A INFLUÊNCIA DO APORTE TÉRMICO NOS PROCESSOS DE SOLDAGEM GMAW: UMA REVISÃO DA LITERATURA

WANDER PINTO RIBEIRO1
LIZANDRA GONÇALVES CARARA2
RAFAEL NASCIMENTO3
REGINALDO WINTHER4
TARCÍSIO DE GONÇALVES DE BRITO5

RESUMO

O presente estudo realizou uma revisão sistemática da literatura científica recente focada na influência do aporte térmico no processo de soldagem GMAW (*Gas Metal Arc Welding*), também conhecido como MIG/MAG. O principal objetivo foi analisar como essa variável afeta as propriedades mecânicas das juntas soldadas e a microestrutura da Zona Termicamente Afetada (ZTA). Para isso, foram avaliados 54 artigos indexados na base de dados Scopus, sendo que a grande maioria (96,8%) possuía natureza experimental. Os resultados da revisão demonstraram consistentemente que o aporte térmico exerce um impacto direto em diversas características da solda. Entre elas, destacam-se a geometria do cordão de solda, a profundidade de penetração e a formação de diferentes microestruturas na ZTA. Essas alterações microestruturais, por sua vez, influenciam significativamente as propriedades mecânicas do material soldado, como a dureza, a resistência à tração e a resistência ao impacto. A análise da produção científica sobre o tema revelou uma crescente relevância do estudo do aporte térmico no GMAW, com um aumento notável no número de publicações a partir de 2014. O Brasil foi identificado como um dos principais países com contribuições significativas nesta área de pesquisa. Em suma, a revisão da literatura concluiu que o controle preciso do aporte térmico no processo GMAW é uma variável complexa, porém fundamental para garantir a produção de soldas que atendam às exigências das diversas aplicações industriais. O estudo reforça, portanto, a importância de uma compreensão aprofundada da relação entre o aporte térmico, as propriedades microestruturais e o desempenho mecânico das juntas soldadas.

Palavras-chave: Aporte térmico; Propriedades mecânicas; Soldagem GMAW; Zona termicamente afetada (ZTA).

[1] Mestre em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Itajubá
[2] Mestre em Ciência dos Materiais – Universidade Federal de Itajubá
[3] Mestre em Ciência dos Materiais – Universidade Federal de Itajubá
[4]Mestre em Ciência dos Materiais – Universidade Federal de Itajubá
[5] Doutor em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Itajubá

THE INFLUENCE OF HEAT INPUT IN GMAW WELDING PROCESSES: A LITERATURE REVIEW

ABSTRACT

This study aimed to conduct a systematic review of recent literature on the influence of heat input in GMAW, focusing on mechanical properties and the heat-affected zone (HAZ). A total of 54 articles from the Scopus database were evaluated, with 96.8% being experimental studies. The findings indicated that heat input directly affects characteristics such as weld bead geometry, penetration depth, and microstructure formation, impacting properties like hardness, tensile strength, and impact resistance. The study highlighted the growing relevance of this topic, with a significant increase in publications since 2014, noting Brazil as one of the main contributors in this field. It was concluded that controlling heat input is a challenging variable in the GMAW process, but it enables the production of welds suitable for industrial demands, emphasizing the importance of continued exploration of technological advancements in this field for structural and non-structural applications in various materials.

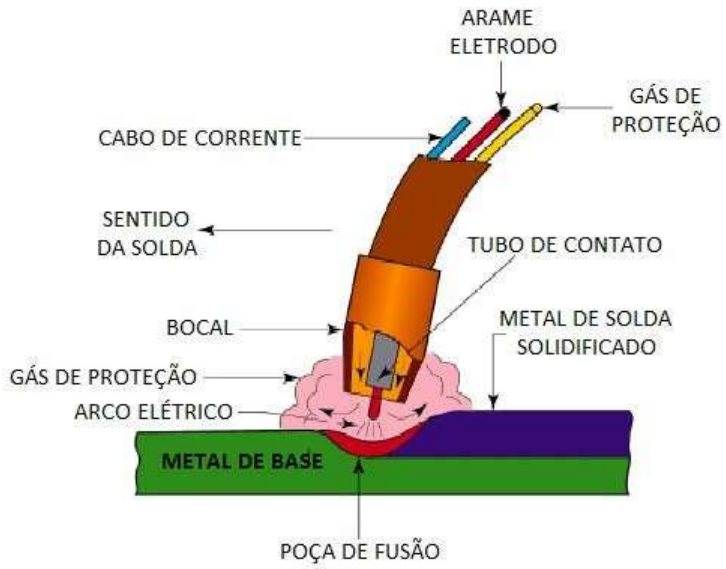
Keywords: *GMAW welding; Heat input; Heat-affected zone (HAZ); Mechanical properties.*

1 Introdução

A técnica de soldagem por arco metálico a gás GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) é utilizada para unir metais por aquecimento, por um arco gerado entre o eletrodo e o metal base. O eletrodo, um arame consumível alimentado continuamente na tocha de soldagem, é aquecido e derretido pelo calor do arco e o gás aplicado protege a poça de fusão contra as reações com o ar conforme a figura 1. O gás pode ser um gás metálico inerte (MIG) ou gás metálico ativo (MAG).

O conceito básico de GMAW foi introduzido nos anos 1920, mas se tornou viável após 1948. O GMAW foi aplicado inicialmente na soldagem de alumínio com o uso de gás inerte de proteção. O desenvolvimento da técnica utilizando correntes contínuas pulsadas, baixas densidades de corrente, gases ativos e mistura de gases possibilitou a aplicação do processo em uma ampla gama de materiais comercialmente importantes como os aços baixo carbono, aços inoxidáveis, cobre e outros além do alumínio. A técnica GMAW permite a soldagem de chapas com espessuras muito finas em quase todas as posições.

Figura 1 – Processo de soldagem MIG/MAG



Fonte: https://www.sumig.com, acesso em 17/12/2024

A energia térmica Q disponível na tocha de soldagem pode ser determinada conforme equação 1.

$$Q = n.(U.I)/V \qquad (1)$$

onde: Q é a energia térmica da tocha, n é a eficiência térmica da soldagem, U é a tensão aplicada, I a corrente fornecida e V é a velocidade de soldagem. A energia térmica disponível para soldagem juntamente com o gás de proteção e as condições de soldagem irão determinar o aporte térmico do processo.

Os gases inertes utilizados no processo GMAW como proteção são o argônio (Ar) e o hélio (He). O dióxido de carbono (CO2) é utilizado como gás ativo. Outros gases como o nitrogênio (N2), oxigênio (O2), hidrogênio (H2) e cloro (Cl2) também são utilizados em misturas específicas para modificar a transferência do metal de soldagem e características finais do cordão de solda.

O tipo de gás utilizado influencia diretamente no aporte térmico do calor gerado no processo de soldagem. Além do tipo do gás de proteção, o processo de soldagem depende também da corrente de soldagem, da voltagem, da velocidade de soldagem, velocidade de alimentação do arame, altura da tocha e fatores ambientais (temperatura ambiente, pré-aquecimento, resfriamento). A interação destes parâmetros determina o Aporte Térmico do processo de soldagem. O Aporte térmico modifica os parâmetros de saída durante soldagem na largura do cordão de solda, profundidade de penetração, tamanho de zona térmica afetada (ZTA) (Zhao et al., 2022).

No aço o aporte térmico modifica a estrutura cristalina do material: Na ZTA, e também na formação de microestruturas de ferrita, perlita, martensita e austenita de maneira que vão influenciar diretamente na dureza da solda durante alguns como: tração e ao impacto (Dagostini et al., 2021).

O processo de soldagem causa mudanças no material de base que afetam as propriedades mecânicas das juntas soldadas. Podem ocorrer trincas induzidas por hidrogênio e amaciamento do metal trincas no metal da solda pode acontecer onde a taxa de resfriamento é muito alta. Diminuir a entrada de calor e o tempo de

resfriamento entre 800°C e 500°C reduz a zona macia e aumenta a resistência (Mician et al., 2021).

Ao realizar uma revisão sistemática da literatura sobre a influência do aporte térmico no GMAW, esta revisão procurou identificar os autores mais relevantes sobre o tema e como os resultados indicativos de como o aporte térmico afeta diretamente características na geometria do cordão de solda, profundidade de penetração e formação de microestruturas na ZTA.

2 Materiais e métodos

Para a realização desta revisão bibliométrica, foi utilizado o banco de dados *Scopus,* reconhecido por sua abrangência e relevância na indexação de publicações científicas. O objetivo principal do estudo foi identificar e analisar a literatura mais relevante relacionada à influência do aporte térmico no processo de soldagem GMAW, com ênfase em propriedades mecânicas e na zona termicamente afetada (HAZ).

O primeiro passo foi à elaboração da string de busca, que utilizou operadores booleanos *AND* e *OR* para refinar os resultados e garantir a recuperação de artigos diretamente relacionados ao tema. A string utilizada foi: *"(heat AND input AND gmaw AND (heat-affected AND zone OR haz) AND mechanical AND properties)".*

Essa formulação permite incluir estudos que abordem especificamente o impacto do aporte térmico no processo MIG-MAG, com foco em termos técnicos como zona termicamente afetada (HAZ) e propriedades mecânicas.

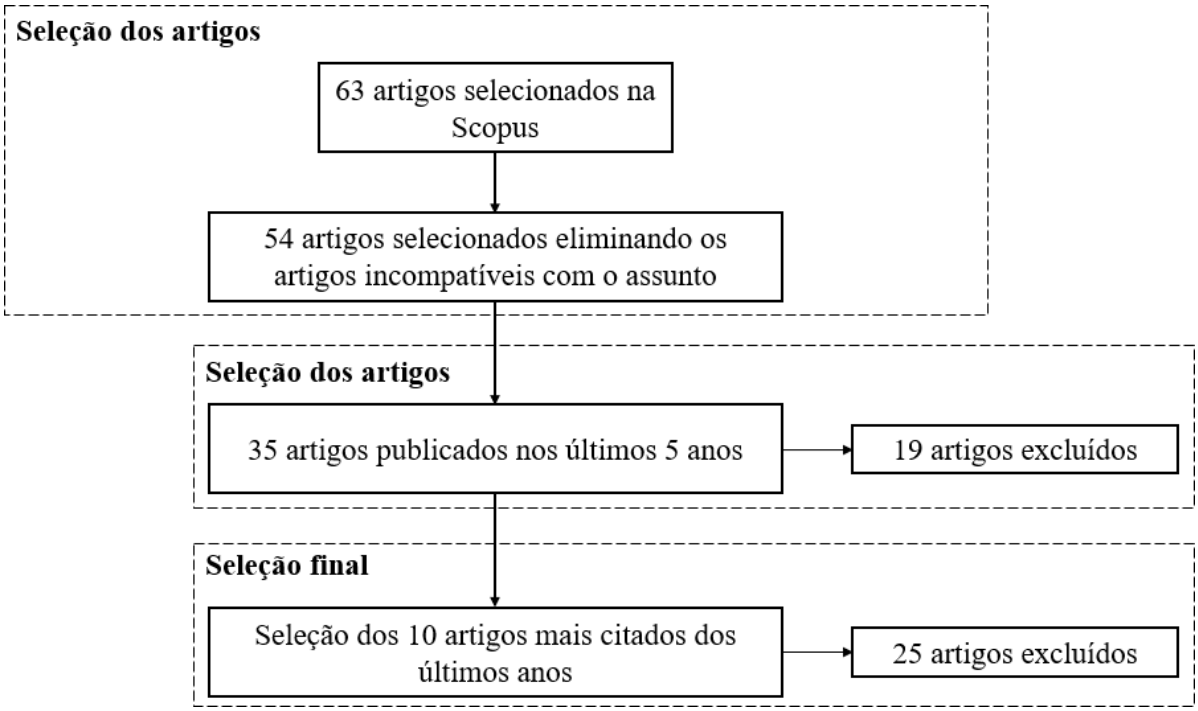
A busca inicial no banco de dados foi realizada utilizando filtros como, conteúdos relacionados a engenharia e a ciência dos materiais e a seleção apenas artigos científicos de revisão e experimentais, que resultaram em um total de 54 artigos publicados sobre o tema. Para assegurar a relevância e atualidade dos estudos, aplicou-se um filtro temporal que restringiu os resultados a publicações dos últimos 5 anos, reduzindo o número de artigos para 35. Esse recorte temporal foi escolhido para refletir os avanços mais recentes e relevantes na área de estudo.

Em seguida, foi realizada uma análise detalhada desses 35 artigos,

priorizando os mais citados como critério de relevância e impacto científico. Após essa etapa, foram selecionados os 10 artigos mais citados, considerando que o número de citações é um indicativo do reconhecimento e influência dos estudos na comunidade científica. Essa seleção permitiu identificar as principais contribuições e tendências na pesquisa sobre a influência do aporte térmico no processo de soldagem GMAW.

Essa abordagem sistemática e detalhada garantiu uma análise representativa e de alta qualidade sobre o tema investigado, destacando os estudos mais relevantes e influentes para embasar futuras pesquisas. As etapas de seleção dos artigos estão ilustradas na figura 2.

Figura 2 – Fluxograma do processo de triagem realizado



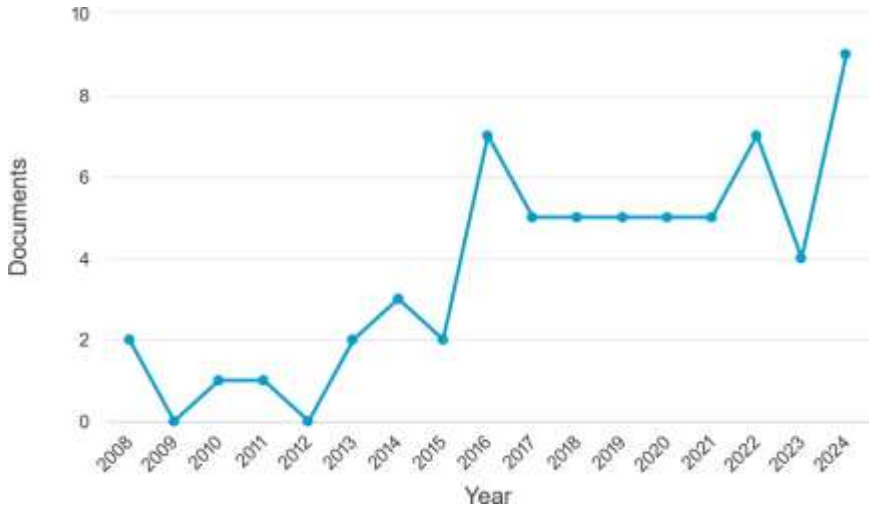
Fonte: elaborada pelos autores

3 Análises, resultados e discussão

3.1 Análise Bibliométrica

Um dos objetivos deste estudo é compreender o panorama atual das pesquisas sobre a influência do aporte térmico nos processos de soldagem GMAW. Foi realizada uma análise da amostra utilizando técnicas bibliométricas. A evolução do número de publicações ao longo dos anos revela que as pesquisas sobre o tema ganharam maior relevância científica e apresentaram um aumento no volume de produção a partir de 2008. No entanto, nos anos de 2009 e 2012, não foram identificadas publicações sobre o assunto. A partir de 2014, houve um crescimento expressivo no número de trabalhos publicados, com destaque para os anos de 2022 e 2024, que apresentaram o maior número de estudos. Esses resultados demonstram que o tema continua sendo extremamente atual e relevante, conforme figura 3.

Figura 3 – Evolução das publicações ao longo dos anos

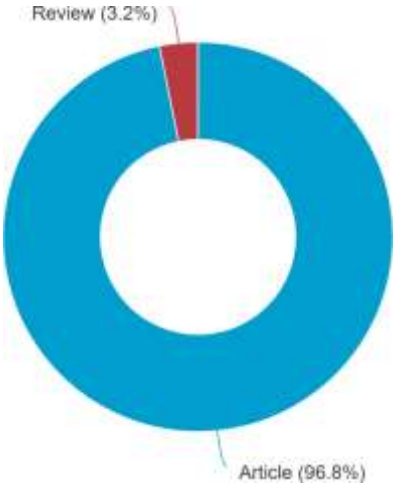


Fonte: elaborada pelos autores

Entre os 54 artigos analisados, verificou-se que 96,8% eram estudos experimentais. Nesses trabalhos, os autores como Amraei et al. (2019) e Cho et al. (2022), conduziram experimentos práticos envolvendo a soldagem em diversos tipos de metais e ligas metálicas utilizando o processo GMAW. O principal foco

desses estudos foi observar diretamente os efeitos do aporte térmico sobre parâmetros como microestrutura, propriedades mecânicas, qualidade do cordão de solda e possíveis alterações no material base e no material de solda. Essa abordagem experimental permitiu uma análise aprofundada da relação entre os parâmetros de soldagem e os resultados obtidos, oferecendo insights práticos e científicos significativos conforme figura 4.

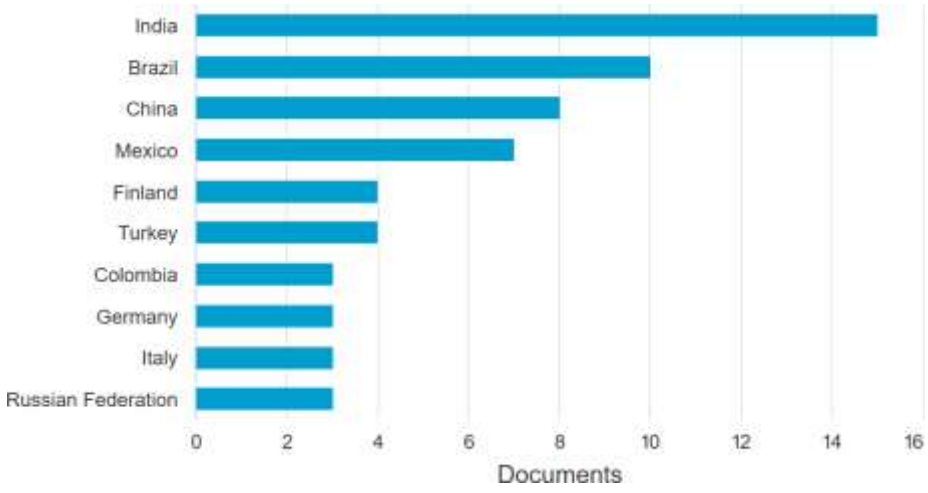
Figura 4 – Proporção de publicações de revisão e experimentais



Fonte: elaborada pelos autores

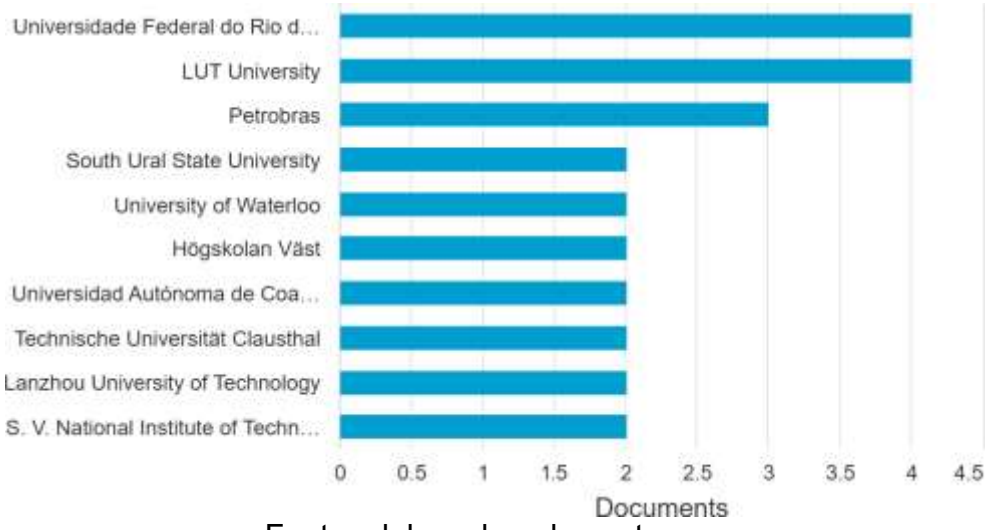
A relação do volume de produção científica sobre o tema nos principais países que mais realizam pesquisas nessa área. Em uma breve análise, destaca-se que o Brasil é o segundo país do mundo com maior produção de artigos relacionados conforme figura 5. Esse fato pode ser atribuído ao destaque de instituições brasileiras, como a Universidade Federal do Rio de Janeiro, que ocupa o primeiro lugar, e a Petrobras, que está em terceiro, entre as instituições que mais produziram trabalhos científicos sobre o tema conforme figura 6.

Figura 5 – Países que possuem os maiores números de publicações relacionados ao assunto



Fonte: elaborada pelos autores

Figura 6 – Instituições que possuem os maiores números de publicações relacionadas ao assunto

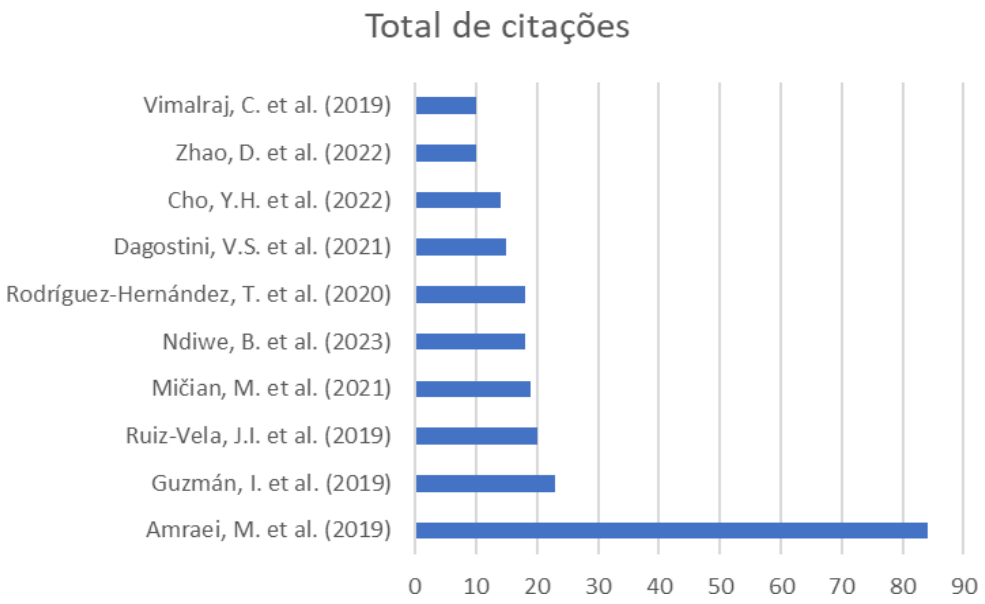


Fonte: elaborada pelos autores

O ranking dos dez artigos mais citados, considerando a amostra final composta apenas por publicações dos últimos cinco anos conforme figura 7 e tabela 1. Destaca-se que o trabalho de Amraei et al. (2019) é o mais citado nesse período, com 84 citações. Esse estudo aborda os efeitos do aporte térmico nas propriedades mecânicas de aços de alta e ultra-alta resistência soldados a topo. A análise desse

gráfico é essencial tanto para identificar as obras de maior relevância e impacto no tema quanto para destacar os trabalhos mais atuais e influentes no momento. Já a Figura 8 apresenta os principais periódicos que se destacaram por publicar os artigos de maior relevância sobre o tema abordado.

Figura 7 - Artigos/Autores mais citados entre 2019 a 2024



Fonte: elaborada pelos autores

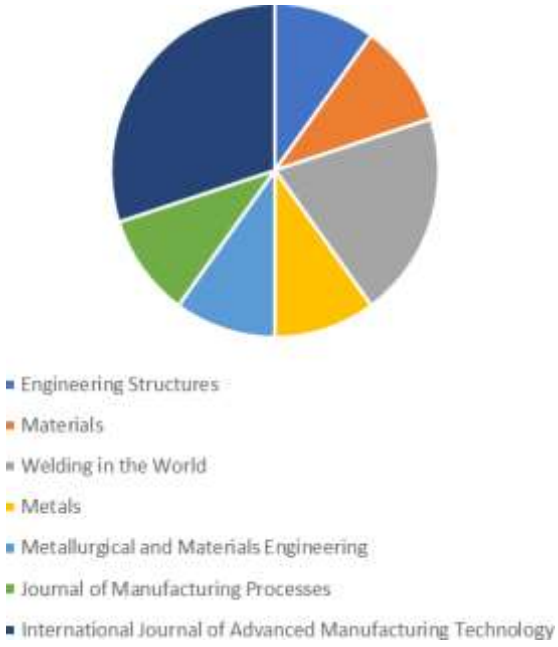
Tabela 1 – Ranking dos 10 artigos mais citados entre 2019 e 2024

Posição no ranking	Título do artigo	Autores	Ano	Revista	Total de citações
1	Efeitos da entrada de calor nas propriedades mecânicas de aços de alta e ultra-alta resistência soldados a topo	Amraei, M. et al.	2019	Engineering Structures	84
2	Comparative in mechanical behavior of 6061 aluminum alloy welded by pulsed GMAW with different filler metals and heat treatments	Guzmán, I. et al.	2019	Materials	23
3	Effect of cold metal transfer and gas tungsten arc welding processes on the metallurgical and mechanical properties of Inconel® 625 weldings	Ruiz-Vela, J.I. et al.	2019	Welding in the World	20
4	Influence of welding parameters and filler material on the mechanical properties of hsla steel s960mc welded joints	Mičian, M. et al.	2021	Metals	19

5	Numerical and experimental investigations of mechanical properties of AW 6005-T6 Aluminium alloy butt weld joint using GMAW process	Ndiwe, B. et al.	2023	Metallurgical and Materials Engineering	18
6	First assessment on the microstructure and mechanical properties of gtaw-gmaw hybrid welding of 6061-t6 AA	Rodríguez-Hernández, T. et al.	2020	Journal of Manufacturing Processes	18
7	Microstructural analysis and mechanical behavior of the HAZ in an API 5L X70 steel welded by GMAW process	Dagostini, V.S. et al.	2021	Welding in the World	15
8	Effect of torch angle and position on bead geometry and joint trength during arc brazing of thin-gauge dual-phase steel	Cho, Y.H. et al.	2022	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	14
9	Mechanical performance and microstructural characteristic of gas metal arc welded A606 weathering steel joints	Zhao, D. et al.	2022	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	10
10	High-strength steel S960QC welded with rare earth nanoparticle coated filler wire	Vimalraj, C. et al.	2019	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	10

Fonte: elaborada pelos autores

Figura 8 – Principais periódicos



Fonte: elaborada pelos autores

Análise de conteúdo

Os artigos selecionados apresentaram uma variedade de materiais e um planejamento experimental. O resultado da investigação dos artigos selecionados conforme tabelas 2 a 3.

Dos diversos tipos de materiais estudados:

Tabela 2 – Materiais utilizados

Classificação	Tipo	Referência
Aço	ASTM A606 tipo IV	Zhao, D. et al. (2022)
	API 5L X70	Dagostini, V.S. et al. (2021)
	DP600	Cho Y.H. et al. (2022)
	S960QC	Vimalraj C., et al. (2019)
	HSLA S960MC	Mičian, M. et al. (2021)
	Inconel 625	Ruiz-Vela J.I. et al. (2019)
	S700, S960, S110	Amraei, M. et al. (2019)
Aluminio	6061	Guzman., I. et al. (2019)
	AW 6005-T6	Ndiwe B. et al (2023)
	6061-T6 AA	Rodriguez-Hernandez, T. et al. (2020)

Fonte: elaborada pelos autores

Arranjos experimentais:

Tabela 3 – Metodologias experimentais utilizadas

Classificação	Amostragem	Referência
Aço	51 amostras (3x17)	Zhao, D. et al. (2022)
	6 amostras	Dagostini, V.S. et al. (2021)
	22 amostras - DOE	Cho Y.H. et al. (2022)
	12 amostras (2x6)	Vimalraj C., et al. (2019)
	10 amostras (5x2)	Mičian, M. et al. (2021)
	2 amostras	Ruiz-Vela J.I. et al. (2019)
	12 amostras	Amraei, M. et al. (2019)
Alumínio	32 amostras	Guzman., I. et al. (2019)
	2 amostras	Ndiwe B. et al (2023)
	11 amostras - Kanemaru modificado	Rodriguez-Hernandez, T. et al. (2020)

Fonte: elaborada pelos autores

Tipo de soldagem realizada:

Tabela 4 – Processos de soldagem utilizados

Classificação	Tipo	Referência
Aço	GMAW – CO2	Zhao, D. et al. (2022)
	GMAW	Dagostini, V.S. et al. (2021)
	GMAB	Cho Y.H. et al. (2022)
	GMAW Pulsado	Vimalraj C., et al. (2019)
	GMAW Pulsado / GMAW CMT	Mičian, M. et al. (2021)
	GMAW	Ruiz-Vela J.I. et al. (2019)
	GMAW	Amraei, M. et al. (2019)
Alumínio	GMAW Pulsado	Guzman., I. et al. (2019)
	GMAW	Ndiwe B. et al (2023)
	GTAW-GMAW	Rodriguez-Hernandez, T. et al. (2020)

Fonte: elaborada pelos autores

O processo de brasagem a arco metálico a gás (GMAB) é um método de união não-fusão transformador utilizado na indústria automotiva para unir aços avançados de alta resistência (AHSSs) revestidos de Zn de calibre fino usados na construção de carrocerias de veículos. Os fios de enchimento são para baixa temperatura de fusão para formar uma junta sem causar fusão significativa das peças de trabalho originais. Fundamentalmente, o GMAB é um derivado do processo de união por fusão a arco metálico a gás (GMAW) convencional que une as peças de trabalho originais por meio de fusão e derretimento completos. O GMAB oferece vários benefícios importantes sobre o GMAW, como baixa entrada de calor (HI), queima mínima do revestimento de Zn perto da brasagem, menor distorção do metal base (BM), porosidade e respingos mínimos e uma zona afetada pelo calor (HAZ) significativamente reduzida, principalmente devido ao uso de fios de enchimento de ponto de fusão mais baixo (por exemplo, CuSi3Mn1, CuAl8) que exigem menor entrada de calor do processo. Isso torna o processo GMAB mais adequado para unir AHSSs revestidos de Zn de calibre fino em comparação ao processo GMAW convencional para certos tipos de aplicações não estruturais.

Parâmetros de entrada analisados nos artigos: polaridade, voltagem, corrente, velocidade de soldagem, taxa de fluxo de gás, altura da tocha, ângulo de trabalho da tocha, ângulo de arrasto da tocha, velocidade de alimentação do arame, Entrada de calor. Nos parâmetros de entrada os mais estudados são a voltagem, corrente e a velocidade de soldagem. É esperado que estes sejam os parâmetros

mais estudados pois eles determinam a entrada de calor no processo de soldagem. Os outros fatores estudados modificam a entrada de calor, modificando o aporte térmico total do processo.

Tipo de análises realizadas nos artigos: em todos os artigos foram realizadas análises de Metalografia, Dureza, Tração. As análises de metalografia realizadas mostram a transição entre as diversas fases do metal base e sua formação relacionado com o aporte térmico. As análises de dureza e tração realizadas demonstram como o aporte térmico modificam as características da solda realizada.

3.2 Principais fatores de influência na soldagem

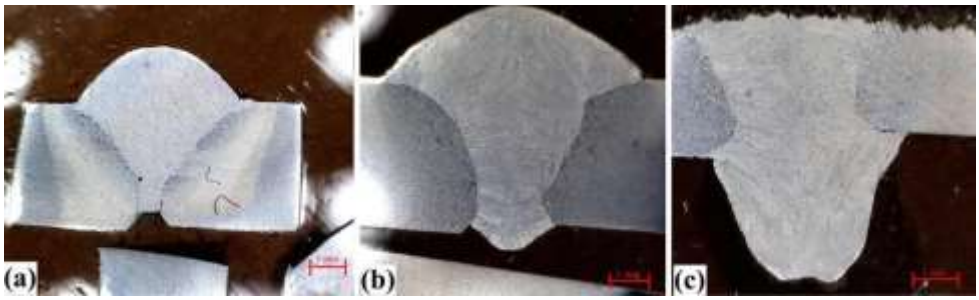
Dos artigos analisados, os processos de soldagem MIG/MAG 7 se referem aos aços e 3 se referem a soldagem de alumínio.

Nos artigos que trabalharam com o alumínio, 1 comparou a dureza Vickers obtida em um processo MIG/MAG convencional e um processo híbrido TIG-MIG/MAG. Os processos híbridos trabalham com um aporte térmico maior, que permite aumento na velocidade de soldagem (Rodriguez-Hernandes et al., 2020). Em outro artigo, Ndiwe et al. (2023) investigaram como reduzir o aporte térmico da soldagem para afetar diretamente as propriedades da ZTA. Guzman et al estudaram o comportamento da liga de alumínio 6061 soldada com MIG pulsada com diferentes metais de adição e tratamentos térmicos, concluindo que o processo pulsado GMAW demonstra ser um método eficaz para soldar ligas de alumínio endurecíveis por precipitação se a combinação adequada de parâmetros de soldagem, metal de adição e tratamento térmico prévio for selecionada.

Nos artigos que trabalharam com aço, Zhao et al. (2022), o aumento do aporte térmico aumenta a profundidade de penetração, a largura e o tamanho do cordão de solda conforme figura 9. Entradas moderadas de calor produzem as melhores propriedades mecânicas em testes de cisalhamento e tração. Mician et al. (2021) estudaram os parâmetros de soldagem e descrevem que comparado ao modo padrão,o uso dos modos de arco pulsado e transferência de metal frio (CMT) foi

capaz de atingir uma maior resistência das juntas soldadas, pois permitiram uma diminuição significativa na entrada de calor. Com a diminuição da entrada de calor, a taxa de resfriamento aumentou, o que resultou em uma diminuição na largura da zona macia na ZTA e na espessura relativa da zona macia.

Figura 9 - Penetração do cordão de solda com variações do aporte térmico (a) 2,72kJ/cm - penetração incompleta (b) 3,14 kJ/cm - penetração ideal com reforço superficial convexo (c) 4,56kJ/cm - penetração excessiva com perda do reforço superficial



Fonte: Zhao et.al 2022

4 Conclusão

A técnica de soldagem por arco metálico a gás (GMAW) demonstrou ser um processo versátil e amplamente utilizado devido à sua eficiência e capacidade de produzir soldas de alta qualidade. A escolha adequada do gás de proteção, seja inerte (MIG) ou ativo (MAG), e o controle dos parâmetros de soldagem, como corrente, voltagem, velocidades de soldagem e alimentação do arame, são fatores críticos para o sucesso do processo. Esses elementos, aliados às condições ambientais, influenciam diretamente o aporte térmico e, consequentemente, os resultados da soldagem.

O aporte térmico tem um papel fundamental na definição das características da solda, incluindo a geometria do cordão, a profundidade de penetração e a extensão da zona termicamente afetada (ZTA). Além disso, afeta a formação de microestruturas na ZTA, como ferrita, perlita, martensita e austenita, que

influenciam propriedades mecânicas essenciais, como dureza, resistência à tração e impacto.

Portanto, compreender e controlar as interações entre os diversos fatores do processo GMAW é crucial para garantir que as propriedades da solda atendam às especificações técnicas e demandas aplicacionais. Essa abordagem possibilita o desenvolvimento de soldas otimizadas, ampliando a eficiência e a confiabilidade de estruturas metálicas em diversas indústrias.

REFERÊNCIAS

AMRAEI, Mohsen; AHOLA, Antti; AFKHAMI, Shahriar; BJÖRK, Timo; HEIDARPOUR, Amin; ZHAO, Xiao-Ling. Effects of heat input on the mechanical properties of butt-welded high and ultra-high strength steels. **Engineering Structures**, v. 198, nov. 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109460

CHO, Yong Hwan; KHAN, M. Shehryar; GOODWIN, Frank E.; ZHOU, Y. Norman. Effect of torch angle and position on bead geometry and joint strength during arc brazing of thin-gauge dual-phase steel. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 121, n. 5-6, p. 543–557, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/s00170-022-09596-0

DAGOSTINI, Vinícius dos Santos; MOURA, Ariane Neves de; LUZ, Temístocles de Sousa; CASTRO, Nicolau Apoena; ORLANDO, Marcos Tadeu D'Azeredo; VIEIRA, Estéfano Aparecido. Microstructural analysis and mechanical behavior of the HAZ in an API 5L X70 steel welded by GMAW process. **Welding in the World**, v. 65, p. 1051-1060, 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/s40194-021-01102-6

GUZMÁN, Isidro; GRANDA, Everardo; ACEVEDO, Jorge; MARTÍNEZ, Antonia; DÁVILA, Yuliana; VELÁZQUEZ, Rubén. Comparative in mechanical behavior of 6061 aluminum alloy welded by pulsed GMAW with different filler metals and heat treatments. **Materials**, v. 12, n. 24, p. 1251, 2019. DOI: https://doi.org/10.3390/ma12244157

MIČIAN, Miloš; FRÁTRIK, Martin; KAJÁNEK, Daniel. Influence of welding parameters and filler material on the mechanical properties of HSLA steel S960MC welded joints. **Metals**, v. 11, n. 2, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/met11020305

NDIWE, Benoit; KAH, Paul; BAYOCK, Francois Miterand Njock; UCHECHUKWU, Daniel Agili; ONYEJI, Harrison. Numerical and experimental investigations of mechanical properties of AW 6005-T6 Aluminium alloy butt weld joint using GMAW process. **Metallurgical and Materials Engineering**, v. 29, n. 1, p. 16-36, 2023. DOI: https://doi.org/10.56801/MME907

RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, CRUZ-HERNÁNDEZ, T.; V. L.; GARCÍA-RENTERÍA, M. A.; TORRES-GONZALEZ, R.; GARCÍA-VILLARREAL, S.; CURIEL-LÓPEZ, F. F.; FALCÓN-FRANCO, L. A. First assessment on the microstructure and mechanical properties of GTAW-GMAW hybrid welding of 6061-T6 AA. **Journal of Manufacturing Processes**, v. 59, p. 658-667, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.09.069

RUIZ-VELA, J. I.; MONTES-RODRÍGUEZ, J. J.; RODRÍGUEZ-MORALES, E.; TOSCANO-GILES, J. A. Effect of cold metal transfer and gas tungsten arc welding processes on the metallurgical and mechanical properties of Inconel® 625 weldings.

Welding in the World, v. 63, p. 459–479, 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/s40194-018-0661-z

VIMALRAJ, Cyril; Paul Kah; LAYUS, Pavel; BELINGA, Eric Mvola; PARSHIN, Sergey. High-strength steel S960QC welded with rare earth nanoparticle coated filler wire. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 102, p. 105-119, 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/s00170-018-3059-6

ZHAO, Dawei; BEZGANS, Yuriy; VDONIN, Nikita; KVASHNIN, Vladimir. Mechanical performance and microstructural characteristic of gas metal arc welded A606 weathering steel joints. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 119, p. 1921-1932, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/s00170-021-08383-7