

## COMPARATIVO MACROESTRUTURAL DAS VARIANTES DO PROCESSO GTAW COM ALIMENTAÇÃO CONTÍNUA E DINÂMICA MACROSTRUCTURAL COMPARISON OF GTAW PROCESS VARIANTS WITH CONTINUOUS AND DYNAMIC WIRE FEEDING

Luís Gustavo Capello<sup>1</sup>  
Edgar de Souza Dutra<sup>2</sup>  
Nasareno das Neves<sup>3</sup>  
Juliano Neves Panão<sup>4</sup>  
Cleber Marques<sup>5</sup>

**RESUMO:** O processo de soldagem *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) destaca-se pela excelência metalúrgica e estabilidade térmica. Com os avanços nos sistemas de adição de material, surgem variações como a alimentação contínua (C-GTAW) e a dinâmica GTAW-DWF (*Dynamic Wire Feed*), caracterizadas pelo movimento controlado do arame. Este estudo, baseado na tese de Neves (2022), analisa a influência da frequência de oscilação do arame nos processos C-GTAW e GTAW-DWF, evidenciando diferenças entre os modos contínuo e dinâmico. O trabalho apresenta um comparativo estrutural entre ambos aplicados ao aço SAE 1020, utilizando arame ER70S-6 e gás argônio. As amostras passam por corte, lixamento, polimento e ataque químico com Nital 3%, sendo avaliadas por estereoscopia e *softwares Top View e ImageJ*. São discutidos aspectos como geometria do cordão, penetração, diluição, estabilidade e extensão da zona afetada pelo calor (ZAC). Os resultados indicam que o processo GTAW-DWF gera menor diluição, penetração e ZAC, contribuindo para melhor controle térmico e geométrico da solda.

**Palavras-chave:** Diluição, Metalografia, Macrografia, Soldagem,

**ABSTRACT:** The Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) process stands out for its metallurgical quality and thermal stability. With advances in filler material feeding systems, variations such as continuous feeding (C-GTAW) and dynamic wire feeding GTAW-DWF (Dynamic Wire Feed) have emerged, characterized by controlled wire movement. This study, based on the thesis of Neves (2022), analyzes the influence of wire oscillation frequency on the C-GTAW and GTAW-DWF processes, highlighting differences between continuous and dynamic feeding modes. The work presents a structural comparison between both processes applied to SAE 1020 steel, using ER70S-6 filler wire and argon shielding gas. The samples undergo cutting, grinding, polishing, and chemical etching with 3% Nital, followed by evaluation through stereoscopy and the Top View and ImageJ software. Aspects such as weld bead geometry, penetration, dilution, stability, and heat-affected zone (HAZ) extension are discussed. The results indicate that the GTAW-DWF process produces lower dilution, penetration, and HAZ, contributing to improved thermal and geometric control of the weld.

**Keywords:** Dilution, Macrography, Welding

Tecnólogo Mecânico: Processos de Soldagem – Faculdade de Tecnologia de Itaquera “Miguel Reale”

E-mail: [luiz.capello@fatec.sp.gov.br](mailto:luiz.capello@fatec.sp.gov.br)<sup>1</sup>

Mestre em Processos Industriais – Faculdade de Tecnologia de São Paulo – FATEC SP

E-mail: [edgar.dutra@cps.sp.gov.br](mailto:edgar.dutra@cps.sp.gov.br)<sup>2</sup>

Doutor em Eng. Mecânica – Faculdade de Tecnologia de São Paulo – FATEC SP

E-mail: [nasareno.neves@cps.sp.gov.br](mailto:nasareno.neves@cps.sp.gov.br)<sup>3</sup>

Especialista em Eng. de Produção - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP

E-mail: [juliano.panao@unesp.br](mailto:juliano.panao@unesp.br)<sup>4</sup>

Doutor em Eng. Mecânica - Universidade Federal de Santa Catarina - LABSOLDA – Departamento de Engenharia Mecânica, E-mail: [c.marques@posgrad.ufsc.br](mailto:c.marques@posgrad.ufsc.br)<sup>5</sup>

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de soldagem por arco com eletrodo não consumível, do inglês *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) é amplamente empregado na indústria pela alta qualidade das juntas soldadas e pelo controle preciso das condições térmicas. É um processo indicado para aplicações que exigem alta confiabilidade estrutural, pois proporciona estabilidade do arco elétrico e controle da poça de fusão. Historicamente, a inserção de material é feita de modo manual ou por sistemas de alimentação contínua (C-GTAW), que, embora eficazes, podem ter restrições quanto à uniformidade térmica e ao controle da forma do cordão durante a soldagem.

Com o avanço das tecnologias de automação, foram desenvolvidas soluções mais sofisticadas, como o processo GTAW-DWF (*Dynamic Wire Feed*), no qual a alimentação do arame ocorre de forma dinâmica e controlada, sincronizada com os parâmetros do arco elétrico. Essa abordagem contribui para maior estabilidade do processo, redução de flutuações térmicas e melhor controle da formação do cordão de solda, influenciando diretamente sua geometria e qualidade final.

Nesse contexto, a análise macroestrutural destaca-se como ferramenta fundamental para avaliação do desempenho desses processos, pois permite observar, em escala macroscópica, características como geometria do cordão, penetração, diluição e extensão da zona afetada pelo calor (ZAC). Esses parâmetros refletem diretamente as condições térmicas impostas durante a soldagem e estão relacionados à integridade e ao desempenho da junta.

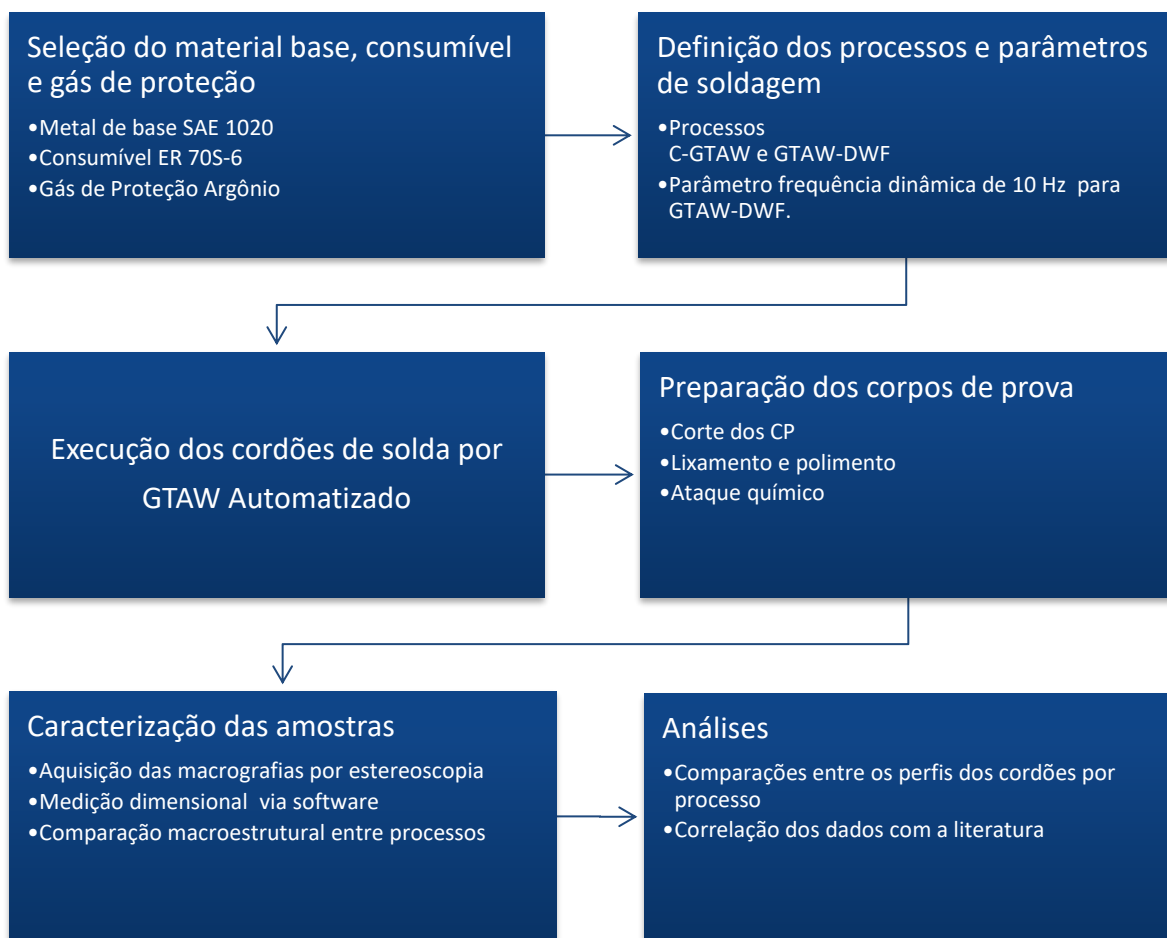
Estudos como o de Neves (2022) indicam que a variação da frequência de alimentação dinâmica influencia o comportamento do processo de soldagem. Assim, a investigação sob a ótica macroestrutural permite compreender como esses modos de alimentação afetam a formação do cordão, contribuindo para a otimização dos parâmetros e a melhoria da qualidade das juntas soldadas.

O presente trabalho tem como objetivo realizar um comparativo entre os processos C-GTAW e GTAW-DWF, com foco na análise macroestrutural do cordão de solda, da zona fundida e da zona afetada pelo calor.

## 2 METODOLOGIA

A Figura 1 apresenta o fluxograma das metodologias empregadas neste estudo. A análise dos resultados foi conduzida de forma descritiva e comparativa, com base nas observações macrográficas obtidas para os dois modos de alimentação avaliados. Foram comparadas as dimensões do cordão, a área da zona fundida, a penetração, a diluição e a extensão da zona afetada pelo calor.

**Figura 1 – Fluxograma das etapas metodológicas do estudo**



**Fonte:** Autores (2026).

### 2.1 MATERIAIS

A relação entre frequência de alimentação dinâmica e diluição, apresentada com base em Neves (2022), foi utilizada apenas como referência comparativa para a interpretação dos resultados. Neste estudo, a análise dos dados experimentais foi conduzida de forma descritiva e comparativa, considerando as medições

macrográficas de geometria do cordão, penetração, área da zona fundida, diluição e extensão da zona afetada pelo calor.

### 2.1.1 Metal de base

O metal de base empregado corresponde ao aço carbono estrutural SAE 1020 (UNS G10200), em conformidade com os limites de composição química estabelecidos pelo SAE J403:2024. Esse material apresenta baixo teor de carbono, em torno de 0,20%, sendo amplamente utilizado na fabricação de componentes mecânicos, como eixos, engrenagens e estruturas metálicas.

A composição química do aço SAE 1020 está apresentada na Tabela 1, enquanto suas propriedades mecânicas na condição laminada encontram-se descritas na Tabela 2.

**Tabela 1 – Composição química do aço com especificação SAE J403:2024**

| Designação | Grau | %C   | %Mn  | %Si | %P     | %S     | Cr  | Ni  | Mo  |
|------------|------|------|------|-----|--------|--------|-----|-----|-----|
|            |      | 0,18 | 0,30 |     |        |        |     |     |     |
| SAE 1020   | 1020 | —    | —    | --- | ≤ 0,04 | ≤ 0,05 | --- | --- | --- |
|            |      | 0,23 | 0,60 |     |        |        |     |     |     |

Fonte: Adaptado de ArcelorMittal (2026).

**Tabela 2 – Propriedades mecânicas do aço com especificação SAE J403:2024**

| Designação | Propriedades         | Valores |
|------------|----------------------|---------|
|            | Resistência a tração | 380 MPa |
|            | Limite de escoamento | 210 MPa |
| SAE 1020   | Alongamento          | 25%     |
|            | Dureza Brinell       | 111     |

Fonte: Adaptado de ArcelorMittal (2026).

### 2.1.2 Arame sólido

Nos processos C-GTAW e GTAW-DWF, utilizou-se como material de adição o arame classificado como ER70S-6, conforme especificado no código ASME II – Parte C – SFA 5.18 (2025). Sua composição química e suas propriedades mecânicas estão apresentadas, respectivamente, nas Tabelas 3 e 4.

**Tabela 3 – Composição química do ER70S-6**

| Designação | %C                | %Mn               | %Si               | %P    | %S    | Ni   | %Cr  | %Mo  | %V   | %Cu            |
|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|------|------|------|------|----------------|
| ER70S-6    | 0,06<br>-<br>0,15 | 1,40<br>-<br>1,85 | 0,80<br>-<br>1,15 | 0,025 | 0,035 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,03 | 0,50<br>(máx.) |

**Fonte:** Adaptado de ASME II Parte C - SFA 5.18 (2025).

**Tabela 4 – Propriedades mecânicas do ER70S-6**

| Propriedades         | Requisitos |
|----------------------|------------|
| Resistência a Tração | 480 MPa    |
| Limite de Escoamento | 400 MPa    |
| Alongamento          | 22%        |

**Fonte:** Adaptado de ASME II Parte C - SFA 5.18 (2025).

### 2.1.3 Eletrodo de Tungstênio

O processo de soldagem GTAW é caracterizado pela formação do arco elétrico entre um eletrodo não consumível de tungstênio (W – Wolfrâmio) e o metal de base, sob proteção de gás inerte, como argônio ou hélio. Embora apresente desgaste durante a soldagem, o eletrodo de tungstênio não participa da transferência metálica através do arco elétrico.

Neste estudo, utiliza-se o eletrodo EWTh-2 com diâmetro de 2,0 mm, composto por tungstênio com adição de 2% de óxido de tório ( $\text{ThO}_2$ ), conforme classificação da ASME SFA 5.12 (2025), destacando-se pela boa estabilidade do arco e resistência térmica no processo GTAW.

### 2.1.4 Gás de proteção

Nos ensaios, utilizou-se argônio 99,99% em ambos os processos (C-GTAW e GTAW-DWF). O GTAW emprega arco elétrico entre eletrodo de tungstênio não consumível e o metal de base, protegido por gases inertes. Essa configuração impede a transferência metálica, garantindo maior controle da soldagem. O argônio assegura estabilidade do arco e pureza da poça de fusão, reduzindo gases reativos e eliminando escória. Também diminui o hidrogênio no metal depositado, evitando falhas metalúrgicas.

## 2.2 EQUIPAMENTOS E PROCESSOS

### 2.2.1 Sistema experimental de soldagem automatizada

Os cordões de solda foram produzidos pelos métodos C-GTAW e GTAW-DWF, utilizando o sistema automatizado Tartílope V2F com ajuste da tensão e comprimento do arco através do controle automático de voltagem (*automatic voltage control* — AVC), conforme mostrado na Figura 2. Esse equipamento possui movimentação motorizada em vários eixos, assegurando a estabilidade do arco durante a soldagem.

A alimentação dinâmica do arame foi realizada pelo módulo de alimentação dinâmica (MAD), modelo A7PMDAC, permitindo controlar a frequência e a amplitude do movimento do arame por meio da integração com a fonte de soldagem. Os recursos empregados contaram com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), projeto nº 2018/18904-7, da Fundação de Apoio à Tecnologia (FAT), do Laboratório de Soldagem da Universidade Federal de Santa Catarina (Labsolda-UFSC) e da IMC Soldagem.

**Figura 2 – Componentes do sistema automatizado**



**Fonte:** Adaptado de Neves et al (2022) e Labsolda/SPS/UFSC (2019).

**Nota:** (A) Tartílope V2F com eixo AVC; (B) módulo de alimentação dinâmica (MAD) modelo A7PMDAC.

O sistema automatizado de soldagem GTAW com alimentação de arame é operado por meio de uma unidade de controle eletrônico externo da tocha de soldagem, permitindo a programação do sentido de deslocamento, da velocidade de soldagem, do tipo de oscilação e do acionamento da alimentação dinâmica do arame. Para a aquisição de dados em tempo real, utiliza-se o módulo do sistema de aquisição de parâmetros (SAP).

A Figura 3 ilustra a configuração de alimentação de arame em disposição radial à tocha GTAW, com ângulo de inclinação de 60° em relação à mesma. O consumível foi posicionado a 8 mm de distância do eletrodo de tungstênio com 2% de tório, que possui diâmetro de 3,2 mm.

**Figura 3 – Equipamento de soldagem**



**Fonte:** Autores (2026).

**Nota:** (A) bancada. (B) detalhe do Tartílope com a tocha de soldagem GTAW e suporte de arame.

## 2.3 PRODUÇÃO DAS CHAPAS TESTE

### 2.3.1 Parâmetros de soldagem

Os parâmetros de soldagem utilizados e monitorados nos experimentos seguem os estudos de Neves (2022), para aço estrutural, conforme apresentado na Tabelas 5 e 6, variando-se apenas o modo de alimentação do arame.

**Tabela 5 – Parâmetros de soldagem adotados para C-GTAW e GTAW-DWF**

| Parâmetros                                 | C-GTAW        | GTAW-DWF      |
|--------------------------------------------|---------------|---------------|
| Corrente de soldagem (A)                   | 210           | 210           |
| Tensão do arco (V)                         | 13,5          | 13,5          |
| Velocidade de soldagem (cm/min)            | 13            | 13            |
| Vazão do gás Ar (l/min)                    | 12            | 12            |
| Eletrodo de tungstênio EWTh-2 (Ø mm)       | EWTh-2 Ø 3,2  | EWTh-2 Ø 3,2  |
| Material de adição ER70S-6 (Ø mm)          | Arame ER70S-6 | Arame ER70S-6 |
| Velocidade de alimentação do arame (m/min) | 1,5           | 1,5           |

**Fonte:** Adaptado de Neves (2022).



**Tabela 6 – Parâmetros de soldagem adotados para C-GTAW e GTAW-DWF**

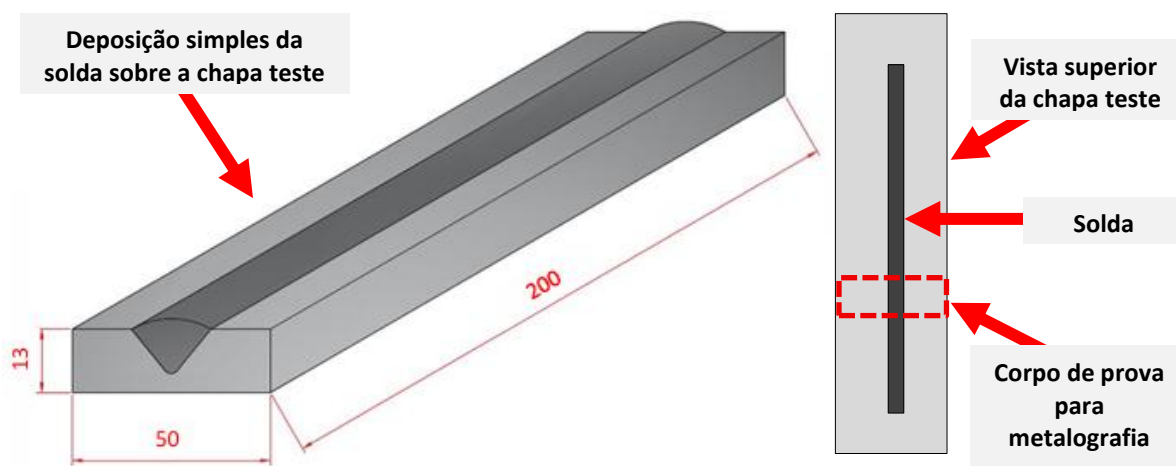
| Parâmetros                            | C-GTAW | GTAW-DWF |
|---------------------------------------|--------|----------|
| Avanço médio do arame (mm)            | 4      | 4        |
| Ângulo do arame (°)                   | 60     | 60       |
| Distância arame x eletrodo (mm)       | 5      | 5        |
| Aporte térmico (kJ/cm)                | 12,6   | 12,6     |
| Frequência de alimentação (Hz)        | ---    | 10       |
| Controle da tensão do arco (AVC) (mm) | 12,5   | 12,5     |

Fonte: Adaptado de Neves (2022).

### 2.3.2 Preparação dos corpos de prova

Os corpos de prova (CPs) utilizados em ambos os processos consistem em deposições simples realizadas sobre chapas de aço SAE 1020, sendo dimensionados de modo a possibilitar a análise do perfil do cordão de solda. A Figura 4 apresenta o detalhamento da preparação da chapa de teste, bem como a geometria e a configuração da deposição realizada.

**Figura 4 – Configuração da chapa teste com deposição simples do cordão de solda**



Fonte: Autores (2026).

Inicialmente, realizou-se a limpeza das peças, de modo a garantir uma superfície metálica brilhante e livre de impurezas. Após posicionamento e execução do processo automático de soldagem GTAW, observou-se a alimentação radial do arame durante a execução da rotação automática, conforme apresentado na Figura 5.



**Figura 5 – Soldagem da chapa teste**



**Fonte:** Autores (2026).

**Nota:** (A) Execução da deposição simples do cordão de solda sobre a chapa; (B) Alimentação radial do arame na poça de fusão.

### 2.3.3 Preparação metalográfica e análise de correlação linear

Com o objetivo de garantir que não houvesse alterações térmicas ou mecânicas capazes de comprometer a integridade macroscópica, as amostras foram cortadas seguindo as recomendações das normas ASTM E3-11 — *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens* (2017), ASTM E112-13: *Standard Test Methods for Determining Average Grain Size* e da *American Welding Society* (AWS D1.1M/D1.1:2025).

O corte dos corpos de prova foi realizado em serra fita industrial Franho, modelo FMG 500, conforme apresentado na Figura 6. Em seguida, as amostras foram submetidas aos processos de lixamento e polimento progressivo.

**Figura 6 – Equipamentos utilizados na preparação dos corpos de prova**



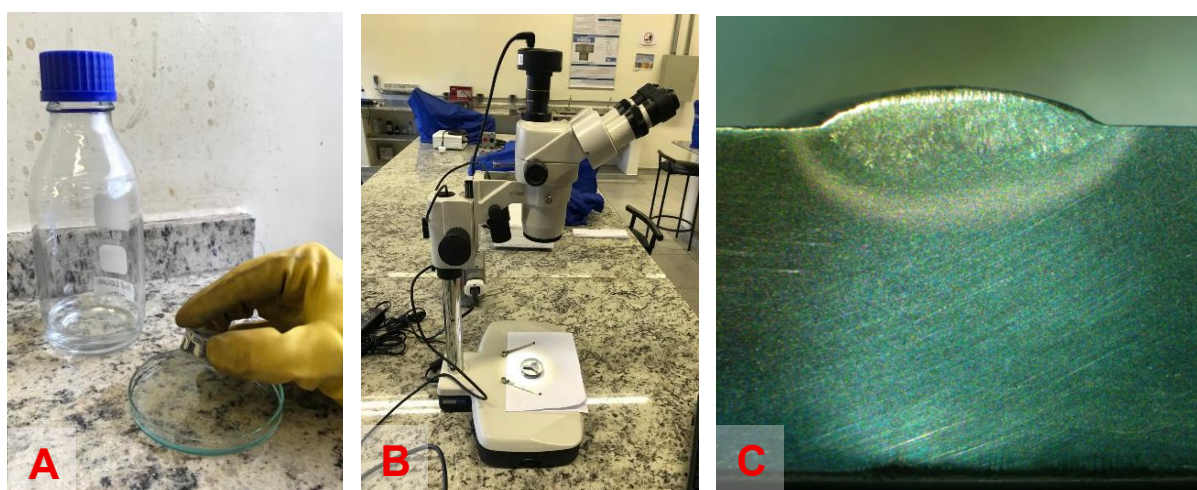
**Fonte:** Autores (2026). Colaboração: (A) Laboratório de Soldagem Fatec Itaquera (2026); (B) Laboratório de Microscopia Fatec SP (2026).

**Nota:** (A) para corte da seção transversal; (B) lixamento e polimento.

Após preparação metalográfica, os corpos de prova foram submetidos aos procedimentos de caracterização, conforme apresentados na Figura 7. Foi realizado o ataque químico com solução de Nital a 3% de  $\text{HNO}_3$  e 97% de álcool isopropílico.

A macroestrutura foi obtida através de um estereoscópio ZEISS, no qual as análises dimensionais foram realizadas no *software Top View 64 bit. Release 4.8.3*, possibilitando verificar aspectos como geometria do cordão de solda, penetração, fusão e eventuais descontinuidades, e os dados foram tratados no *software ImageJ* sobre a macrografia.

**Figura 7 – Etapas da caracterização das amostras**



**Fonte:** Autores (2026). Colaboração: Laboratório de Microscopia Fatec Itaquera (2026).

**Nota:** (A) ataque químico com Nital; (B) estereoscópio ZEISS Axion para a análise macroestrutural; (C) imagem macrográfica.

Após as macrografias, estas foram correlacionadas aos dados obtidos no estudo de Neves (2022), utilizando um modelo de regressão linear envolvendo o coeficiente de Pearson entre as variáveis de diluição e frequência dinâmica.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 SOLDAGEM GTAW

Segundo Brandi *et al* (1992 apud Souza *et al* 2019), os métodos de união por soldagem englobam uma imensa e diversificada área de estudo, considerando além de suas definições, os princípios e conceitos históricos que o compõem, o processo de soldagem GTAW, sendo considerado um dos processos mais utilizados e recomendados quando se trata de excelência em qualidade do produto.

### **3.1.2 Soldagem GTAW com alimentação contínua e dinâmica**

No processo GTAW com alimentação contínua (C-GTAW), o arame é introduzido de forma constante na poça de fusão, resultando em um regime térmico mais estável e contínuo. Sob essa condição, conforme discutido por Neves (2022), a solidificação tende a ocorrer com menor perturbação da poça, favorecendo o crescimento direcional dos grãos, frequentemente com morfologia colunar, associado a gradientes térmicos mais elevados e menor taxa de nucleação heterogênea.

Por outro lado, no processo com alimentação dinâmica (GTAW-DWF), a alimentação do arame ocorre de maneira dinâmica, com movimentos controlados de avanço e recuo, sincronizados com os parâmetros do arco. De acordo com Neves (2022), essa dinâmica impõe perturbações periódicas na poça de fusão, promovendo alterações nas condições locais de solidificação, como variações no gradiente térmico e na taxa de crescimento. Como consequência, observa-se um aumento na taxa de nucleação e uma tendência ao refinamento microestrutural, com possível formação de grãos mais equiaxiais.

## **3.2 METALOGRAFIA**

### **3.2.1 Macrografias**

A análise macrográfica consiste na avaliação da estrutura dos materiais em escala macroscópica, realizada a olho nu ou com baixos aumentos. No contexto da soldagem, envolve a preparação de seções transversais com ataque químico, permitindo observar o perfil do cordão, a penetração, a extensão da zona fundida e da zona afetada pelo calor, além da identificação de descontinuidades como porosidade, falta de fusão e trincas.

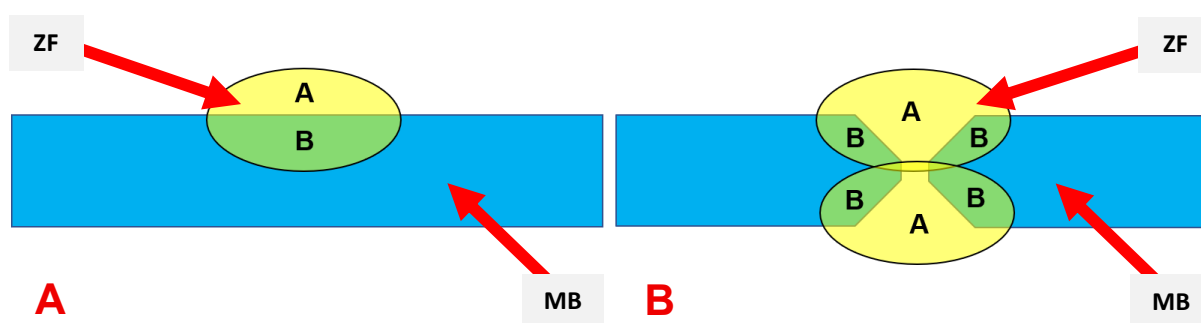
Segundo Totten (2018), a macrografia é uma ferramenta fundamental para a avaliação da qualidade de juntas soldadas, permitindo analisar a homogeneidade do cordão, a profundidade de penetração e a presença de descontinuidades, como porosidades, trincas e falta de fusão. Além disso, possibilita correlacionar as características geométricas do cordão com parâmetros de processo, como corrente, tensão, velocidade de soldagem e aporte térmico.

No contexto da soldagem, Marques, Modenesi e Bracarense (2019) destacam que a macrografia é fundamental para avaliar a influência de parâmetros como corrente, tensão, velocidade de soldagem e aporte térmico na geometria do cordão. Ademais, permite analisar a estabilidade do arco, a eficiência da fusão, a uniformidade da deposição metálica e a identificação das regiões características da junta, como o metal de base (MB), a zona afetada pelo calor (ZAC) e a zona fundida (ZF).

### 3.2.2 Diluição

De Segundo Rodrigues et al. (2022), a diluição pode ser definida como a participação do metal de base na zona fundida, correspondendo à mistura entre o metal de adição e o metal de base fundido durante operações de soldagem de revestimento sobre chapa ou soldagem de união de topo. A Figura 8 e Equação 1, exemplificam as formas de análises da diluição e método de cálculo, respectivamente.

Figura 8 – Diluição



Fonte: Adaptado de Rodrigues *et al* (2022).

Nota: (A) Soldagem de revestimento e (B) soldagem tipo junta de topo.

$$Diluição (\%) = \frac{B}{B + A} * 100 \quad (1)$$

B = Área da participação do metal de base na zona fundida

A = Zona fundida

### 3.3 REGRESSÃO LINEAR

De acordo com Filho e Júnior (2009), o coeficiente de correlação de Pearson (r) consiste em uma medida de associação linear entre variáveis, utilizada para avaliar

tanto a direção quanto a intensidade da relação linear existente entre duas variáveis quantitativas, onde a Equação 2, demonstra a forma de calcular o mesmo.

$$r = \frac{1}{n-1} \sum \left( \frac{x_1 - \bar{X}}{S_x} \right) \left( \frac{y_1 - \bar{Y}}{S_y} \right) \quad (2)$$

Onde:

r = Coeficiente de Pearson;

n = Número de variáveis analisadas;

x e y = valores observados da 1ª e 2ª variável quantitativa, respectivamente;

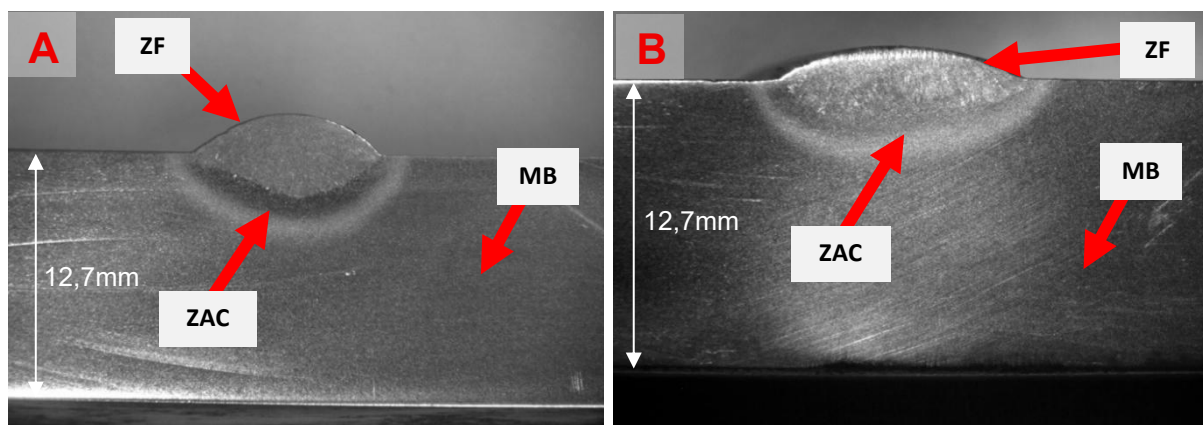
$\bar{X}$  e  $\bar{Y}$  = médias dos valores das variáveis X e Y, respectivamente;

Sx e Sy = Desvios padrões de variáveis “x” e “y”.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise macroestrutural foi conduzida com a finalidade de avaliar a integridade das juntas soldadas e identificar as regiões características do cordão de solda, abrangendo o metal de base (MB), a zona afetada pelo calor (ZAC) e a zona fundida (ZF), conforme demonstrado na Figura 9A (C-GTAW) e Figura 9B (GTAW-DWF), sem evidência de descontinuidades em ambas as soldas.

**Figura 9 – Macrografias dos corpos de prova**



**Fonte:** Autores (2026).

**Nota:** (A) em C-GTAW; (B) em GTAW-DWF.

As macrografias revelaram diferenças na geometria do cordão de solda entre os processos analisados. No processo C-GTAW, a zona fundida (ZF) apresentou 9,66 mm de largura, cordão com altura de 2,01 mm e penetração de 2,4 mm (Figura 10A).

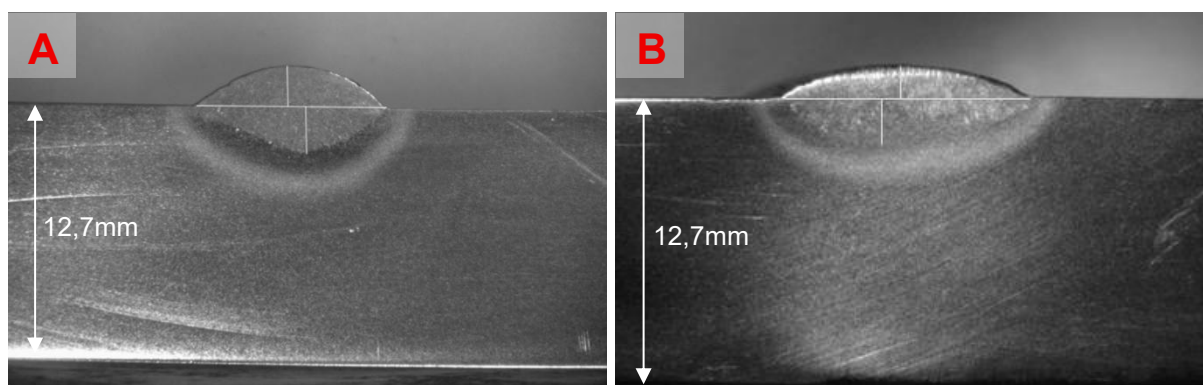


No processo GTAW-DWF, observa-se uma maior assimetria do cordão com largura de 10,63 mm, penetração máxima de 1,7 mm e altura de 1,41 mm (Figura 10B).

A maior profundidade observada no processo C-GTAW pode estar associada à alimentação contínua do arame, que favorece maior estabilidade da poça de fusão e maior regularidade na transferência do metal de adição.

No processo GTAW-DWF, por sua vez, o movimento dinâmico do arame pode contribuir para a maior distribuição lateral do cordão depositado, resultando em cordões com maior largura e menor altura. Esse comportamento sugere que a alimentação dinâmica do arame influencia a geometria da solda, mesmo quando os principais parâmetros de modulação são mantidos constantes.

**Figura 10 – Perfis macrográficos das soldas**



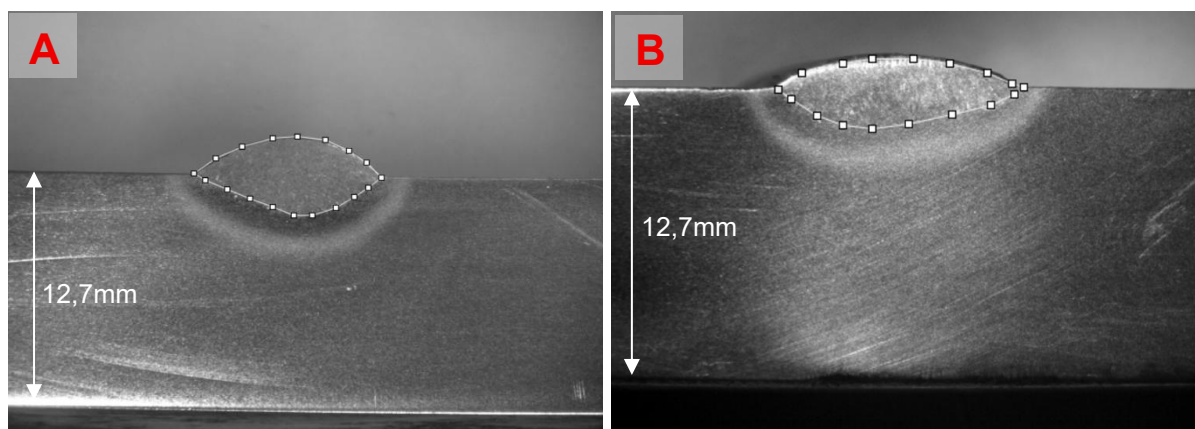
**Fonte:** Autores (2026).

**Nota:** (A) em C-GTAW; (B) em GTAW-DWF.

No que diz respeito à zona fundida (ZF), a análise macrográfica, revelou uma área de 27,8 mm<sup>2</sup> para o processo C-GTAW (Figura 11A) e 28,08 mm<sup>2</sup> para a área da solda executada com alimentação dinâmica (GTAW-DWF), conforme visualizado na Figura 11, o que correspondeu a uma diferença reduzida de 1,01%. Esse resultado indica que, nas condições avaliadas, o modo de alimentação do arame exerceu ínfima influência sobre a área total da zona fundida.

Entretanto, embora as áreas tenham sido semelhantes, os perfis geométricos dos cordões foram distintos, demonstrando que a alimentação dinâmica influenciou principalmente a forma como o metal fundido se distribuiu na seção transversal da solda.

**Figura 11 – Zonas Fundidas**



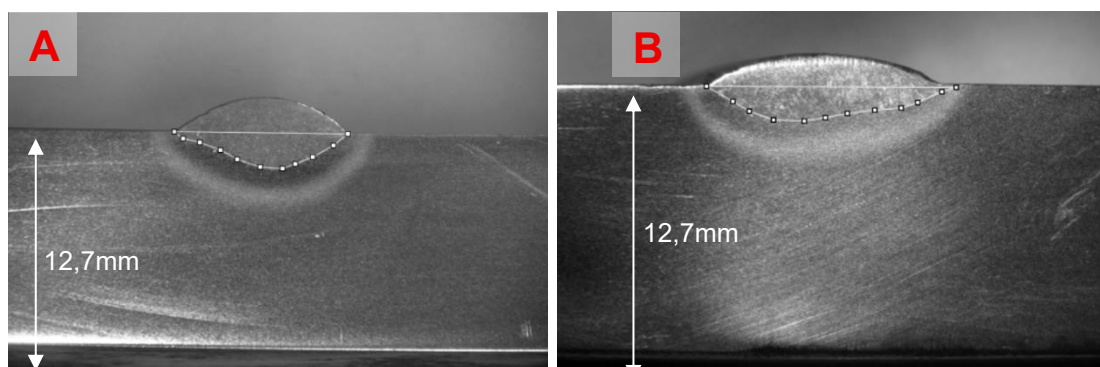
**Fonte:** Autores (2026).

**Nota:** (A) em C-GTAW; (B) em GTAW-DWF.

Observou-se que a soldagem realizada com alimentação contínua (C-GTAW) conforme Figura 12, o corpo de prova apresentou uma diluição de 50,54% em comparação à soldagem com alimentação dinâmica de 10 Hz (GTAW-DWF), com um valor de 43,87%, refletido em uma queda de 6,67%. Tais evidências corroboram com o estudo de diluição efetuado na tese de Neves (2022).

Os dados acima, refletem a preocupação de Riffel (2016), quanto à obtenção de baixos níveis de diluição de ligas especiais sobre ligas ferrosas, constituindo-se como um fator fundamental nos processos de soldagem de revestimento, uma vez que a elevada diluição pode comprometer a resistência à corrosão. Dessa forma, a seleção dos consumíveis de soldagem deve considerar a minimização da incorporação de elementos provenientes do metal de base, especialmente o ferro, visando preservar a composição química e o desempenho anticorrosivo da junta soldada.

**Figura 12 – Diluição**



**Fonte:** Autores (2026).

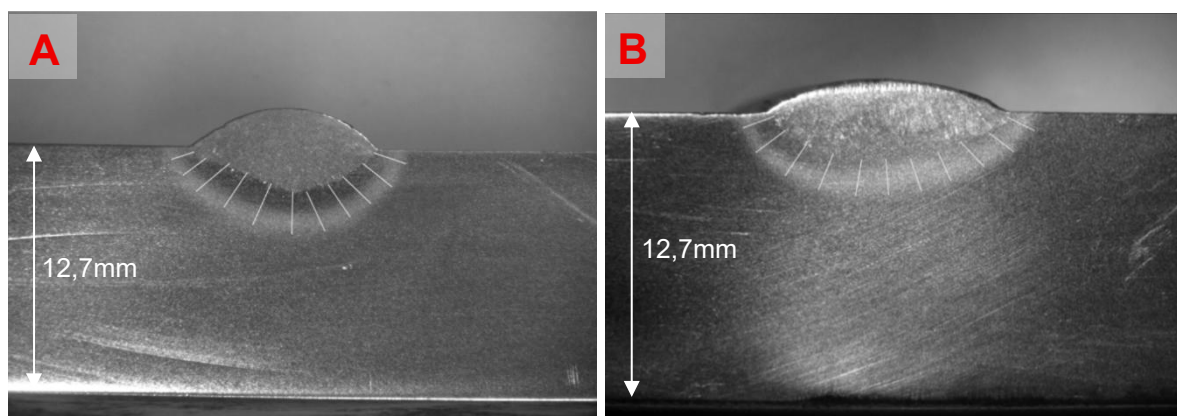
**Nota:** (A) CP com C-GTAW; (B) CP com GTAW-DWF.



A menor variação na ZAC no GTAW-DWF também sugere maior regularidade térmica ao longo da seção analisada. Enquanto no processo C-GTAW apresentou variação de 1,19 mm a 2,30 mm, o GTAW-DWF apresentou variação de 1,33 mm a 1,72 mm. Essa menor dispersão pode indicar melhor controle térmico local, possivelmente associado ao movimento alternado do arame frio e ao modo de transferência de energia para a poça de fusão.

A extensão da zona afetada pelo calor (ZAC) foi avaliada por meio de 11 medições realizadas com o auxílio do software *ImageJ*. O corpo de prova soldado com alimentação contínua (Figura 13A), apresentou uma ZAC variando de 1,19 mm a 2,30 mm com média de 1,93 mm.

**Figura 13 – Área da zona afetada pelo calor**



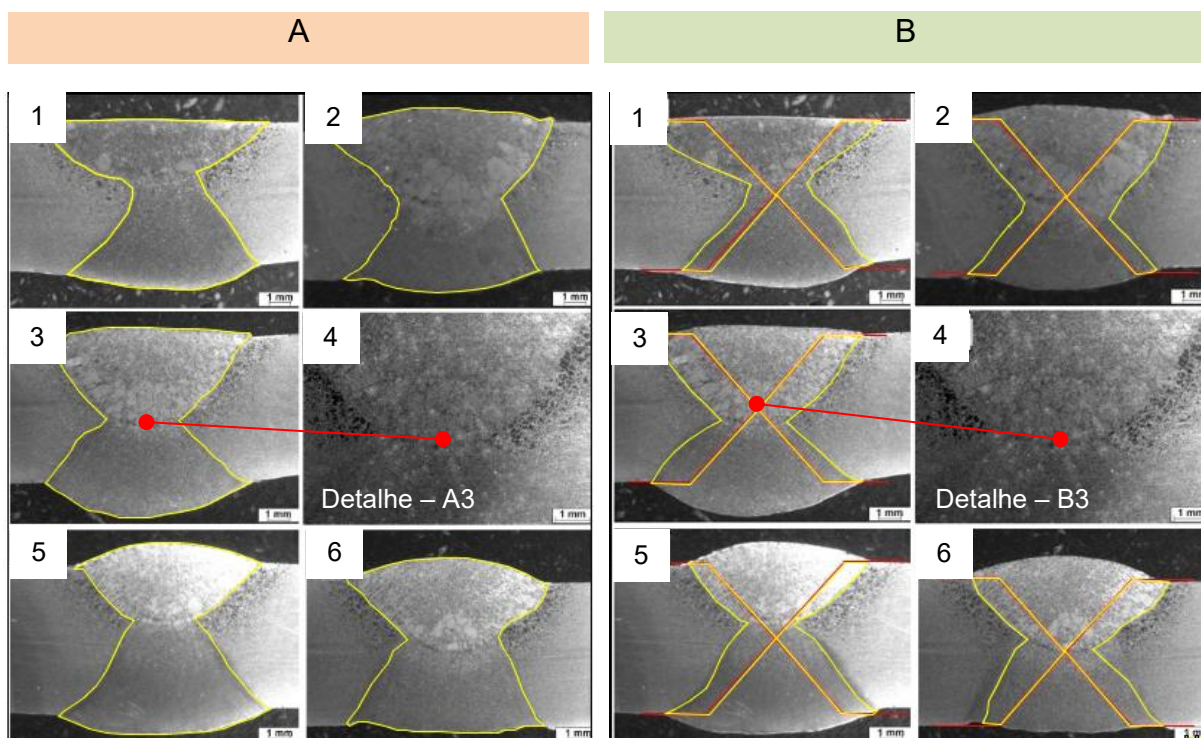
**Fonte:** Autores (2026).

**Nota:** (A) Zona fundida e (B) Diluição.

Para a solda realizada com alimentação dinâmica de 10 Hz (Figura 13B), utilizando-se a mesma metodologia, a ZAC variou de 1,33 mm a 1,72 mm, com média de 1,22 mm, representando uma redução de aproximadamente 36,79% em relação ao processo C-GTAW. Esse resultado sugere que o processo GTAW-DWF favoreceu maior controle térmico local, possivelmente devido ao movimento alternado do arame e à forma de transferência de energia para a poça de fusão.

No estudo de Neves (2022), foram realizadas soldas pelo processo GTAW-DWF com consumível ER70S-6 sobre aço estrutural C-Mn-Si, em junta de topo com chanfro em “X”. A Figura 14 apresenta a delimitação da zona fundida e a participação do metal de base, utilizadas para a determinação da diluição. Os resultados reportados corroboram as observações de Riffel *et al.* (2018).

**Figura 14 – Estudo de diluição**

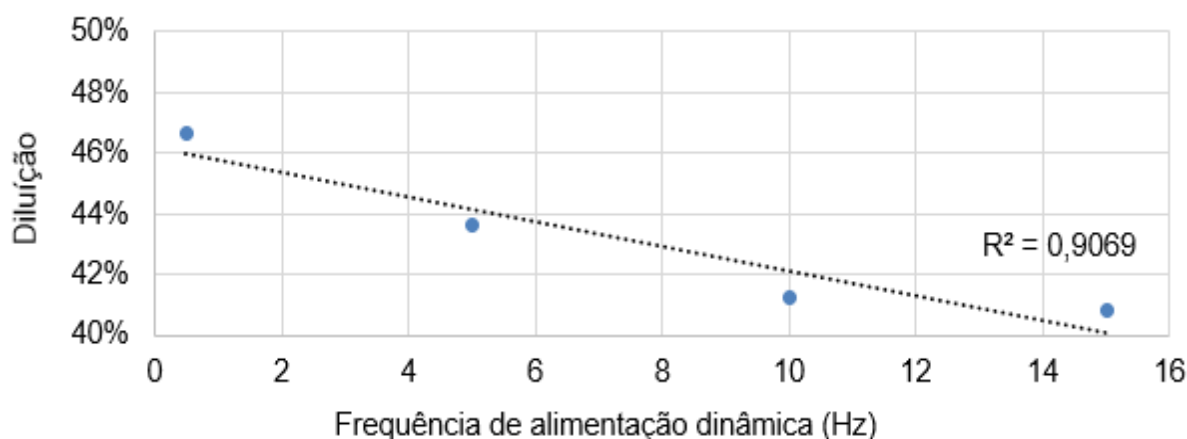


**Fonte:** Adaptado de Neves (2022).

**Nota:** (A) Zona fundida e (B) Diluição.

Aplicando o coeficiente de Pearson (Figura 15), constatou-se uma correlação negativa entre a frequência dinâmica de alimentação e a diluição, ou seja, quanto maior a frequência, menor a diluição. A diluição consiste na participação do metal de base na zona fundida. No estudo de Neves (2022), também observou o mesmo tipo de correlação, com coeficiente de determinação de  $R^2 = 0,9069$ , indicando forte associação entre as variáveis analisadas naquele estudo.

**Figura 15 – Correlação entre a diluição e frequência de alimentação dinâmica (0,5 Hz – 15 Hz)**



**Fonte:** Adaptado de Neves (2022).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises macrográficas das soldas realizadas pelo processo GTAW automatizado, com alimentação contínua e dinâmica, indicaram ausência de descontinuidades visíveis nas condições avaliadas, evidenciando a adequação dos parâmetros utilizados no presente estudo.

As geometrias dos cordões foram influenciadas pelo modo de alimentação do arame. O processo C-GTAW apresentou maior penetração e maior altura do cordão, enquanto o processo GTAW-DWF resultou em maior largura e menor altura. Esse comportamento sugere que a alimentação dinâmica modifica a distribuição do metal depositado e a interação térmica na poça de fusão, mesmo quando os principais parâmetros de transferência são mantidos constantes.

As áreas das zonas fundidas foram semelhantes, com diferença aproximada de 1,01%, indicando que o modo de alimentação teve pouca influência sobre a área total fundida. Entretanto, houve alteração no perfil da solda, demonstrando que a dinâmica da alimentação influencia principalmente a geometria da secção transversal.

Em relação à diluição, a solda realizada com alimentação dinâmica de 10 Hz apresentou menor participação do metal de base na zona fundida, com redução de 6,67% em comparação à soldagem com alimentação contínua. Esse resultado é relevante para aplicações em que se busca maior controle da composição química do metal depositado, como na soldagem de revestimento e em aplicações industriais que exigem menor interação entre metal de base e metal de adição.

A extensão média da ZAC também foi menor no processo GTAW-DWF, indicando maior controle térmico na condição avaliada. Esse comportamento pode estar associado aos movimentos sucessivos do arame, que influenciam a transferência de calor e a distribuição do metal na poça de fusão.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se ampliar o número de amostras, avaliar outras frequências de alimentação dinâmica e complementar a análise macrográfica com ensaios de dureza, caracterização microestrutural e análise estatística dos resultados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNATIONAL. **ASTM E3-11**: Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNATIONAL. **ASTM E112-13**: Standard Test Methods for Determining Average Grain Size. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNATIONAL. **ASTM handbook of comparative world steel standards**. 3. ed. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2004.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME Boiler and Pressure Vessel Code – Section II**: Materials, Part C: Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals (SFA-5.12). New York: ASME, 2025.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME Boiler and Pressure Vessel Code – Section II**: Materials, Part C: Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals (SFA-5.18). New York: ASME, 2025.

AMERICAN WELDING SOCIETY. **AWS D1.1/D1.1M:2020 – Structural Welding Code – Steel**. Miami, FL: AWS, 2020.

ARCELORMITTAL. **Guia do aço**. Essel Engenharia, 2024. Disponível em: <<https://essel.com.br/download/arcelormittal-guia-do-aco/>>. Acesso em: 5 maio 2026.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais**: uma introdução. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia mecânica**: materiais de construção mecânica. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2017.

COLPAERT, H. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2008.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. **Soldagem**: fundamentos e tecnologia. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.

MODENESI, P. J. **Soldagem**: fundamentos e tecnologia. Belo Horizonte: UFMG, 2001.

NEVES, N. **Estudo da influência da frequência de alimentação dinâmica do processo de soldagem TIG automático no comportamento de fadiga axial do aço C-Mn-Si**. 2022. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2022.

RIFFEL, K. C.; **Soldagem de união interna em tubos de aço C-Mn cladeados com Inconel 625**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 2016.

RIFFEL, C.R. **Avanços Tecnológicos do processo TIG: Técnicas inovadoras de alimentação de arame e procedimentos automatizados como contribuição para a união de tubos internamente cladeados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina. UFSC Florianópolis, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/176703/347848.pdf> sequence =1&isAllowed=y>. Acesso em 05 mai. 2020.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS INTERNATIONAL. **SAE J403\_202402**: Chemical Compositions of SAE Carbon Steels. Warrendale, PA: SAE International, 2024. Stabilized February 2024. Revised June 2014. Issued June 1911. Disponível em: <[https://saemobilus.sae.org/standards/j403\\_202402-chemical-compositions-sae-carbon-steels](https://saemobilus.sae.org/standards/j403_202402-chemical-compositions-sae-carbon-steels)>. Acesso em: 22 maio 2026. DOI: 10.4271/J403\_202402.

SOUZA, S. S.; NUNES, W. M. M.; PAGANINI, P. Processo de soldagem: uma introdução aos princípios básicos do processo de soldagem TIG aplicado na indústria mecânica. **Revista Científica de Ciências Exatas e Tecnologia**, Contagem, MG, v. 14, n. 14, p. 27–29, 2019.