

Faculdade de Tecnologia de Sorocaba – “José Crespo Gonzales”

Curso Superior em Fabricação Mecânica

EFICIÊNCIA NA SOLDAGEM POR ARCO SUBMERSO (SAW)

Autor: Araujo; Natanael e ¹
Orientador: Freitas; Amilton ²

Resumo. Este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo otimizar o aporte térmico (Heat Input) no processo de soldagem por arco submerso (SAW) em juntas de topo, substituindo o tradicional chanfro em V por chanfro reto na fabricação de vasos de pressão e separadores de óleo. A proposta visa aumentar a eficiência produtiva sem comprometer as propriedades do material. Foram realizadas soldagens em chapas de aço carbono ASTM A516 Gr. 70, mantendo o aporte térmico em cerca de 2,0 kJ/mm, por meio da variação de corrente, tensão e velocidade de soldagem. Espera-se como resultado a redução do tempo de execução, menor volume de metal depositado e maior produtividade nas soldagens longitudinal e circunferencial, promovendo melhor controle do processo, redução de custos e ganhos em competitividade.

Palavras-chave: aporte térmico; soldagem por arco submerso; parâmetros de soldagem; eficiência produtiva.

***Abstract.** This Final Project aims to optimize the heat input in the submerged arc welding (SAW) process applied to butt joints, by replacing the traditional V-groove with a square groove in the fabrication of pressure vessels and oil separators. The objective is to increase production efficiency without compromising the material's mechanical and metallurgical properties. Welds were performed on ASTM A516 Gr. 70 carbon steel plates, maintaining a heat input of approximately 2.0 kJ/mm by adjusting welding parameters such as current, voltage, and travel speed. Expected results include reduced welding time, lower volume of deposited metal, and increased productivity in both longitudinal and circumferential welds, contributing to better process control, cost reduction, and enhanced manufacturing competitiveness*

Keywords: heat input; submerged arc welding; welding parameters; productive efficiency.

Junho/2025

¹Araujo; Natanael Souza de Araujo. Graduando do Curso de Fabricação Mecânica – Faculdade de Tecnologia de Sorocaba – “José Crespo Gonzales” – Sorocaba / SP – natanael.araujo@fatec.sp.gov.br

²Freitas; Amilton Joaquim Cordeiro. Professor do Curso de Fabricação Mecânica – Faculdade de Tecnologia de Sorocaba – “José Crespo Gonzales” – Sorocaba / SP – Amilton.freitas@fatec.sp.gov.br
Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais e Metalurgia.

1. INTRODUÇÃO

A constante evolução dos processos industriais tem impulsionado a busca por métodos mais eficientes e seguros, principalmente no setor de fabricação de vasos de pressão e equipamentos voltados à refrigeração industrial, como os separadores de óleo. Nesse contexto, destaca-se a soldagem por arco submerso (Submerged Arc Welding – SAW), segundo Lancaster (1986), este processo é amplamente empregado na união de chapas espessas devido à sua elevada taxa de deposição, excelente estabilidade do arco e alta qualidade do cordão de solda.

A necessidade de otimizar os recursos produtivos sem comprometer os requisitos normativos e as propriedades mecânicas do material tem levado à revisão de procedimentos estabelecidos, como os tipos de chanfros utilizados em juntas de topo. Tradicionalmente, utiliza-se o chanfro em “V” para garantir a penetração adequada da solda, porém, essa configuração implica maior volume de metal de adição e, conseqüentemente, aumento no tempo de execução e no custo do processo.

Neste trabalho, propõe-se a substituição do chanfro em “V” por um chanfro reto em juntas de topo, mantendo-se o controle rigoroso do aporte térmico (Heat Input), com o intuito de aumentar a eficiência do processo de soldagem SAW. A pesquisa foi conduzida com base na realização de três amostragens em chapas de aço carbono ASTM A516 Gr. 70, com espessura de 25,40 mm, buscando-se manter um aporte térmico constante de 2,0 kJ/mm. A variação dos parâmetros de corrente, tensão e velocidade de soldagem permitiu avaliar os efeitos na eficiência e na qualidade da junta soldada.

A relevância do estudo está em apresentar uma solução técnica aplicável à indústria, que possibilite ganhos expressivos em produtividade, sem comprometer a integridade estrutural dos equipamentos fabricados. Dessa forma, este trabalho contribui para o aprimoramento dos processos de soldagem e para a disseminação de práticas mais sustentáveis e racionais na fabricação de equipamentos sujeitos à pressão.

2. METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido por meio de uma abordagem experimental, precedida de revisão bibliográfica. Inicialmente, foram consultadas normas técnicas e materiais acadêmicos que abordam os fundamentos da soldagem por arco submerso (SAW), cálculo do Aporte

Térmico (energia de soldagem), tipos de chanfros e critérios de qualidade aplicados à fabricação de vasos de pressão.

A fase prática consistiu na execução de soldagens em chapas de aço carbono ASTM A516 Gr. 70, com espessura de 25,40 mm, utilizando equipamento de soldagem por arco submerso com alimentação automática. Foram aplicadas três configurações distintas de corrente, tensão e velocidade, mantendo o aporte térmico fixo em 2,0 kJ/mm. A escolha dos parâmetros visou analisar o comportamento do processo com foco na produtividade e na integridade do cordão de solda. Após as soldagens, as amostras foram enviadas para um laboratório técnico, onde foram realizadas análises dos cordões de solda, com foco na avaliação da penetração, uniformidade, possíveis descontinuidades e estabilidade do arco.

3. DESENVOLVIMENTO

Este trabalho tem como princípio central a otimização do aporte térmico no processo de soldagem por arco submerso (SAW). Segundo Rossi (2010), um aporte térmico bem dimensionado proporciona estabilidade ao processo, reduz o risco de defeitos e permite maior previsibilidade nos resultados metalúrgicos.

A partir de um controle rigoroso do aporte térmico (Heat Input), busca-se demonstrar que é tecnicamente viável substituir o chanfro em V tradicional por um chanfro reto, sem comprometer a integridade da junta soldada. Essa abordagem permite não apenas a preservação das propriedades metalúrgicas da solda, mas também promove expressivos ganhos de produtividade, como o aumento da velocidade de soldagem, a redução do número de passes e a simplificação da preparação da junta.

Segundo a American Welding Society (2004), o processo de soldagem por arco submerso (SAW) destaca-se como uma das principais tecnologias utilizadas na fabricação de vasos de pressão e equipamentos de grande porte, devido à sua elevada taxa de deposição, excelente penetração e à qualidade superior dos cordões obtidos. De acordo com Lima (2015), essas características fazem do SAW um processo altamente eficiente para aplicações industriais de grande escala.

Figura 1 – Arco submerso (SAW)

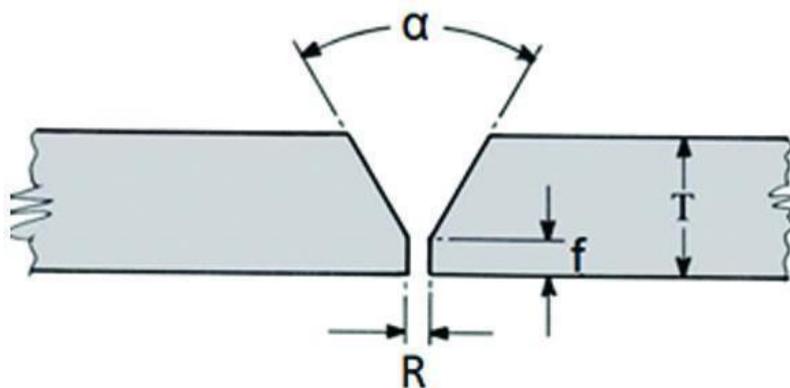


Fonte: <https://esab.com> (2010).

De acordo com Lancaster (1986), o controle preciso do aporte térmico (Heat Input) é essencial para evitar alterações indesejáveis nas propriedades metalúrgicas da junta soldada, como fragilização, trincas ou distorções.

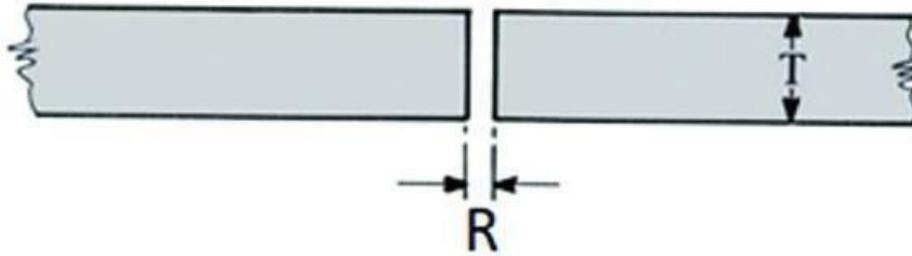
Neste estudo, foi proposta a substituição da junta em V por junta de topo com chanfro reto, buscando a otimização do processo através da redução do volume de metal depositado e da simplificação geométrica da preparação. Conforme Gourd (1995), a geometria da junta influencia diretamente no tempo de execução, custo e qualidade da soldagem, tornando-se um fator crítico em processos produtivos industriais.

Figura 2 – Junta de topo (chanfro em V)



Fonte: Revista do aço (2018).

Figura 3 – Junta de topo (chanfro reto)



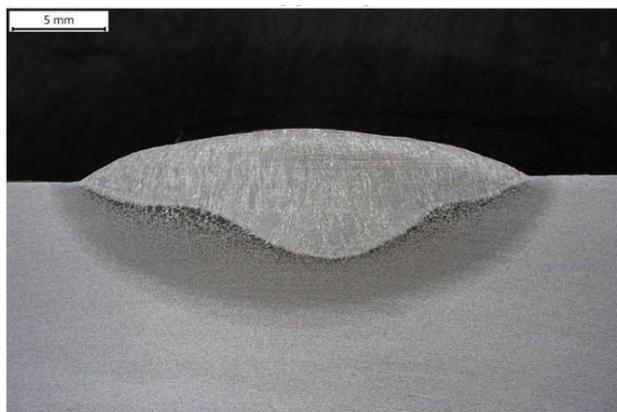
Fonte: Revista do aço (2018).

Durante o planejamento experimental, uma das maiores preocupações foi garantir a penetração adequada do cordão, uma vez que a ausência do chanfro em V poderia comprometer a fusão completa. Segundo Rossi (2010), a penetração é um dos principais indicadores de qualidade, especialmente em aplicações estruturais críticas. Para assegurar um cenário exigente, foram utilizadas chapas de 25,4 mm, embora a aplicação prática esteja prevista para espessuras entre 9,5 mm e 12,5 mm. Essa escolha se deve à maior dispersão térmica em espessuras superiores, conforme destaca Silva (2017), o que torna o experimento mais rigoroso em termos de validação da técnica.

Foram realizadas três amostragens com variação dos parâmetros de soldagem, mantendo o aporte térmico constante em 2,0 kJ/mm. As amostras foram soldadas em posição 1G, com consumível F7A8-EM12K e chapas ASTM A516 Gr. 70, e posteriormente enviadas ao laboratório TM Service para análise macrográfica, conforme as normas ASTM E7-22, ASTM E340-23 e ASME BPVC IX-2023. Os resultados indicaram fusão completa em todas as amostras, ausência de trincas e descontinuidades, o que comprova a viabilidade da proposta técnica.

As medições apontaram os seguintes resultados:

Figura 4 – Amostra 1



AVALIAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES (EVALUATION OF DISCONTINUITIES)	
REQUISITOS (REQUIREMENTS)	RESULTADOS (RESULTS)
FUSÃO (FUSION)	Completa (Complete)
TRINCAS (CRACKS)	Isento (Free)
OUTROS (OTHERS)	Isento (Free)
MEDIÇÕES, mm (MEASUREMENTS, mm)	
REQUISITOS (REQUIREMENTS)	RESULTADOS (RESULTS)
REFORÇO SUPERIOR (UPPER REINFORCEMENT)	2,70
PENETRAÇÃO (PENETRATION)	4,30

Fonte: TMS laboratório (2025).

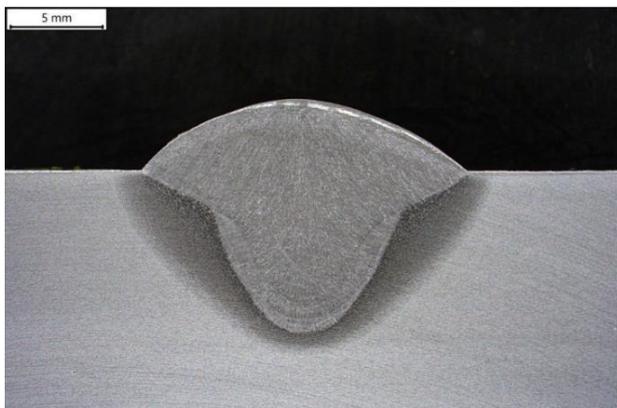
Figura 5 – Amostra 2



AVALIAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES (EVALUATION OF DISCONTINUITIES)	
REQUISITOS (REQUIREMENTS)	RESULTADOS (RESULTS)
FUSÃO (FUSION)	Completa (Complete)
TRINCAS (CRACKS)	Isento (Free)
OUTROS (OTHERS)	Isento (Free)
MEDIÇÕES, mm (MEASUREMENTS, mm)	
REQUISITOS (REQUIREMENTS)	RESULTADOS (RESULTS)
REFORÇO SUPERIOR (UPPER REINFORCEMENT)	2,73
PENETRAÇÃO (PENETRATION)	6,38

Fonte: TMS laboratório (2025).

Figura 6 – Amostra 3



AVALIAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES (EVALUATION OF DISCONTINUITIES)	
REQUISITOS (REQUIREMENTS)	RESULTADOS (RESULTS)
FUSÃO (FUSION)	Completa (Complete)
TRINCAS (CRACKS)	Isento (Free)
OUTROS (OTHERS)	Isento (Free)
MEDIÇÕES, mm (MEASUREMENTS, mm)	
REQUISITOS (REQUIREMENTS)	RESULTADOS (RESULTS)
REFORÇO SUPERIOR (UPPER REINFORCEMENT)	3,83
PENETRAÇÃO (PENETRATION)	8,60

Fonte: TMS laboratório (2025).

Tais resultados demonstram que o aumento da corrente e velocidade, mantendo o mesmo aporte térmico, possibilitou maior penetração sem perda de qualidade.

Para a avaliação do processo de soldagem por arco submerso, é fundamental compreender o conceito de aporte térmico, também conhecido como Heat Input. Trata-se da quantidade de energia fornecida por unidade de comprimento de solda e influencia diretamente na microestrutura, propriedades mecânicas e qualidade do cordão.

De acordo com Kou (2003), o controle do aporte térmico é determinante para garantir a estabilidade térmica do processo, favorecendo a uniformidade da microestrutura e evitando zonas termicamente afetadas críticas.

O cálculo é realizado por meio da seguinte equação: $HI = (V \times I \times 60) / (v \times 1000)$, onde:

- HI = Aporte térmico (kJ/mm)
- V = Tensão (Volts)
- I = Corrente (Amperes)
- v = Velocidade de soldagem (mm/min)

Exemplo de cálculo: considerando uma corrente de 450 A, tensão de 30 V e velocidade de 400 mm/min, temos:

$$HI = (30 \times 450 \times 60) / (400 \times 1000) = 810000 / 400000 = 2,025 \text{ kJ/mm.}$$

Esse valor representa um aporte térmico ideal para aplicações que exigem controle térmico rigoroso, como vasos de pressão, pois garante penetração adequada e controle da zona termicamente afetada.

Manter esse valor constante permite a padronização do processo e a previsibilidade dos resultados metalúrgicos. Segundo Silva (2017), o aporte térmico uniforme é crucial para assegurar a qualidade estrutural da junta e prevenir falhas em regime de serviço.

A inserção do cálculo permite verificar, na prática, a aplicabilidade dos parâmetros definidos no experimento. A partir desses dados, foi possível manter o Heat Input constante em todas as amostragens, mesmo com o aumento progressivo da corrente e da velocidade de soldagem.

Os dados deste estudo reforçam essa afirmação e indicam que a substituição da geometria tradicional da junta pode trazer ganhos significativos.

Com base nas análises e nos resultados obtidos, estima-se que os ganhos de produtividade, entre 25% e 50%, referem-se especificamente ao aumento da velocidade de soldagem, proporcionado pelo ajuste dos parâmetros do processo.

Figura 7 – Tabela de aporte térmico

Controle do Aporte Térmico				
TENSÃO (V)	AMPERAGEM (A)	VELOCIDADE	HEAT INPUT (HI)	PROJEÇÃO
30	450	400	2	ATUAL
31	550	500	2	25%
32	640	600	2	50%

Fonte: Autor.

No entanto, os ganhos produtivos totais poderão ser ainda mais significativos, uma vez que a substituição do chanfro em V pelo chanfro reto, viabilizada pelos ajustes realizados, possibilita a redução do tempo de setup e do número de passes de solda, otimizando de forma mais ampla a eficiência operacional.

Todos os avanços propostos neste trabalho só foram possíveis graças ao controle rigoroso dos parâmetros de soldagem e, principalmente, do aporte térmico. É esse controle que garante a repetibilidade do processo, permitindo a modificação da geometria da junta, como a substituição do chanfro em V por chanfro reto, sem comprometer a qualidade final da solda.

A otimização dos parâmetros operacionais como corrente, tensão e velocidade de soldagem com base em um aporte térmico constante, possibilitou identificar faixas seguras de operação, que além de garantir a integridade do cordão, promovem ganhos diretos em eficiência produtiva. Conforme Silva (2017), a estabilidade térmica durante o processo de soldagem é fundamental para assegurar resultados previsíveis e de alta qualidade.

Portanto, os resultados obtidos neste trabalho validam a proposta técnica e indicam que a aplicação do chanfro reto no processo SAW é não apenas viável, mas recomendável para projetos que visem aliar qualidade com aumento de produtividade em espessuras de até 12,5 mm.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho demonstrou que é tecnicamente viável substituir o tradicional chanfro em V por chanfro reto em juntas de topo no processo de soldagem por arco submerso (SAW), desde que se mantenha o controle rigoroso do aporte térmico. A padronização do Heat Input em aproximadamente 2,0 kJ/mm permitiu garantir a penetração adequada e a integridade da junta soldada, mesmo em espessuras superiores às aplicadas na prática.

A proposta apresentou ganhos significativos para o processo produtivo, com destaque para a redução do tempo de execução, menor volume de metal depositado e aumento da velocidade de soldagem. Tais melhorias implicam diretamente em maior eficiência operacional e

competitividade industrial, principalmente na fabricação de vasos de pressão e separadores de óleo.

As análises laboratoriais confirmaram a ausência de descontinuidades e trincas nas amostras, validando a estabilidade do processo mesmo com a alteração da geometria da junta. Com isso, reforça-se a importância do controle do aporte térmico como elemento fundamental para otimizar a produtividade sem comprometer a qualidade.

Dessa forma, conclui-se que a aplicação do chanfro reto no processo SAW representa uma alternativa eficiente, segura e altamente recomendável para projetos que visem aliar qualidade, redução de custos e aumento de desempenho na soldagem de componentes críticos.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN WELDING SOCIETY. AWS A3.0M/A3.0:2004 – Standard Welding Terms and Definitions. Miami: AWS, 2004.
- GOURD, L. M. Principles of Welding Technology. 4. ed. Londres: Edward Arnold, 1995.
- KOU, Sindo. Welding Metallurgy. 2. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2003.
- LANCASTER, J. F. The Physics of Welding. 2. ed. Oxford: Pergamon Press, 1986.
- LIMA, R. G. Soldagem: tecnologia, processos e práticas. São Paulo: Érica, 2015.
- REVISTA DO AÇO. Juntas de topo – chanfro em V e reto. Disponível em: <<https://www.revistadoaco.com.br>>. Acesso em: 25 maio 2025.
- ROSSI, R. C. Fundamentos da Soldagem. São Paulo: Editora Blucher, 2010.
- SILVA, A. P. Efeitos do aporte térmico na qualidade da solda de aços carbono. Revista Soldagem em Foco, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 45–52, 2017.
- TMS LABORATÓRIO. Relatório técnico de análises macrográficas. Sorocaba: TMS Service, 2025.