes de suportar grandes esforços (Faria; Filleti; Helleno, 2022). Assim se apresentam os procedimentos de soldagem SMAW (eletrodo revestido) e GTAW, também conhecido como TIG, métodos com ampla aplicação em diversos setores da indústria (Martim; Vilarinho, 2018).

O SMAW é uma técnica na qual a soldagem é iniciada ao criar um curto-circuito entre o eletrodo e a peça de trabalho. Imediatamente após o contato, os dois são separados, formando assim o arco elétrico que gera a poça de fusão necessária para a soldagem (Martim; Santos; Ribeiro, 2022).

Já no GTAW, o arco elétrico é formado entre um eletrodo de tungstênio, que está acoplado a uma tocha, e é circundado por uma atmosfera de gás inerte. Esse gás não só protege o eletrodo, mas também a extremidade do material de adição, se houver, alcançando até a poça de fusão (Martim; Santos; Ribeiro, 2022).

Na engenharia de soldagem, a seleção do processo e do procedimento de soldagem é crucial. Isso se relaciona com consumo, qualidade e tempo de fabricação. Entender os processos de fabricação e manutenção de equipamentos é essencial para a segurança, produtividade e competitividade (Pereira *et al.*, 2020).

Este trabalho tem como objetivo determinar o consumo de recursos, produtividade e acabamento visual em processos de soldagem SMAW e GTAW em aço ASTM-A36 em variação com o ambiente.

A avaliação desses processos é útil para toda a cadeia de produção, visto que esses são usados de maneira ampla desde a fabricação até a manutenção de sistemas e produtos. Com os dados obtidos por meio deste trabalho, é possível obter indicadores capazes de ajudar na tomada de decisão, durante o desenvolvimento de atividades e criação de projetos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A soldagem abrange diferentes processos utilizados na fabricação e recuperação de peças. Historicamente, a soldagem é definida como um processo de união de materiais. Contudo, no contexto atual, ela e suas variantes têm sido utilizadas também para caracterizar a deposição de materiais, na recuperação de peças e para formação de superfícies com características distintas. Operações relacionadas a corte de estruturas metálicas são outro exemplo de processos relacionados a soldagem (Marques; Modenesi; Bracarense, 2016).

A soldagem, amplamente automatizada e padronizada hoje, teve suas primeiras manifestações no século XIX. O processo moderno começou a se desenvolver no início do século XIX, quando Sir Humphry Davy produziu um arco elétrico controlado entre dois eletrodos de carbono usando uma bateria. No final do século XIX, o uso do arco elétrico para unir metais avançou com Auguste De Meritens, que, em 1881, utilizou o calor do arco para juntar placas. Esse método foi posteriormente aperfeiçoado e patenteado por seu aluno russo, Nikolai N. Benardos, em 1885, marcando o início de um avanço rápido nos métodos de soldagem (Lopes; Santos, 2020)

A soldagem, como processo, implica em algumas interações no material submetido, entre elas pode se destacar a influência de temperatura da zona termicamente afetada (ZTA) (Vieira *et al.*, 2019).

A ZTA trata-se da área que sofre alterações de suas propriedades devido ao calor gerado pela soldagem. Essas alterações podem ser positivas, como a formação de martensita na região, levando a uma maior resistência do material, como também podem ser negativas como, quando submetidas a calor em excesso, produz-se

estruturas mais frágeis como a ferrita delta que reduzem a resistência a fratura e diminuem a tenacidade do material (Mician; Fratrick; Kajanek, 2021).

A formação de martensita na ZTA é fortemente influenciada pela taxa de resfriamento rápido, especialmente em aços inoxidáveis ferríticos, em que a soldagem pode causar o crescimento de grãos e reduzir a ductilidade e tenacidade do material (Vilela. *et al.*, 2019). Por outro lado, o excesso de calor durante o processo pode promover a formação de ferrita delta, que é menos desejada devido à sua baixa resistência mecânica. Além disso, o controle inadequado da temperatura durante a soldagem pode gerar tensões residuais, aumentando o risco de falhas futuras. Processos como o GTAW, que permitem maior controle sobre a entrada de calor, são eficazes para minimizar esses efeitos e garantir a integridade da solda (Vilela. *et al.*, 2019).

Existem diversos processos de soldagem, com diferentes características. Dentre eles, destacam-se processos como o eletrodo revestido, em que o eletrodo é fundido, através da formação do arco entre o eletrodo e o metal base, e o revestimento forma uma escória protetora. Tem se também o processo TIG que se trata de uma soldagem em que o eletrodo não é consumível e a formação do arco elétrico é protegida por um gás inerte. Devem-se citar, ainda, os processos MIG/MAG em que o arco é formado entre o material base e um eletrodo de fio metálico que é constantemente alimentado para dentro do arco (Welman, 2003).

No processo de soldagem com eletrodo revestido (SMAW), além da escolha do diâmetro do eletrodo, a seleção do tipo de corrente (corrente contínua ou alternada) e da polaridade são fatores essenciais para garantir a qualidade da soldagem. A polaridade direta (CC-) concentra mais calor no eletrodo, resultando em uma maior taxa de deposição, enquanto a polaridade inversa (CC+) oferece maior penetração no material base. No caso do processo TIG, a precisão no controle da temperatura possibilita a soldagem de materiais mais sensíveis ao calor, como alumínio e titânio, com menor distorção e porosidade (Brandão *et. al*, 2023).

A soldagem SMAW, popularmente conhecida como soldagem por eletrodo revestido, é um processo em que, para formação do arco de soldagem, é utilizado um eletrodo que será consumido, o qual é revestido por uma camada protetora denominada como fluxo. Durante a fusão do eletrodo que será depositado, o revestimento queima formando um gás que protege a poça de fusão da influência da

atmosfera, prevenindo e protegendo a zona termicamente afetada de efeitos como a porosidade e formação de trincas, que podem ser ocasionados por gases como o oxigênio e o hidrogênio (Haider *et al.*, 2019).

A soldagem SMAW é amplamente utilizada na indústria por sua portabilidade e eficiência. Entre seus principais usos, estão os ramos automotivos e aeroespaciais e na produção de eletrodomésticos. Ela também é comumente utilizada em locais remotos ou de difícil acesso devido a sua variedade de posições promovidas. Alguns parâmetros são críticos no tocante a esse tipo de soldagem, como o diâmetro do eletrodo — que deve se adequar as lacunas do material base — a polaridade que é de essencial importância para correta distribuição de calor do processo. A velocidade da soldagem é um fator que pode influenciar na geometria do cordão de solda e o ângulo de solda altera a largura e sua penetração (Baghel, 2022).

A soldagem GTAW também conhecida como TIG. É um processo que usa um eletrodo de tungstênio não consumível, devido a seu alto ponto de fusão de 3410°C e uma proteção gasosa inerte, normalmente de argônio ou hélio, para a formação do arco. Ela pode ser feita sem adição de metal, mas quando a adição é feita, essa se dá por meio de uma vareta ou arame separado, sendo então fundido pelo arco e não adicionado como nos processos com eletrodo consumível (Groover, 2017).

O processo GTAW é amplamente utilizado na indústria devido à alta qualidade das juntas soldadas que ele proporciona. Suas principais aplicações incluem setores como aeroespacial, nuclear, marinho, petroquímico, indústrias de semicondutores, equipamentos médicos e eletrônicos. Os parâmetros críticos no processo GTAW são a velocidade de soldagem que afeta a quantidade de energia transferida por unidade de comprimento da solda, sua taxa de alimentação do metal de adição, a vazão e o tipo de gás utilizado, que influencia na proteção da poça de fusão, o diâmetro do bocal de gás e o comprimento do eletrodo não consumível para fora do bocal de gás (Melo, 2017).

O aço ASTM A36 é um aço de baixo carbono com propriedades mecânicas adequadas para soldagem. Suas características incluem boa soldabilidade, facilidade de conformação e usinabilidade, o que o torna um material comum em diversas aplicações industriais. Além disso, o ASTM A36 possui boa resistência e ductilidade, o que o torna adequado para processos de soldagem (Fontes *et.al*, 2020).

Ao soldar o aço ASTM A36, algumas precauções e considerações importantes devem ser levadas em conta para garantir uma soldagem eficaz e de qualidade. Dentre elas, a limpeza da superfície, é essencial garantir que a superfície do aço ASTM A36 esteja limpa e livre de contaminantes, como óleos, graxas e sujeira, que podem afetar a qualidade da solda, a preparação adequada das juntas soldadas, garantindo que estejam na geometria correta e sem imperfeições que possam comprometer a soldagem e a seleção do processo de soldagem (Fontes *et.al*, 2020).

Para o pós-tratamento ao soldar o aço ASTM-A36, é essencial considerar a aplicação de técnicas de resfriamento adequadas entre as deposições de camadas. Isso pode incluir o uso de resfriamento ativo, corrente de deposição de polaridade variável e outras abordagens para controlar a temperatura e minimizar distorções e tensões térmicas no substrato. É fundamental seguir os parâmetros de soldagem adequados e realizar testes para garantir a qualidade do processo de soldagem (Fragozes, 2023).

Para estabelecer a qualidade de qualquer processo industrial, é necessário o estabelecimento de normas que delimitem os parâmetros inclusos no desenvolvimento das atividades. Quando se trata de processos de soldagem, uma norma normalmente utilizada é a NBR 16079-1 sob o título geral “Ensaaios não destrutivos – Terminologia”, cuja descontinuidade só deve ser considerada um defeito quando, por sua natureza, dimensões ou efeito acumulado, tornar a peça inaceitável, por não satisfazer os requisitos mínimos especificados em normas técnicas aplicáveis. Devido às altíssimas temperaturas envolvidas nos processos de soldagem, as consequências deste processo podem ser agrupadas em descontinuidades e alterações nas propriedades dos materiais, deformações globais e localizadas, e tensões internas residuais. No entanto, essas consequências não devem ser entendidas como defeitos de soldagem. É possível utilizar normas complementares para validar a descontinuidade identificada (ABNT, 2012).

Os ensaios não destrutivos (END), como a inspeção por ultrassom, são amplamente utilizados para detectar descontinuidades em materiais, como trincas e corrosão, sem comprometer a integridade das peças. Esses testes permitem que os operadores identifiquem falhas internas, garantindo que os componentes atendam aos requisitos especificados. Além disso, a técnica IRIS, baseada em ultrassom, oferece alta precisão na detecção de descontinuidades volumétricas, assegurando o controle

de qualidade durante o processo de inspeção, promovendo melhorias contínuas na produção industrial (Ferraresi, *et.al*, 2021).

Adicionalmente, pode se adicionar que A ISO 3834 é um sistema de gestão de qualidade em soldagem que estabelece padrões para garantir a conformidade com os requisitos da International Standards Organization (ISO). Ela se aplica a empresas envolvidas na produção de produtos soldados por fusão. A norma especifica critérios para a seleção do nível apropriado de requisitos de qualidade entre os três níveis definidos nas partes ISO 3834-2, ISO 3834-3 e ISO 3834-4. Esses níveis abrangem desde requisitos básicos até requisitos mais rigorosos para processos de soldagem em oficinas e locais de instalação.

3 METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa experimental, que, segundo Gil (2019), envolve, fundamentalmente, a escolha de um tema para investigação, a identificação das variáveis que podem afetá-lo e o estabelecimento de métodos para controlar e observar os impactos dessas variáveis no tema em questão.

A pesquisa foi realizada em uma empresa multinacional de mineração localizada na Zona da Mata Mineira em outubro de 2024.

O experimento ocorreu a partir de 4 grupos de trabalho. Os grupos CP1 e CP2 utilizaram a solda SMAW, enquanto os grupos CP3 e CP4 utilizaram a solda GTAW. CP1 e CP3 foram conduzidos em um galpão fechado e CP2 e CP4 em área aberta. Todos os processos FAVE foram realizados em triplicata, permitindo verificar a consistência dos resultados e reduzir o impacto de variações aleatórias, proporcionando médias mais precisas para a análise final.

As soldagens foram feitas em chapas de aço ASTM-A36, com dimensões de 150mm x 140mm x 9mm. Portanto, foram necessárias 12 chapas para completar todo o experimento. Estas foram cuidadosamente preparadas antes da realização do procedimento de solda. A preparação incluiu a limpeza das superfícies das chapas com uma escova de aço para remover qualquer contaminação que possa interferir na qualidade da solda.

Foi utilizada uma esmerilhadeira para marcar uma linha guia em cada chapa. Esta linha serviu como referência para o soldador, garantindo que a soldagem fosse realizada precisamente ao longo do trajeto pré-definido. A Figura 1 representa as chapas após a preparação.

Figura 1 – Chapas de aço preparadas para soldagem



Fonte – Dados da pesquisa

Além disso, os equipamentos de soldagem foram devidamente preparados antes do início do experimento. Isso incluiu a verificação da máquina de solda, dos medidores de vazão de gás argônio e a preparação dos eletrodos e das tochas, assegurando a precisão dos dados coletados.

Para ambas as técnicas foi utilizada a posição plana e os procedimentos foram delineados pela Norma AWS D1.1/D1.1M (An American National Standard, 2010) para assegurar consistência e qualidade.

Para o método SMAW, foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos: a Máquina de Solda TDC445 ED 430A Trifásica - BAMBOZZI-TDC445, consumíveis de solda ESAB E-7018 de diâmetro 3,25 mm e comprimento 350 mm com revestimento básico, alicate eletrodo, e estufa para o armazenamento e tratamento dos eletrodos.

Para o método GTAW, os materiais incluíram a mesma Máquina de Solda TDC445, cilindro de gás argônio, cabo de aterramento com grampo terra, uma tocha TIG completa, eletrodo de tungstênio de tório e metal de adição.

A Figura 2 apresenta os principais equipamentos utilizados:

Figura 2 – Principais equipamentos utilizados para a realização das soldagens GTAW e SMAW



Fonte – Dados da pesquisa

- 1 – Garrafa de gás argônio
- 2 – Máquina de solda utilizada
- 3 – Alicates eletrodo
- 4 – Tocha Tig
- 5 – Eletrodo Esab7018

Na avaliação dos dois processos de soldagem, foram verificadas as seguintes variáveis:

- Consumo dos materiais: os consumíveis foram pesados antes e depois das soldagens para calcular o consumo de material.
- Para o GTAW, a quantidade de gás argônio consumido foi calculada por meio da vazão do equipamento, tempo de soldagem e densidade do gás de 1,784 g/l.
- O consumo de energia elétrica foi calculado em Kwh, por meio de cálculo utilizando a corrente em que a máquina foi calibrada e a voltagem medida pelo voltímetro.
- Produtividade: o tempo para completar cada soldagem foi cronometrado, fornecendo uma medida direta da eficiência do processo.
- Acabamento Visual: uma inspeção visual foi realizada em cada solda, seguindo os critérios da NBR 16079-1 (ABNT, 2012) que define verificação da aparência geral

da solda, que inclui a uniformidade do cordão, a ausência de trincas, porosidades, inclusões de escória e outros defeitos superficiais.

Além disso, foram adotadas medidas de segurança rigorosas, como o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), incluindo máscaras, luvas e aventais de raspa, conforme a norma trabalho a quente NR 34.5 (Brasil, 2011).

A análise dos dados coletados foi realizada no *Microsoft Office Excel* com ajuda de estatística descritiva.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Consumo de Material

A Tabela 1 apresenta os dados de consumo de material durante as soldagens:

Tabela 1 – Dados de consumo de material relacionados por tipo de soldagem e ambiente da realização da soldagem

| Tipo de Soldagem | Ambiente | Média de consumo(g) | Desvio Padrão |
|------------------|----------|---------------------|---------------|
| GTAW | Fechado | 10,31 | 0,81 |
| GTAW | Aberto | 10,35 | 0,51 |
| SMAW | Fechado | 26,04 | 0,58 |
| SMAW | Aberto | 26,71 | 1 |

Fonte: Elaborado pelos autores

O consumo de material na técnica GTAW foi em média 60,83% menor do que o consumo da técnica SMAW. Isso pode ser explicado, segundo Souza *et.al.* (2014), porque o consumo de metal de adição no GTAW tende a ser menor em comparação ao SMAW, já que no GTAW o metal de adição é introduzido manualmente, permitindo maior controle sobre a quantidade utilizada. A variação de utilização de material em ambas as técnicas não apresentou diferença significativa entre os ambientes aberto e fechado.

4.2 Gás utilizado

No processo SMAW, não há a utilização de gás de proteção. Já no caso da GTAW, necessita-se a utilização do gás. Na soldagem em ambiente fechado, o consumo médio foi de 29,07 gramas com desvio padrão de 1,34 enquanto em ambiente aberto o consumo médio de gás aumentou para 36,70 gramas com desvio padrão de 2,35. Houve um aumento de 26,24% que pode ser explicado devido perda de eficiência do gás de proteção devido a influência de correntes de ar que dissipam o gás de proteção (Souza, 2011).

4.3 Potência elétrica utilizada

A Tabela 2 apresenta dados do da potência utilizada em durante as soldagens:

Tabela 2 – Dados de potência elétrica utilizada relacionada por tipo de soldagem e ambiente da realização da soldagem

| Tipo de Soldagem | Ambiente | Média de consumo (KWh) | Desvio Padrão |
|-------------------------|-----------------|-------------------------------|----------------------|
| GTAW | Fechado | 0,074 | 0,003 |
| GTAW | Aberto | 0,094 | 0,006 |
| SMAW | Fechado | 0,053 | 0,000 |
| SMAW | Aberto | 0,054 | 0,000 |

Fonte: Elaborado pelos autores

A técnica SMAW apresentou uma utilização 43% menor de potência elétrica quando comparada à técnica GTAW. Além disso, a técnica SMAW apresentou consumo mais estável na variação de ambiente, enquanto na técnica GTAW houve um aumento de 27,02% no consumo quando em ambiente aberto. Segundo (Schwedersky; Dutra, 2011) os processos com eletrodo consumível como no caso do SMAW apresentam eficiência energética maior que os processos com eletrodo não consumível como o GTAW, a explicação seria que na SMAW a energia gerada seria despreendida sobre o metal base enquanto na GTAW a energia seria perdida para o eletrodo reduzindo a eficiência do processo.

4.4 Produtividade

A Tabela 3 apresenta os tempos de soldagem de cada técnica:

Tabela 3 – Tempos de soldagem relacionados por tipo de soldagem e ambiente da realização da soldagem

| Tipo de Soldagem | Ambiente | Média de tempo (min) | Desvio Padrão |
|-------------------------|-----------------|-----------------------------|----------------------|
| GTAW | Fechado | 01:22,01 | 00:04,01 |
| GTAW | Aberto | 01:43,01 | 00:07,01 |
| SMAW | Fechado | 00:58,01 | 00:01,01 |
| SMAW | Aberto | 00:59,01 | 00:01,01 |

Fonte: Elaborado pelos autores

Em termos de tempo de soldagem, a técnica SMAW apresentou menores tempos do que a GTAW média de 41,88% menor, com variação irrelevante entre os ambientes. Já a soldagem GTAW apresentou uma média 25,60% maior de tempo em ambiente aberto do que em ambiente fechado. Segundo (Groover, 2017), a GTAW é um processo lento, caro e com baixa produtividade e que sofre com variações não controlados do ambiente, o que pode indicar o motivo das variações de tempo.

4.5 Acabamento visual

A Figura 3 apresenta as soldagens em ambiente aberto e a Figura 4 as soldagens em ambiente fechado:

Figura 3 – Soldagens em ambiente externo



Fonte - Dados da pesquisa

Figura 4 – Soldagens em ambiente fechado



Fonte - Dados da pesquisa

A soldagem SMAW apresentou uma qualidade consistente segundo a norma NBR16079-1 em ambos os ambientes, aberto e fechado, sem a formação de trincas, porosidades e discontinuidades.

A técnica GTAW exibiu diferenças em relação aos cenários de soldagem, no espaço fechado demonstrou uma qualidade visual excelente, contudo, em área aberta mostrou certa inconsistência perante a norma NBR16079-1, com presença de porosidade ao longo do cordão de solda. Essa inconsistência segundo (Silva; Maciel, 2022) é explicada por que juntas com proteção gasosa submetidas a corrente de ar mesmo de baixa intensidade tendem a apresentar altos níveis de poros ao se comparar a juntas isentas de corrente de ar. Ainda segundo esse estudo, o resfriamento causado pelas correntes de ar mais fortes pode alterar a microestrutura do cordão de solda, podendo diminuir a dureza da amostra.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo atingiu o objetivo de comparar os processos de soldagem SMAW e GTAW aplicados em aço ASTM-A36 sob diferentes condições de ambiente. Os resultados indicaram que o GTAW — embora tenha menor consumo de recursos e oferecido um acabamento visual bem homogêneo em ambientes fechados — sofreu com influências externas quando aplicado em áreas abertas. Por outro lado, o SMAW demonstrou maior consistência visual e produtividade em ambos os ambientes, apresentando também menor custo e tempo de execução. Esses achados sugerem que a escolha do processo de soldagem deve considerar o equilíbrio entre qualidade visual e custos, conforme as condições específicas de aplicação.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16079-1**: Ensaio não Destrutivo— Terminologia Parte 1— Descontinuidade em juntas soldadas. Brasília, 2012.

AWS – American Welding Society. **AWS D1.1/D1.1M**: Código de Soldagem Estrutural-Aço. Miami, 2010. Disponível em: [D1.1-D1.1M-2010-PR-PV.pdf \(aws.org\)](https://www.aws.org/Portals/0/D1.1-D1.1M-2010-PR-PV.pdf). Acesso em: 01 mai. 2024.

BAGHEL, P. K. Effect of SMAW process parameters on similar and dissimilar metal welds: An overview. **Heliyon**, [s.l.], n.8, e12161, 2022. Disponível em: [S2405-8440\(22\)03449-1.pdf \(cell.com\)](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.12161). Acesso em 25 mai. 2024.

BRANDÃO, A. A.; TAVARES, S. S. M.; BREVES, I. M. S.; PARDAL, J. M.; PIMENTA, A. R. Análise Comparativa dos Processos TIG e Eletrodo Revestido Aplicado a Soldagem em operações em dutos de aço ao carbono para linhas de distribuição de gás. **Revista Soldagem & Inspeção**, [s.l.], v.28, e2808, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/si/a/dDFMR4CdX8VwJTtz6QRX8jb/> . Acesso em 01. out. 2024.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 34**: Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção, Reparação e Desmonte Naval. Portaria SIT nº 200, de 20 de janeiro de 2011. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-34-atualizada-2022.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2024.

FARIA, I. C. S.; FILLETI, R. A. P.; HELLENO, A. L. Evolução dos processos de automação em células de soldagem: uma revisão da literatura. **Soldagem & Inspeção**, [s.l.], v.27, e.2704, 2022. Disponível em: [scielo.br/j/si/a/xCvVQVWmBkkH8pBmDmcyPxR/?format=pdf](https://www.scielo.br/j/si/a/xCvVQVWmBkkH8pBmDmcyPxR/?format=pdf). Acesso em 15 mar. 2024.

FERRARESI, R. N.; CAMPOS, V. C.; CICELINI, G.; SILVA, W. C. D.; REIS, R. P.; FERRARESI, V. A. Análise de ensaios não-destrutivos para inspeção de tubos de trocadores de calor do tipo casca & tubos: campo remoto (RFT) versus sistema de inspeção rotativa interna (IRIS). **Soldagem & Inspeção**, [s.l.], v.26, e.2613, 2021. Disponível em: scielo.br/j/si/a/dwh5SnbYxWt5mkZsQzwtghM/?format=pdf&lang=pt. Acesso em 01. out. 2024.

FONSECA, E. S.; SILVA, K. A.; SANTANA, A. I. C.; PINTO, W. C. L. Estudo do comportamento do aço A-36 em meios contendo íons cloreto e íons sulfatos. **Revista Univap**, São José dos Campos, v. 26, n. 51, 2020. Disponível em: [Vista do ESTUDO DO COMPORTAMENTO DO AÇO A-36 EM MEIOS CONTENDO ÍONS CLORETO E ÍONS SULFATOS \(univap.br\)](https://vista.do.univap.br/estudo-do-comportamento-do-aco-a-36-em-meios-contendo-ions-cloreto-e-ions-sulfatos). Acesso em 01 abr. 2024.

FONTES, R. E. B.; FIGUEIRÊDO, A. F.; PEREIRA, J. N.; MELO, R. H. F.; COSTA, A. L. M. Avaliação da resistência à corrosão de revestimentos de aço inoxidável AWS E308-L T1 aplicados por soldagem por FCAW em aços ASTM A36. In: Rio Oil & Gas Expo and Conference. **Conferência**, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: [Evaluation-of-corrosion-resistance-of-stainless-steel-coatings-AWS-E308-L-T1-applied-by-FCAW-welding-in-ASTM-A36-steels.pdf \(researchgate.net\)](https://www.researchgate.net/publication/354844444-Evaluation-of-corrosion-resistance-of-stainless-steel-coatings-AWS-E308-L-T1-applied-by-FCAW-welding-in-ASTM-A36-steels). Acesso em: 2 jun. 2024.

FRAGOZES, K. S. **Estudo da influência da espessura do substrato na dureza de peças fabricadas por Manufatura Aditiva por Deposição a Arco (MADA)**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2023. Disponível em: [TCC KarolinedaSilvaFragozes.pdf \(ufam.edu.br\)](https://ufam.edu.br/tcc/karolinedasilvafragozes). Acesso em 20 mai. 2024.

GARCIA FILHO, F. C.; MONTEIRO, S. N. Histórico e processamento das ligas metálicas de alta entropia. In: Congresso Anual da ABM, 73, 2018, São Paulo. **Anais [...]**. Disponível em: <https://abmproceedings.com.br/ptbr/article/download-pdf/historico-e-processamento-das-ligas-metlicas-de-alta-entropia>. Acesso em 01 mai. 2024.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 7.ed. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2021.

GROOVER, M. P. **Fundamentos da manufatura moderna**. 5.ed. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2017.

HAIDER, S.F.; QUAZI, M.M.; BHATTI, J.; BASHIR, M. N.; ALI, I. Effect of Shielded Metal Arc Welding (SMAW) parameters on mechanical properties of low-carbon, mild and stainless-steel welded joints: A review. **Journal of Advances in Technology and Engineering Research**, [s.l.], n.5, p.191-198, 2019. Disponível em: [PDF\) Efeito dos parâmetros de soldagem a arco de metal blindado \(SMAW\) nas propriedades mecânicas de juntas soldadas de baixo carbono, aço macio e aço inoxidável: uma revisão \(researchgate.net\)](https://www.researchgate.net/publication/354844444-Efeito-dos-parâmetros-de-soldagem-a-arco-de-metal-blindado-SMAW-nas-propriedades-mecânicas-de-juntas-soldadas-de-baixo-carbono-aço-macio-e-aço-inoxidável-uma-revisão). Acesso em 29 mai. 2024.

ISO – **International Standards Organization. ISO 3834**: Requisitos da qualidade para soldagem por fusão de materiais metálicos. Brasília, 2012.

LOPES, F. E.; SANTOS, F.S. **Estudo sobre a evolução dos processos de união na indústria automobilística**. 2020. Monografia (ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA SOLDAGEM) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/35072/1/Monografia%20Final%20Versao%205.pdf> .Acesso em: 01 out. 2024.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem: Fundamentos e Tecnologia**. 4. Ed. [s.l.], Gen Ltc, 2016.

MARTIM, H. C.; SANTOS, J. W. F.; RIBEIRO, L. P. Levantamento preliminar do panorama patentário dos processos de soldagem por eletrodo revestido, Tig e Mig/Mag. **REVISTA INGI**, Aracaju, vol. 6, n.4, p. 1838-1847, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.51722/ingj.v6.i4.229> . Acesso em 15 abr. 2024.

MARTIM, H.C.; VILARINHO, L.O. Estudo de Campos Magnéticos Emitidos em Processos de Soldagem Eletrodo Revestido e TIG. **Soldagem & Inspeção**, [s.l.], v. 3, n. 2, p. 292-305, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/si/a/8LfzSHmqxYQ9Mj5RkSjq3kd/?format=pdf&lang=pt> . Acesso em: 01 mai. 2024.

MELO, R. H. F. **AVALIAÇÃO DA UNIÃO DE CHAPAS FINAS DE LIGAS COM MEMÓRIA DE FORMA NITI PELOS PROCESSOS DE SOLDAGEM GTAW, PAW E LBW**. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017. Disponível em: <https://bdtd.ufcg.edu.br/jspui/bitstream/riufcg/16072/3/RAPHAEL%20HENRIQUE%20FALC%3%83O%20DE%20%20MELO%20TESE%20%28PPG-CEMat%29%20CCT%202017.pdf> . Acesso em: 20 jun. 2024.

MICIAN, M.; FRATRIK, M.; KAJANEK, D. Influence of Welding Parameters and Filler Material on the Mechanical Properties of HSLA Steel S960MC Welded Joints. **Metals**, [s.l.], v.11, n.305, p. 1-18, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/349261521_Influence_of_Welding_Parameters_and_Filler_Material_on_the_Mechanical_Properties_of_HSLA_Steel_S960MC_Welded_Joints . Acesso em 20 mai. 2024.

PEREIRA, D. H. M.; PEREIRA, D. H. M.; ROLIM, T. L.; FERREIRA, R. A. S. Análise das tensões residuais utilizando o método DPC na soldagem multipasse do aço ASTM A131 AH36 pelos processos SMAW e FCAW. **Soldagem & Inspeção**, [s.l.], v.25, e.2513, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/si/a/f9ZBprZ4kTMM4z9df5JbyCB/?format=pdf#:~:text=Resumo%3A%20As%20tens%C3%B5es%20residuais%20%28TR%29%20nas%20juntas%20soldadas,processos%20eletrodo%20revestido%20%28ER%29%20e%20arame%20tubular%20%28AT%29> . Acesso em 12 mar. 2024.

SILVA, E. B.; MACIEL, T. M. Influência da velocidade de correntes de ar sobre a porosidade em juntas soldadas pelo processo MIG/MAG. **Revista Matéria**, [s.l.], v. 27, n. 2, 2022. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rmat/a/qf8rgb945tSmwqZgYYYYLTJ/?format=pdf&lang=pt>

Acesso em: 25 out. 2024.

SOUZA, C. I. **Análise Comparativa dos processos de soldagem GMAW e FCAW com transferência metálica por curto-circuito na posição horizontal**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14888/1/AnaliseComparativaProcessos.pdf> . Acesso em 30 out. 2024.

SOUZA, K. G. S.; LAURSEN, A.; MACIEL, T. M.; MELO, J. B. C. A.; SILVA, A. A. Avaliação e comparação dos processos SMAW, FCAW e GTAW, através da análise microestrutural e microdureza da raiz e do acabamento de juntas soldadas de aços API 5 L X65 e X70. *In*: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 8., 2014, Uberlândia. **Congresso** [...]. Uberlândia: UFCG, 2014. Disponível em: <https://www.abcm.org.br/anais/conem/2014/PDFS/CONEM2014-1509.pdf> . Acesso em 30 out. 2024.

SCHWEDERSKY, M. B.; DUTRA, J. C. Um estudo da eficiência térmica dos principais processos de soldagem a arco, [s.l.], **Associação Brasileira de Soldagem**. Disponível em: https://labsolda.ufsc.br/publicacoes/artigos/2011_consolda_mateus.pdf . Acesso em: 30 out. 2024.

VIEIRA, F. D.; RUBAIE, K. S. F. A.; PRETI, O.; RICHTER, R. O.; DELIJAICOV, S. Impacto nas Propriedades Mecânicas e Tensões Residuais do Material ASTM A572 Grau 50 Soldado por Arco Submerso com Alívio de tensões Térmico. **Soldagem & Inspeção**, [s.l.], v.24, e.2431, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/si/a/3vKYfKxngQ9BWV4Gk944NKF/?format=pdf> . Acesso em: 16 mai. 2024.

VILELA, L. B. M.; FARIA, G. L.; ALCÂNTARA, C. M.; OLIVEIRA, T. R.; COTA, A. B. Efeito da taxa de resfriamento sobre a formação de martensita em um aço inoxidável ferrítico com 11%Cr e baixos teores de intersticiais. **Revista Matéria**, [s.l.], v.24, n.1, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/TJFC8MKZqFpkH8QttvYwRxJ/?format=pdf&lang=pt> . Acesso em: 01. out. 2024.

WELMAN, K. **Welding Processes handbook**. Inglaterra: Woodhead Publishing Ltd, 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/268011854_A_Ferramenta_5S_e_suas_Implicacoes_na_Gestao_da_Qualidade_Total . Acesso em 01 jun. 2024.