



Estudo comparativo das resistências mecânicas entre os processos de soldagem GMAW: manual e automatizada

Alanis Tiscoski¹

Gilson De March²

Anderson Daleffe³

João Mota Neto⁴

Henrique Cechinel Casagrande⁵

Resumo: Este estudo realiza uma análise comparativa das resistências mecânicas entre os processos de soldagem GMAW (Gas Metal Arc Welding) para soldagem manual e automática. O gás utilizado é uma mistura de dióxido de carbono (CO₂) e argônio (Ar), caracterizando assim um processo MAG (Metal Active Gas). Com foco na avaliação das propriedades mecânicas e microestruturais das juntas soldadas em aço SAE 1020. Foram conduzidos ensaios de tração, microdureza Vickers, análise metalográfica e inspeção termográfica. Os resultados indicam que a soldagem automatizada proporciona maior homogeneidade microestrutural, menor variação de dureza e controle térmico mais eficiente, refletindo em maior confiabilidade do processo. Em contraste, a soldagem manual apresentou maior dispersão nos resultados, com zonas de dureza elevada que podem comprometer o desempenho mecânico. Conclui-se que, embora a soldagem manual ainda seja aplicável em contextos específicos, a automatização se destaca como alternativa mais eficiente para ambientes industriais que exigem alta repetibilidade e controle de qualidade.

Palavras-chave: Soldagem MAG; Automação industrial; Propriedades mecânicas; Microestrutura.

1 INTRODUÇÃO

A soldagem é um dos processos fundamentais na engenharia mecânica e mecatrônica, desempenhando um papel essencial na união de materiais metálicos em setores como o automotivo, naval e metalúrgico. Dentre os diversos métodos existentes, destaca-se a soldagem MAG (Metal Active Gas), amplamente utilizada

¹ Engenharia Mecatrônica, UNISATC. E-mail: alanis.tiscoski@satc.edu.br

² Doutorando UNISATC. E-mail: gilson.march@satc.edu.br

³ Doutor, UNISATC E-mail: anderson.daleffe@satc.edu.br

⁴ Doutor, UNISATC. E-mail: joao.neto@satc.edu.br

⁵ Doutorando, UNISATC., E-mail: henrique.casagrande@nione.tec.br



devido à sua eficiência, qualidade e aplicabilidade tanto em processos manuais quanto automatizados (AWS, 2021).

A escolha entre a execução manual e a automatizada impacta diretamente a produtividade, a uniformidade das soldas e os custos de produção. Com o avanço da automação industrial, a busca por processos mais eficientes e repetíveis tornou-se prioridade. Nesse contexto, a soldagem automatizada tem se mostrado uma solução eficaz, especialmente em aplicações que demandam alto volume e padronização. No entanto, sua viabilidade depende de fatores como os custos de implantação, a complexidade das peças e os requisitos de qualidade final (Codinter, 2024; Mata, 2024).

Por outro lado, a soldagem MAG manual continua sendo amplamente utilizada em virtude de sua flexibilidade operacional. Esse método permite ajustes em tempo real durante a execução da solda, o que é vantajoso em ambientes com espaço limitado, peças com geometrias complexas ou produções em pequena escala (Bertinatto, 2024; Oliveira, 2023). No entanto, a qualidade da solda depende diretamente da habilidade do soldador, podendo haver variações que afetam a integridade da junta (Silva; Almeida, 2022).

Diante desse cenário, esta pesquisa busca identificar as principais diferenças entre a soldagem MAG manual e a automatizada, avaliando como cada uma influencia nas propriedades mecânicas, na microestrutura e na dureza das soldas. Para isso, foram realizados ensaios experimentais de tração, metalografia e dureza, visando comparar de forma quantitativa a qualidade das juntas produzidas pelos dois métodos. A justificativa deste estudo baseia-se na necessidade crescente de otimizar processos de soldagem, garantindo maior confiabilidade estrutural, eficiência produtiva e redução de custos. A decisão entre a aplicação manual ou automatizada deve levar em consideração não apenas aspectos econômicos, mas também a influência direta do processo nas propriedades mecânicas da solda (Pereira, 2021).

Autores como Rakoski (2013) e Pinto e Okada (2022) destacam que a robotização e a automação contribuem significativamente para a redução de defeitos e aumento da produtividade, mesmo que demandem maior investimento inicial. Já em ambientes com menor demanda, a soldagem manual ainda se mostra competitiva, especialmente pela sua adaptabilidade.

O presente estudo contribui para o campo da engenharia mecatrônica ao fornecer dados experimentais que auxiliem na tomada de decisões sobre o processo



de soldagem mais apropriado para diferentes contextos industriais. A comparação entre os métodos busca fornecer subsídios técnicos tanto para aplicações em larga escala quanto para produções específicas, em que a flexibilidade e a qualidade da solda são determinantes.

3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Metodologicamente, este trabalho adota uma abordagem experimental, com a realização de ensaios mecânicos em amostras soldadas manualmente e por processos automatizados. A análise metalográfica permitiu avaliar a microestrutura das soldas, enquanto os ensaios de tração e dureza fornecerão informações sobre a resistência mecânica das juntas. Também foi realizado ensaio térmico por meio da câmera termográfica, permitindo assim detectar falhas em sua estrutura. A comparação dos resultados possibilitará uma avaliação crítica sobre os impactos de cada técnica na qualidade final do produto.

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

As amostras metálicas foram confeccionadas em Aço SAE 1020 de 6,35 mm de espessura, 150mm de comprimento e 75mm de largura (como demonstrado na Figura 06), devido à sua elevada soldabilidade e ampla aplicação industrial (figura 03). Tanto a soldagem manual quanto a automatizada foram realizadas utilizando o processo MAG, que se destaca pela alta taxa de deposição e pela facilidade de operação. No processo manual, o cordão de solda foi aplicado por um soldador qualificado, utilizando arame sólido AWS A5.18 ER70S-6, o mesmo empregado na versão automatizada, esta realizada por meio de um sistema robotizado programado para manter parâmetros constantes (como demonstrado na Figura 12), como velocidade de avanço e tensão. A máquina do processo automatizado é a Máquina de solda Lincoln Electric modelo Power wave E500, já no processo manual é a Máquina de solda Vulcano Flex MIG 350i.

Para os ensaios mecânicos, foi utilizada a Máquina de ensaio universal Emic DL10000, responsável pela execução do ensaio de tração, e o microdurômetro HMV-2TADW da SHIMADZU, para a medição da dureza nas regiões da junta soldada, da ZTA (zona termicamente afetada) e do metal base. A análise metalográfica foi



conduzida com o uso de um microscópio metalográfico OLYMPUS BX51M, possibilitando a observação da microestrutura. Além disso, foi empregada uma câmera termográfica Optris PI 08M de alta resolução, que permitiu a avaliação térmica durante e após a soldagem. Foram seguidas as normas de segurança durante todas as etapas experimentais.

3.1.1 Consumível Sólido AWS A5.18 ER70S-6

Foi utilizado o consumível sólido AWS A5.18 ER70S-6, cuja composição química, inclui elementos como carbono, manganês e silício, além de baixos teores de fósforo e enxofre. Essa composição proporciona excelente estabilidade do arco elétrico, boa penetração e elevada resistência mecânica, mesmo em condições de soldagem que envolvem pequenas impurezas superficiais.

Na Tabela 01, estão apresentados os resultados dos testes realizados, os quais confirmam a composição química mencionada.

Tabela 01: Composição química do consumível

Composição química	Valores % em peso
Carbono (C)	0,104
Silício (Si)	0,657
Manganês (Mn)	1,259
Fósforo (P)	0,014
Enxofre (S)	0,010
Cromo (Cr)	0,020
Molibdênio (Mo)	0,014
Níquel (Ni)	0,014
Cobre (Cu)	0,093
Ferro (Fe)	Bal.

Fonte: Do autor

3.1.2 Preparação do corpo de Prova

Corpos de prova de 150 mm × 75 mm × 6,35 mm foram preparados com chanfro conforme a norma AWS D1, utilizando fresa para confecção do chanfro. Em seguida, foram separados por processo de soldagem e submetidos a ensaios de tração, microdureza Vickers, metalografia e termografia.

Figura 06: Preparação do corpo de prova: a) Fresa para confecção do chanfro; b) Chapa com chanfro.



Fonte: Do Autor

Figura 07: Fresamento de chanfros



Fonte: Do Autor

3.2.1 Norma para junta soldada

Cada corpo é preparado segundo a norma AWS D1 .1/D1 .1 M, como mostrado na figura 08, onde será realizado o chanfro para solda, de 60°.

Figura 08: especificação de chanfro para solda

Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness (U = unlimited)		Groove Preparation			Allowed Welding Positions	Weld Size (S)	Notes
		T ₁	T ₂	Root Opening Root Face Groove Angle	Tolerances				
					As Detailed (see 5.4.2.2)	As Fit-Up (see 5.4.2.7)			
SMAW	BC-P2	6 min.	U	R = 0 l = 1 min. α = 60°	+2, -0 +U, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	All	D	b, e, f, j
GMAW FCAW	BC-P2-GF	6 min.	U	R = 0 l = 3 min. α = 60°	+2, -0 +U, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	All	D	a, b, f, j
SAW	BC-P2-S	11 min.	U	R = 0 l = 6 min. α = 60°	+2, -0 +U, -0 +10°, -0°	+3, -2 ±2 +10°, -5°	F	D	b, f, j

Fonte: AWS D1 .1/D1 .1 M, página 113

3.2.2 Solda Manual

A soldagem foi realizada com a máquina Vulcano Flex MIG 350i – 2 roletes, configurada com corrente de 8,72 A, tensão de 23 V e vazão de gás de proteção de 12 L/min, utilizando uma mistura gasosa composta por 85% de argônio e 15% de CO₂. Durante o processo, registraram-se picos de corrente e tensão de até 190 A e 32 V, respectivamente.

Figura 09: Parâmetros configurados na máquina



Fonte: Do Autor

A solda foi feita por um soldador com a técnica conhecida como “puxada” na tocha em um ângulo aproximado de 30°. Devido à espessura do material, não houve necessidade de tecimento do cordão.

Figura 10: Soldagem



Fonte: Do Autor

3.2.3 Solda Automatizada

A máquina utilizada para a soldagem automatizada foi a Lincoln Electric modelo Power Wave E500, acoplada ao braço robótico Yaskawa AR1440, mostrado na Figura

11, com os parâmetros e programação apresentados na Figura 12. Foram mantidos parâmetros equivalentes ao processo manual (corrente média de 8,72 A, tensão de 23 V e vazão de gás de 12 L/min), garantindo a comparabilidade entre os processos.

Figura 11: Máquina de solda automatizada e braço robótico



Fonte: Do Autor

Foi utilizada a mesma técnica, sem tecer o cordão e a mesma angulação média.

Figura 12: Programação do robô

```
JOB CONTENT: MASTER  
J:CORDAOGILSON  
CONTROL GROUP: R1  
S:0000  
TOOL: **  
0000 NOP  
0001 0001 MOVJ VJ=20,00  
0002 0002 MOVL V=200,0  
0003 ARCON PROCF(1) WFS=4,7 V=20,0  
0004 0003 MOVL V=3,7  
0005 0004 MOVL V=10,0  
0006 ARCOF PROCF(1) WFS=3,5 V=19,0  
0007 0005 MOVL V=200,0  
0008 CALL JOB:HOME_HEMIDUE  
0009 END  
MOVJ VJ=0,78
```

Fonte: Do Autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Antes de iniciar os testes, depois de fazer a solda, os corpos de prova foram preparados com usinagem (Fresa ROMI U-30), retificação (Retificadora Mello P36) e o corte a laser. Foram feitos três corpos de prova para cada realizado, totalizando doze corpos de prova.

4.1 ANÁLISE METALOGRAFICA

Com base na análise metalográfica, foi possível verificar as diferenças microestruturais decorrentes dos diferentes processos de soldagem utilizados na união dos materiais estudados. A análise revelou que a zona afetada pelo calor apresentou alterações específicas na formação das fases, influenciadas pelo método de soldagem empregado. Notou-se que a soldagem automática proporcionou uma microestrutura mais uniforme, evidenciando menor grau de heterogeneidade e maior controle das condições térmicas durante o processo.

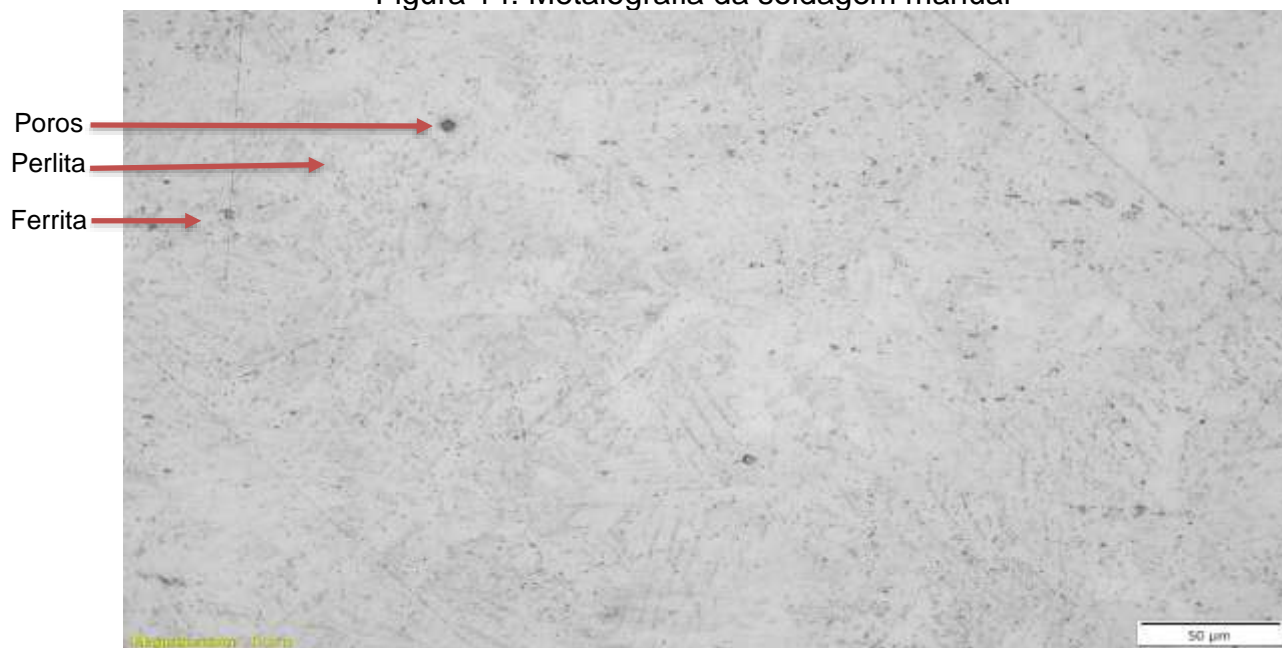
Figura 13: Metalografia Robotizada



Fontes: Do Autor

Por outro lado, a soldagem manual apresentou maior variabilidade na estrutura microconstituente, refletindo possíveis imperfeições e diferenças na distribuição das fases. Na figura 13 conseguimos analisar e identificar o material de base e a solda, como na figura 14 a solda ficou mais homogênea, não foi possível analisar e identificar o ponto de junção da solda e do material.

Figura 14: Metalografia da soldagem manual



Fontes: Do Autor

A análise microestrutural comparativa revelou diferenças significativas entre os processos de soldagem manual e automatizada. A soldagem automatizada apresentou microestrutura mais uniforme, resultado do controle preciso de parâmetros como temperatura, velocidade e energia de entrada, favorecendo a repetibilidade e a integridade da junta. Em contraste, a soldagem manual evidenciou maior variabilidade microestrutural, indicando menor consistência e possíveis prejuízos à resistência mecânica e confiabilidade dos componentes em aplicações exigentes.

Na análise metalográfica, observou-se a presença de perlita — constituída pela junção de ferrita e cementita (Fe_3C) — associada a uma concentração de carbono em torno de 0,2%. Essa característica influencia diretamente a dureza do material, uma vez que o aumento do teor de carbono, como o presente no arame ER70S-6 (0,07% de C), tende a elevar a dureza e escurecer as regiões nas imagens metalográficas. Já as áreas mais claras correspondem à ferrita, que, quando presente em maior proporção, indica a baixa concentração de carbono.

Em aços com baixo teor de carbono, predominam grãos de ferrita, facilmente observáveis após ataque com ácido nítrico diluído. No entanto, nas imagens analisadas, os contornos de grão não foram visíveis com clareza. Na soldagem manual, também foram identificados pontos escuros isolados, possivelmente associados a impurezas ou porosidades no material.



4.2 ANÁLISE DE MICRODUREZA VICKERS

O ensaio foi realizado com uma força de 9,807 N em um intervalo de 10 segundos. Com isso, foi comprovada a análise anterior, a qual indica uma maior dureza na solda manual, sendo mais suscetível à quebra.

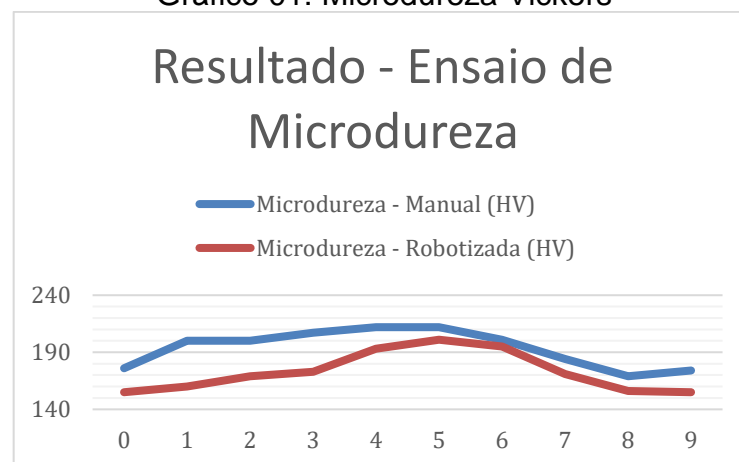
Tabela 02: Resultados dos ensaios de microdureza de Vickers

Posição (mm)	Dureza - Manual (HV)	Dureza – Robotizada (HV)
0	176	155
1	200	160
2	200	169
3	207	173
4	212	193
5	212	201
6	201	195
7	184	171
8	169	156
9	174	155

Fonte: Do Autor

Na tabela 02 conseguimos extrair a informação de microdureza manual, de 193,5 HV, e robotizada, de 172,8 HV, encontrando um desvio padrão de 16,25HV manual e 17,62 HV robotizado. Para melhor observação temos o gráfico onde mostra que a dureza na solda manual aumentou, diferente da robotizada que se manteve o mais fiel possível ao material de base utilizado.

Gráfico 01: Microdureza Vickers



Fonte: Do Autor

No gráfico é possível analisar que a dureza na solda robotizada se manteve mais estável, diferente do manual que teve pontos com maiores durezas e outros com

menores. De acordo com Callister (2007), variações microestruturais — como tamanho de grão, fases presentes ou regiões afetadas por tratamentos térmicos — podem alterar a resistência à penetração em escalas micrométricas. Além disso, mesmo pequenas irregularidades na aplicação manual, como variações no tempo ou na estabilidade da força, podem aumentar a dispersão dos resultados. Como recomendado pela norma ASTM E384, o uso de sistemas automatizados minimiza esses efeitos e proporciona maior reprodutibilidade, o que justifica a menor variação observada na aplicação robotizada.

4.3 ANÁLISE TÉRMICA

Com a câmera termográfica foi analisada a diferença nas temperaturas geradas pelos dois processos.

Figura 15: Termografia manual



Fonte: Do Autor

A Figura termográfica da soldagem manual revela um processo com menor controle térmico e distribuição de calor menos uniforme. A temperatura máxima registrada foi de 1662,4 °C, com variações significativas entre os pontos analisados, indo de 861,5 °C a 1257,0 °C nos arredores. Essa discrepância térmica indica instabilidade durante a aplicação da solda, característica comum em processos manuais, onde fatores como a experiência do operador, a velocidade de aplicação e a inclinação do eletrodo influenciam diretamente na qualidade térmica da junta. A ausência de um padrão uniforme na distribuição do calor pode resultar em falhas como trincas, porosidades ou zonas termicamente afetadas maiores, comprometendo a integridade da solda.

Figura 16: Termografia Robotizada



Fonte: Do Autor

Na Figura termográfica da soldagem robotizada, observou-se uma temperatura máxima superior a 1900,0 °C, com distribuição térmica mais simétrica e controlada. As temperaturas ao redor variaram gradualmente entre 1121,3 °C e 1607,2 °C, evidenciando uma aplicação estável da fonte de calor. Essa precisão resulta do controle programado do robô, que mantém constante a velocidade, o ângulo e a intensidade do arco, promovendo uma fusão mais homogênea e reduzindo tensões residuais e deformações.

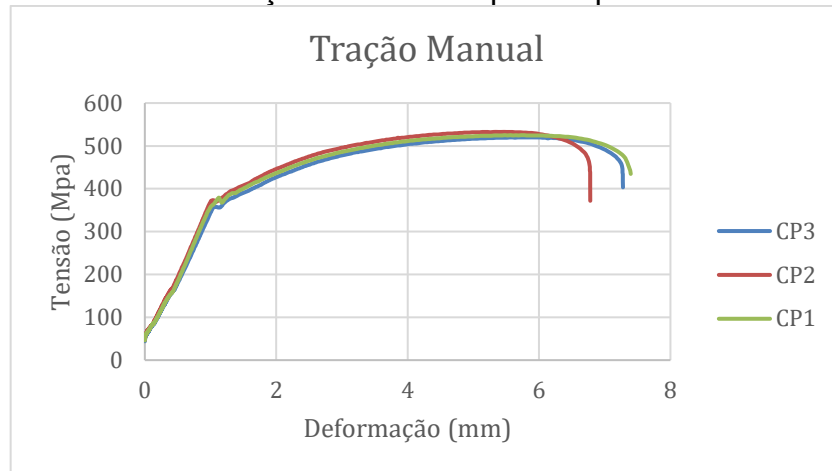
Conclui-se que a soldagem robotizada oferece vantagens expressivas em controle térmico, estabilidade do processo e uniformidade do aquecimento. Enquanto a soldagem manual apresenta variações operacionais que afetam a qualidade da solda, o processo automatizado se destaca pela consistência e repetibilidade, essenciais para aplicações industriais de alta exigência.

De acordo com Gery et al. (2005), o controle da temperatura durante a soldagem é crucial para minimizar tensões residuais e deformações que comprometem a integridade estrutural. Dessa forma, a soldagem robotizada não apenas aumenta a eficiência, como também reduz retrabalhos e prolonga a vida útil das estruturas unidas.

4.4 ANÁLISE DE TRAÇÃO

Com as informações do ensaio, conseguimos analisar o potencial de deformação de três corpos de prova para cada processo e chegar nos seguintes gráficos.

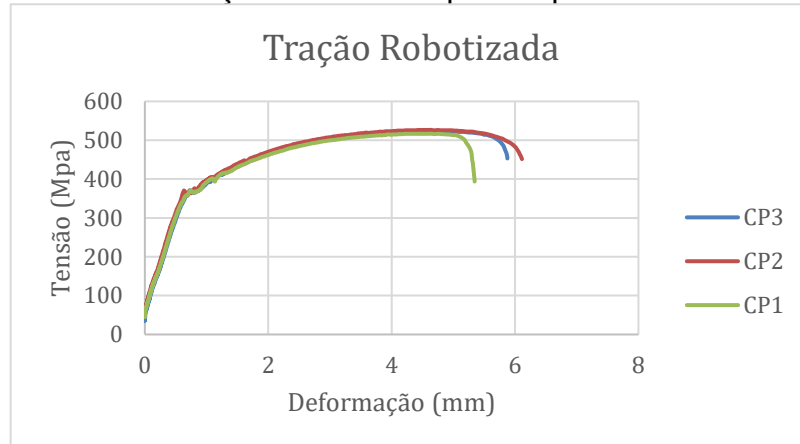
Gráfico 02: Tração dos três corpos de prova manuais



Fonte: Do Autor

É visualizado através da sigla CP os corpos de prova. Onde em ambos os casos estão com valores parecidos de deformação.

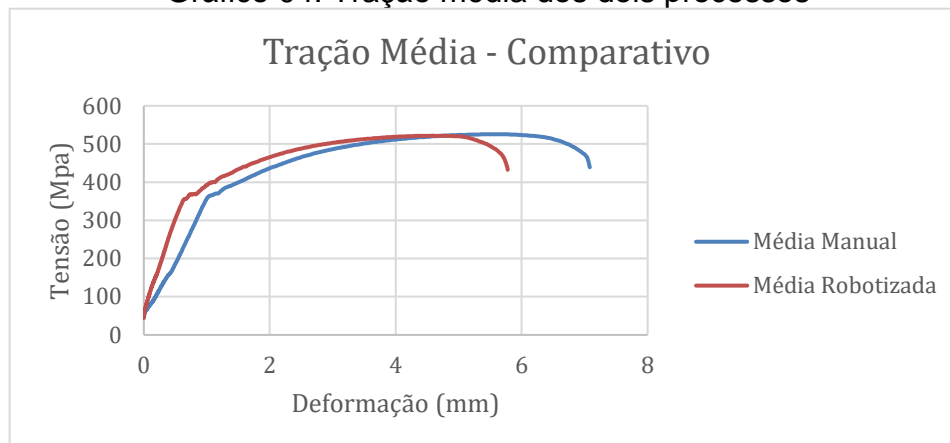
Gráfico 03: Tração dos três corpos de prova Robotizados



Fonte: Do Autor

Para uma melhor comparação, foi preparado um gráfico com a média dos três corpos de prova de cada processo

Gráfico 04: Tração média dos dois processos



Fonte: Do Autor

A análise dos resultados revelou que os níveis de deformação foram relativamente próximos entre os dois processos de soldagem avaliados. Contudo, a junta produzida por meio do processo automatizado apresentou ruptura sob uma deformação inferior à observada na solda realizada manualmente, indicando uma possível diferença na distribuição de tensões ou na integridade estrutural da união obtida.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste trabalho permitiu analisar as principais diferenças entre os processos de soldagem MAG manual e automatizada, tanto do ponto de vista operacional quanto do desempenho mecânico das juntas soldadas. A partir dos ensaios realizados – metalografia, tração, dureza e termografia – foi possível confirmar que a soldagem automatizada apresenta vantagens significativas em termos de uniformidade microestrutural, estabilidade térmica e reprodutibilidade dos resultados.

Apesar da maior dureza observada nas amostras soldadas manualmente, esse aumento pode indicar maior fragilidade, o que é uma característica indesejável em determinadas aplicações estruturais. Por outro lado, a soldagem automatizada se destacou pela consistência nos resultados, apresentando menor dispersão de dureza e um perfil térmico mais homogêneo, o que contribui diretamente para a integridade da junta e redução de defeitos típicos, como trincas e porosidades.



Esses resultados reforçam a importância da automação na indústria, sobretudo em contextos em que se exige alto padrão de qualidade e repetibilidade, como nas linhas de produção em larga escala. Contudo, é fundamental destacar que a soldagem manual ainda possui seu espaço, principalmente em aplicações que exigem maior flexibilidade, ajustes em tempo real ou quando o custo inicial da automação não se justifica economicamente, como em pequenas e médias empresas.

REFERÊNCIAS

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM E384-17: Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials**. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2017.

BERTINATTO, I. **Análise comparativa do processo produtivo e propriedades mecânicas resultantes dos processos de soldagem manual MIG/MAG e a LASER na união de chapas**, 2024. Disponível em: <https://ifrs.edu.br>. Acesso em: 30 out. 2024.

BORELLI, Mário; HERNANDES, Marcelo. **Mecânica: volume 2 – tecnologia dos materiais**. São Paulo: Érica, 2012.

BRAGA, D. S.; SOUSA COSTA, T. A. P. de. **Variação da corrente de soldagem nas características geométricas do cordão de solda em aço vergalhão CA50 através dos processos eletrodo revestido e MIG/MAG**. *Research, Society and Development*, 2024. Disponível em: <https://rsdjournal.org>. Acesso em: 30 out. 2024.

CALLISTER, William D. **Fundamentos da ciência e engenharia dos materiais**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

COELHO, F. G. F.; BRACARENSE, A. Q.; LIMA II, E. J. **Desenvolvimento de um modelo para parametrização do processo GMAW-P aplicado a manufatura aditiva por deposição a arco**. *Soldagem & Inspeção*, 2024. SciELO Brasil. Disponível em: <https://scielo.br>. Acesso em: 30 out. 2024.

GERY, D.; LONG, H.; MAROPULOS, P. G. **Effects of welding speed, energy input and heat distribution on temperature variations in butt joint welding**. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 167, p. 393–401, 2005.

GOMES, M. A. M. P. **Comparação do processo de soldadura MIG-MAG convencional e pulsado**, 2023. Relatório de estágio (Mestrado em Engenharia da Soldadura) – Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Mecânica, Aveiro, 2023. Disponível em: https://ria.ua.pt/bitstream/10773/41647/1/Documento_Manuel_Gomes.pdf. Acesso em: 28 maio 2025.



KIM, Ill-Soo et al. **Design otimizado de redes neurais para controle na soldagem a arco robótica.** *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, v. 20, n. 1, p. 57–63, 2004. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0736-5845\(03\)00068-1](https://doi.org/10.1016/S0736-5845(03)00068-1). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736584503000681>. Acesso em: 30 out. 2024.

KUSS, Alexander et al. **Planejamento automatizado da soldagem MAG robótica com base em modelo de espaço adaptativo.** *Procedia CIRP*, v. 62, p. 612–617, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116307430>. Acesso em: 30 out. 2024.

LIU, Chenfan et al. **Sistema de rastreamento de costura baseado em visão a laser e CGAN para soldagem MAG em múltiplas camadas e múltiplas passagens.** *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, v. 116, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105377>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0952197622003864>. Acesso em: 30 out. 2024.

MATA, F. F. R. da. **Importância da soldagem na manutenção: maximizando a eficiência e qualidade**, 2024. Disponível em: <https://ufmg.br>. Acesso em: 30 out. 2024.

MKRAFT. **SAE 1020 – Barras de Aço Carbono.** Disponível em: <https://www.mkraft.com.br/produtos/barras-de-aco/carbono/sae-1020/>. Acesso em: 28 maio 2025.

OLIVEIRA, G. S. C. **Avaliação crítica dos prós e contras da substituição da soldagem manual com eletrodo revestido pela soldagem semiautomática MIG/MAG**, 2023. Disponível em: <https://ufu.br>. Acesso em: 30 out. 2024.

PEREIRA, V. S. **Análise do processo de soldagem MIG/MAG manualmente e automatizada**, 2021. Disponível em: <http://192.100.247.84>. Acesso em: 30 out. 2024.

PINTO, A. C. L.; OKADA, R. H. **A importância da automação no sistema de soldas da indústria automotiva.** *Revista Interface Tecnológica*, 2022. Disponível em: <https://fatectq.edu.br>. Acesso em: 30 out. 2024.

SILVA, J. C. da. **Estudo de caso: comparativo entre processo de soldagem manual e automatizado**, 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUI), Ijuí, 2020. Disponível em: <https://bibliodigital.unijui.edu.br/bitstreams/a6185cf1-5927-4f38-9171-c0f4e9c3d403/download>. Acesso em: 28 maio 2025.

SILVA, J. R.; COSTA, M. F.; OLIVEIRA, D. S. **Tecnologias Avançadas de Soldagem: Aplicações e Tendências na Indústria 4.0.** *Revista Brasileira de Engenharia de Fabricação*, v. 15, n. 1, p. 45–60, 2022.



SOUZA, S. R. de. **Ensaio mecânicos de materiais metálicos**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2019.