

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA

ALDO PIRES E SILVA

AVALIAÇÃO DO PROCESSO MIG/MAG COM ADIÇÃO DE ARAME FRIO VISANDO
APLICAÇÕES DE REVESTIMENTO

Joinville

2023

ALDO PIRES E SILVA

AVALIAÇÃO DO PROCESSO MIG/MAG COM ADIÇÃO DE ARAME FRIO VISANDO
APLICAÇÕES DE REVESTIMENTO

Trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel no Curso de Graduação em Engenharia Automotiva do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Prof. Dr. Tiago Vieira da Cunha

Joinville

2023

ALDO PIRES E SILVA

AVALIAÇÃO DO PROCESSO MIG/MAG COM ADIÇÃO DE ARAME FRIO,
VISANDO APLICAÇÕES DE REVESTIMENTO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Automotiva, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 28 de junho de 2023.

Banca Examinadora:

Dr. Tiago Vieira da Cunha
Orientador/Presidente

Msc. Eng. Anna Louise Voigt – UFSC/LTS
Membro

Prof. Dr. Leonidas Cayo Mamani Gilapa - IFSC
Membro

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à minha família, em especial meus pais Aldo e Ana Lucia, que são responsáveis por eu chegar até aqui e sempre me guiarem pelo melhor caminho na vida.

A minha namorada, Stefany, que me apoia desde meus primeiros semestres na faculdade, estando presente nos melhores e piores momentos dessa jornada e nunca me deixando desanimar.

Ao meu orientador Tiago Vieira da Cunha, pela orientação e aprendizados durante essa fase primordial da graduação.

À equipe do LTS, pelo auxílio e parceria durante a confecção deste trabalho.

Aos amigos Vitor Catão, Henrique, Vinicius Pivotto, Senna, Vinicius Pereira e todos os que compartilharam os momentos felizes e complicados comigo durante a graduação.

Aos profissionais da UFSC Joinville: professores, técnicos e funcionários que foram solícitos sempre que precisei.

E por fim, à pessoa que me ajudou a ser uma pessoa melhor durante toda minha formação, Lourdes Bernardes, minha avó, a qual dedico esse esforço para deixá-la orgulhosa de onde estiver.

“Brindo à casa, brindo à vida, meus amores, minha família.”
(O Rappa, 2003).

RESUMO

O processo de soldagem MIG/MAG com adição de arame frio é um processo difundido na engenharia, devido a sua versatilidade e elevadas taxas de deposição. Em pesquisas bibliográficas realizadas, verifica ser pertinente a aplicação desse processo aliado a técnica de tecimento (oscilação da tocha), visando aplicações de revestimento. Neste contexto, o presente trabalho propõe avaliar o efeito da variação da velocidade de alimentação do arame frio, para diferentes valores de corrente média, na soldagem MIG/MAG Pulsada. Os cordões de solda foram obtidos através de simples deposição de cordões sobre chapas de aço SAE 1020, posição plana, com arames de classe ER70S-6. Para desenvolver esse trabalho, foram utilizados valores de 80, 120 e 160 A de corrente média, com variações de velocidade de alimentação do arame frio adicional, em 30%, 60% e 90% sobre a velocidade de alimentação do arame energizado, além de realizar os processos para não adição de arame. A partir das macrografias das seções transversais obtidas, os resultados mostraram que para uma velocidade de alimentação de arame frio de 30%, há uma variação considerável nos valores de diluição e largura, em comparação à não adição de arame, apenas na corrente média empregada de 160 A. Além disso, percebeu-se que o aumento da velocidade de alimentação, para baixos valores de correntes média, podem gerar falta de fusão do material. Ao aumentar a corrente média, o processo sem arame adicional gerou altos níveis de penetração e diluição, sendo necessária a adição do arame frio para obtenção de cordões de solda satisfatórios à soldagem por revestimento.

Palavras-chave: MIG/MAG. Corrente média. Velocidade de alimentação. Pulsado.

ABSTRACT

The MIG/MAG welding process with the addition of cold wire is a widespread process in engineering, due to its versatility and high deposition rates. In bibliographic research carried out, it is verified that the application of this process combined with the weaving technique (torch oscillation) is pertinent, aiming at coating applications. In this context, the present work proposes to evaluate the effect of varying the cold wire feed speed, for different average current values, in pulsed MIG/MAG welding. The weld beads were obtained by simply depositing beads on SAE 1020 steel plates, in a flat position, with ER70S-6 grade wires. To develop this work, average current values of 80, 120 and 160 A were used, with additional cold wire feed speed variations of 30%, 60% and 90% over the energized wire feed speed, in addition to performing the processes for not adding wire. From the macrographs of the cross-sections obtained, the results showed that for a cold wire feed speed of 30%, there is a considerable variation in the dilution and width values, compared to not adding wire, only in the average current used of 160 A. In addition, it was noticed that the increase in the feed speed, for low values of average currents, can generate a lack of melting of the material. By increasing the average current, the process without additional wire generated high levels of penetration and dilution, requiring the addition of cold wire to obtain satisfactory weld beads for overlay welding.

Keywords: MIG/MAG. Average current. Feeding speed. Pulsed.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Princípio da soldagem MIG/MAG..... | 14 |
| Figura 2 - Esquema dos equipamentos para o processo MIG/MAG | 15 |
| Figura 3 – MIG/MAG modos de transferência: (A) Curto-circuito, (B) Arco pulsado, (C) Globular, (D) Goticular. | 16 |
| Figura 4 - Esquema do modo de transferência por arco pulsado..... | 17 |
| Figura 5 – Exemplos de padrões de tecimento | 19 |
| Figura 6 – Influência do tecimento sobre a largura, reforço, penetração e razão R/L | 20 |
| Figura 7 – Geometria dos cordões de solda sem tecimento e com tecimento triangular | 21 |
| Figura 8 – Energia de soldagem para diferentes velocidades de alimentação do arame e frequências de tecimento. | 22 |
| Figura 9 – Acabamento superficial com frequência de oscilação 1 Hz (A) e sem oscilação (B)..... | 23 |
| Figura 10 – Imagens da superfície de cordão para dadas frequências de tecimento..... | 24 |
| Figura 11 – Perfil geométrico desejado do cordão de solda para revestimento. | 26 |
| Figura 12 – relação entre ângulo de contato e molhabilidade | 27 |
| Figura 13 – Desenho da inserção do arame adicional na frente do arco MIG/MAG .. | 28 |
| Figura 14 – Aspecto visual do revestimento dos ensaios da Tabela 3..... | 31 |
| Figura 15 - Comparativo entre valores de diluição nos processos MIG/MAG e MIG/MAG-AF..... | 32 |
| Figura 16 – a) MIG/MAG-AF b) MIG/MAG convencional | 33 |
| Figura 17 – Centro da seção transversal do cordão: a) MIG/MAG convencional; b) MIG/MAG-AF..... | 34 |
| Figura 18 – Perfis de pulso de corrente utilizados: a) relação de corrente mais baixa; b) relação de corrente mais alta | 35 |
| Figura 19 – Fluxograma de atividades do trabalho | 36 |
| Figura 20 – Bancada de ensaios..... | 37 |
| Figura 21 – Ensaios de soldagem | 38 |
| Figura 22 – Posicionamento de inserção do arame adicional | 39 |
| Figura 23 – Oscilograma de corrente MIG/MAG 120 A com 30% de arame frio. | 40 |
| Figura 24 – Corpos de prova seccionados..... | 41 |

| | |
|--|----|
| Figura 25 – Macrografia do processo de soldagem: a) MIG/MAG, b) MIG/MAG-AF 30%, c) MIG/MAG-AF 60%, d) MIG/MAG-AF 90% | 42 |
| Figura 26 – Gráfico área depositada x velocidade de alimentação de arame frio | 44 |
| Figura 27 – Vista frontal da inserção do arame frio | 44 |
| Figura 28 - Macrografia do processo de soldagem: a) MIG/MAG, b) MIG/MAG-AF 30%, c) MIG/MAG-AF 60%, d) MIG/MAG-AF 90%..... | 45 |
| Figura 29 – Macrografias do processo de soldagem para MIG/MAG-AF 60%..... | 46 |
| Figura 30 - Macrografia do processo de soldagem: a) MIG/MAG, b) MIG/MAG-AF 30%, c) MIG/MAG-AF 60%, d) MIG/MAG-AF 90%..... | 47 |
| Figura 31 – Cordões de solda a) MIG/MAG-AF 60%, b) MIG/MAG-AF 90% | 49 |
| Figura 32 – Gráfico de diluição vs corrente média e velocidade de alimentação arame frio | 50 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Forma de preparação para diversas espessuras a solda pelo processo MIG/MAG | 15 |
| Tabela 2 – Características gerais dos modos de transferência metálica | 17 |
| Tabela 3 – Parâmetros testes MIG/MAG convencional e MIG/MAG com arame frio | 30 |
| Tabela 4 – Parâmetros fixos de soldagem | 39 |
| Tabela 5 – Valores de correntes e tempos de operação no modo pulsado | 40 |
| Tabela 6 – Resultados das medidas obtidas para 80 A | 43 |
| Tabela 7 – Resultados das medidas obtidas para 120 A | 46 |
| Tabela 8 – Resultado das medidas obtidas para 160 A | 48 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ar – Argônio

AF – Arame Frio

CA – Corrente Alternada

CC- - Corrente com polaridade negativa

CW-GMAW – Cold-wire Gas Metal Arc Welding

GMAW – Gas Metal Arc Welding

Hz – Hertz

I_b – Corrente de Base

I_p – Corrente de Pico

I_t – Corrente de Transição Globular

LTS – Laboratório de Tecnologia da Soldagem

MEF – Métodos dos Elementos Finitos

MIG/MAG – Metal Inert Gas/Metal Active Gas

NP – Narrow Gap

R/L – Reforço/Largura

TIG – Tungsten Inert Gas

ZTA – Zona Termicamente Afetada

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1. OBJETIVOS | 13 |
| 1.1.1. Objetivo Geral | 13 |
| 1.1.2. Objetivos Específicos | 13 |
| 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 14 |
| 2.1 O PROCESSO MIG/MAG | 14 |
| 2.2 TÉCNICA DE TECIMENTO..... | 18 |
| 2.3 REVESTIMENTO | 25 |
| 2.4 PROCESSO MIG/MAG COM ARAME ADICIONAL FRIO | 27 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS | 36 |
| 3.1 BANCADA DE ENSAIOS | 36 |
| 3.2 MATERIAIS E CORPOS DE PROVA..... | 37 |
| 3.3 ENSAIOS DE SOLDAGEM | 38 |
| 3.4 PREPARAÇÃO METALOGRÁFICA..... | 41 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 42 |
| 4.1 ANÁLISE DA GEOMETRIA DOS CORDÕES DE SOLDA..... | 42 |
| 4.1.1 Corrente média de 80 A | 42 |
| 4.1.2 Corrente média de 120 A | 45 |
| 4.1.3 Corrente média de 160 A | 47 |
| 4.2 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS ENTRE AS DIFERENTES CORRENTES | 49 |
| 5. CONCLUSÕES | 52 |
| 6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 53 |
| REFERÊNCIAS | 54 |

1. INTRODUÇÃO

Na seleção da adequada operação de soldagem, são considerados fatores como características operacionais, posição a ser efetuada, custos gerais e a taxa de deposição. Nesse contexto, o processo *Metal Inert Gas/Metal Active Gas* (MIG/MAG) se destaca quando comparado a outros processos a arco elétrico, como Eletrodo Revestido e *Tungsten Inert Gas* (TIG), principalmente em relação à alta taxa de deposição, ao conferir maior produtividade ao processo. Facilidade na execução da soldagem, visibilidade total da poça de fusão e eletrodo nu ser alimentado continuamente, são versatilidades a serem destacadas (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2001).

Na soldagem MIG/MAG, a taxa de fusão que correlaciona dependentemente a corrente aplicada e a quantidade de material de adição, pode fazer com que restrições sejam impostas. Em virtude de um incremento excessivo na deposição de material, a energia necessária para fundir o material acaba por comprometer a estabilidade operacional do processo e, conseqüentemente, a qualidade final da solda. Desse modo, em contraposto à manipulação de fenômenos físicos do arco elétrico como utilização de CC- e CA, tem-se a utilização da técnica de um arame adicional para melhor eficiência de fusão do arame (MOGROVEJO, 2014).

Ribeiro et al. (2015) explicam que a técnica de adição de um arame frio (cold-wire) utiliza parte do calor do arco elétrico, atuando como um dissipador de calor e, por consequência, diminuindo a energia transferida para peça em relação ao processo sem adição de arame. Ao utilizar parte da energia proveniente do arco elétrico, o arame adicional realiza mudanças na transferência de calor para o material de base, o que pode diminuir a extensão das zonas termicamente afetadas (ZTA). Além disso, tensões residuais impostas sobre a peça são reduzidas, sendo capaz de limitar descontinuidades nos cordões, ao mesmo tempo que se aumenta a taxa de deposição (produtividade) em relação ao MIG/MAG convencional.

Além da busca por maior produtividade, a indústria atual enfrenta um desafio no que diz respeito à degradação de componentes e possíveis efeitos nos metais de base. A soldagem de revestimento, por sua vez, apresenta-se como alternativa à utilização de materiais de elevado custo, ao permitir a obtenção de superfícies com propriedades anticorrosivas em materiais de baixo custo, como os aços de baixo

carbono, mantendo o valor de produção baixo e conferindo características superficiais que não são particulares do metal de base. Gomes (2010) explicita que, ao adicionar um material dissimilar à superfície metálica, tal deposição cria superfícies com características desejadas à funcionalidade da peça, tendo feito a soldagem por revestimento crescer de forma acelerada atualmente.

Uma variável importante no processo de revestimento é o volume de deposição do material por unidade de comprimento, representado pela razão entre a velocidade de alimentação do eletrodo e a velocidade de soldagem (PESSOA et al., 2010). Ao analisar um processo com adição do cold-wire, a deposição de material, tal qual a distribuição de calor impostos e largura do cordão, podem ser regulados a partir dos movimentos de oscilação transversal do arame-eletrodo (tecimento), que serão utilizados no decorrer deste trabalho.

O processo MIG/MAG com adição de arame frio, aliado à técnica de tecimento, se mostra muito versátil e uma boa alternativa para aplicações de soldagem para revestimento. Com isso, este trabalho tem como objetivo analisar a influência da variação das corrente média e velocidade de alimentação de arame frio, sobre as características morfológicas do cordão de solda.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Avaliar a técnica de adição de arame frio, associado a técnica de tecimento no processo MIG/MAG pulsado, visando aplicações de revestimento.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Realizar ensaios de soldagem MIG/MAG pulsado com adição de arame frio utilizando a técnica de tecimento;
- Avaliar o efeito da variação da velocidade de alimentação do arame frio, para diferentes níveis de corrente média, sobre as características morfológicas do cordão de solda;

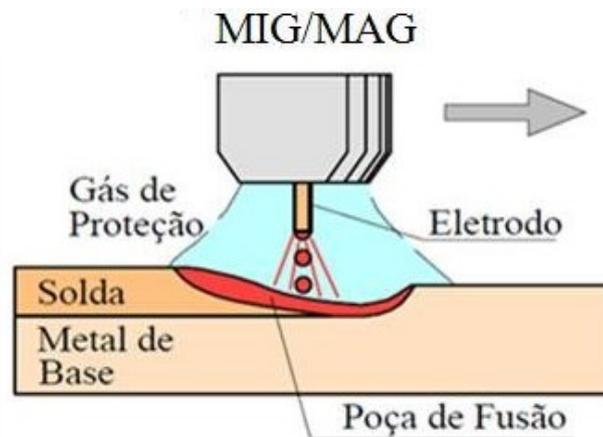
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção aborda conceitos referentes ao processo MIG/MAG, a técnica de tecimento, o revestimento aplicado através da soldagem, e por fim, ao processo MIG/MAG com adição de um arame frio, a fim auxiliar no desenvolvimento desta pesquisa.

2.1 O PROCESSO MIG/MAG

A soldagem a arco com proteção gasosa (Gas Metal Arc Welding – GMAW) é um processo de união de peças metálicas, produzido pelo aquecimento destas através de um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico nu, consumível, e a peça de trabalho (Figura 1).

Figura 1 - Princípio da soldagem MIG/MAG



Fonte: Marques et al. (2005).

A proteção do arco e da região de solda é realizada por um gás ou mistura de gases, que podem ser inertes ou ativos, a qual possui a função de evitar a contaminação, pelos gases presentes na atmosfera, das gotas de metal fundido que se transferem para a poça de fusão. O processo é conhecido como MIG quando a proteção usada é inerte ou rica em gases inertes ou MAG quando o gás usado é ativo ou apresenta misturas ricas em gases ativos. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2005).

Uma das vantagens do processo MIG/MAG é a possibilidade de ser empregado em uma ampla faixa de espessuras, como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 - Forma de preparação para diversas espessuras a solda pelo processo MIG/MAG

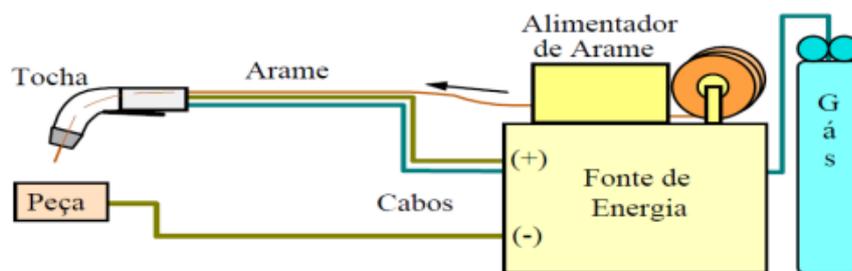
| Espessura (mm) → Procedimento | 0,4 | 1,6 | 3,2 | 4,8 | 6,4 | 10 | 12,7 ... |
|----------------------------------|--------|--------|--------|-----|-----|----|----------|
| Passe único sem separação | ←————→ | | | | | | |
| Passe único com separação | | ←————→ | | | | | |
| Passes múltiplos | | | ←————→ | | | | |

Fonte: Adaptado de Marques et al. (2005).

Na engenharia automotiva, esse processo é utilizado na soldagem de chassis e demais peças estruturais, podendo ser realizados procedimentos sem preparação, no que diz respeito à abertura de chanfros, com passe único e para materiais ferrosos e não ferrosos.

A soldagem MIG/MAG é considerada um processo semiautomático versátil, que pode ser adaptado de forma automática, onde o eletrodo nu é alimentado continuamente. Os equipamentos básicos utilizados são demonstrados na Figura 2, e consistem, basicamente, em uma tocha de soldagem com gás de proteção, fonte de energia, alimentador de arame, controle de alimentação do arame, cabos e base de refrigeração (MARQUES et al., 2005). A tocha, por sua vez, pode ser refrigerada a ar ou água, dependendo da escolha de corrente de soldagem, do tipo da junta e do tipo de gás de proteção utilizado.

Figura 2 - Esquema dos equipamentos para o processo MIG/MAG

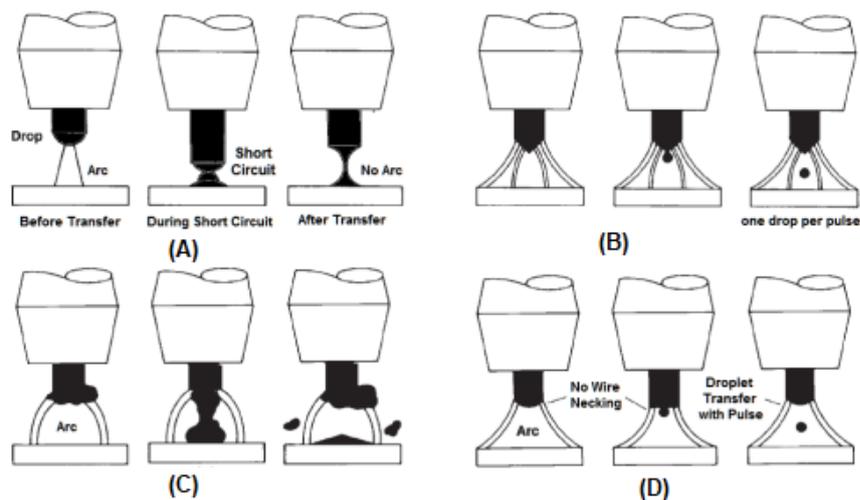


Fonte: Marques et al. (2005)

De acordo com American Welding Society (1991), o conhecimento e controle das variáveis do processo são essenciais para produzir consistentemente cordões de solda de qualidade satisfatória. A corrente de soldagem, relacionada ao modo de transferência metálica e a velocidade de alimentação, que depende da distância entre a ponta do eletrodo e a poça de fusão (comprimento do arco), apontam que as variáveis não são completamente independentes, sendo necessário selecionar configurações ideais para cada tipo de aplicação. Além disso, o comprimento do arco também influencia no modo de transferência e depende ainda da velocidade de alimentação do arame, distância entre bico de contato e peça (DBCP), da corrente e da tensão de soldagem.

Segundo Wainer et al. (2004), existem diversos tipos de transferência metálica no processo MIG/MAG (Ilustrados pela Figura 3), dentre eles: por curto-circuito, globular, goticular (spray) e arco pulsado, onde os três primeiros são considerados modos naturais, enquanto o quarto é classificado como modo controlado. Nível de corrente, diâmetro do arame, nível de tensão e comprimento do arco são alguns dos muitos fatores associados à transferência da gota.

Figura 3 – MIG/MAG modos de transferência: (A) Curto-circuito, (B) Arco pulsado, (C) Globular, (D) Goticular.

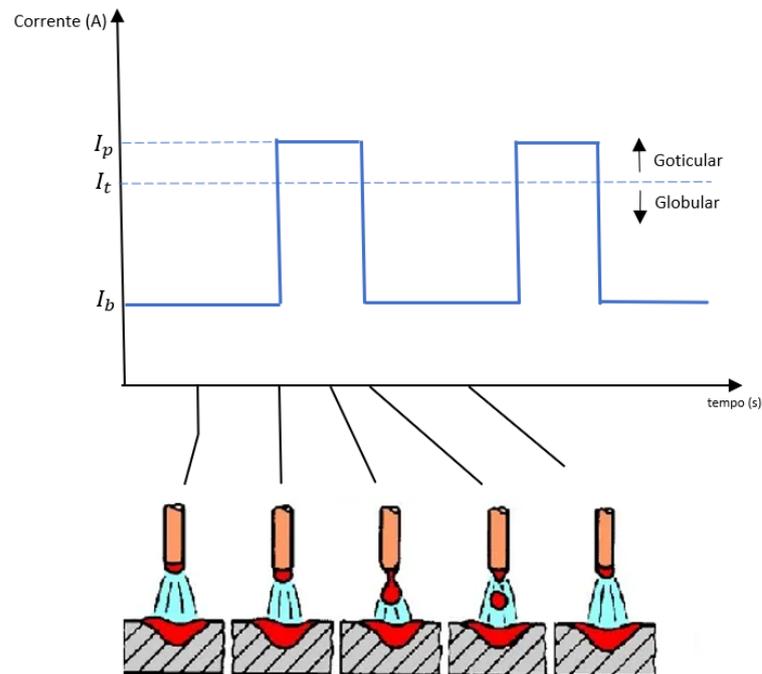


Fonte: Silva et al. (2011)

Segundo Silva et al. (2011) no MIG/MAG pulsado, é possível obter uma sequência de pequenas gotículas que se desprendem numa forma de voo livre muito regular. Para os autores, isso é alcançado pulsando a corrente em uma frequência e

duração calculadas, acima da corrente de transição. Durante a corrente inicial, denominada corrente de base (I_b), não há transferência metálica, somente o início da fusão do arame, e já na segunda, a chamada corrente de pico (I_p), superior à corrente de transição globular-goticular (I_t), faz com que ocorra a transferência de uma única gota (Figura 4).

Figura 4 - Esquema do modo de transferência por arco pulsado



Fonte: Adaptado de Labsolda (2013).

Por conseguir uma transferência com característica de goticular, com uma corrente média mais baixa, isso permite soldar em todas as posições (Tabela 2) e sendo aplicável para espessuras menores de chapas, segundo Wainer et al. (2004).

Tabela 2 – Características gerais dos modos de transferência metálica

| Tipo de transferência metálica | Gás de proteção | Posição de soldagem | Energia de soldagem * | Penetração * | Estabilidade do arco |
|--------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------|----------------------|
| Globular | todos | plana | 1,2 | 1,2 | intermediário |
| Curto-circuito | todos | plana | 1,0 | 1,0 | ruim |
| Goticular | argônio e misturas ricas em argônio | plana/horizontal (em ângulo) | 1,8 | 1,8 | boa |
| Arco pulsado | | todas | 1,2 - 1,6 | 1,2-1,6 | boa |

(*) Valores relativos tomando como base a transferência por curto-circuito

Fonte: Adaptado de Wainer et al. (2004).

Conforme Kobayashi et al. (2000), quando utilizado o arco pulsado, a expectativa de alta produtividade, atrelada ao processo MIG/MAG, deve aumentar ainda mais. Isso porque, segundo os autores, os níveis de corrente de soldagem média, quando comparados à corrente convencional, são menos elevados quando usados para obtenção de taxas de deposição iguais.

Fischer (2011) destaca que a complexidade, o número de parâmetros e o alto custo do equipamento (máquina e tocha), postergou a utilização da tecnologia de transferência pulsada após seu desenvolvimento na década de 60. Em contraposto a isso, as inúmeras vantagens tais como: aplicação de arames com maior diâmetro na soldagem de chapas finas, transferência do metal sem formação de respingos e soldagem de vários materiais (como, por exemplo: aço comum, aço inox e alumínio), fazem com que o arco pulsado seja bastante utilizado atualmente. Além disso, à possibilidade da utilização de arames com maior diâmetro, reduz o coeficiente de superfície por volume do arame, gerando uma menor formação de óxido de alumínio em soldagem de alumínio, por exemplo (FISCHER, 2011).

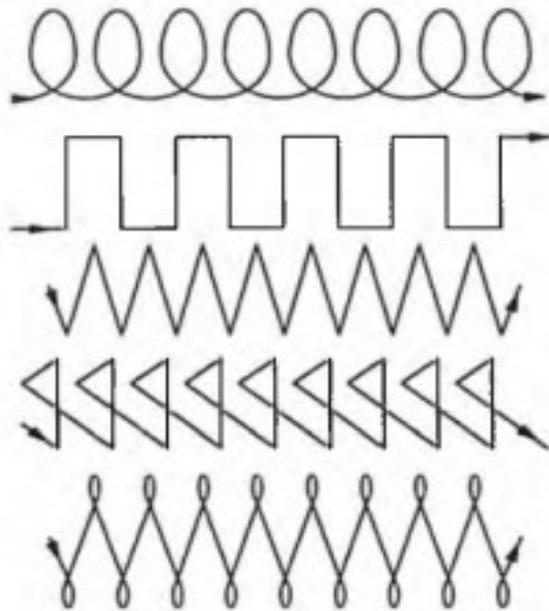
Em comparação com o curto-circuito por exemplo, mostrado na Tabela 2, o nível de penetração é maior. A partir disso, uma solução adequada seria aderir ao processo a técnica de tecimento, inserindo oscilações transversais na tocha durante a operação.

2.2 TÉCNICA DE TECIMENTO

O tecimento, também conhecido como oscilação transversal da tocha, é uma técnica utilizada nos processos de soldagem, principalmente, para a deposição de um cordão mais largo, obtenção da fusão das paredes laterais da junta, expulsar gases e estabilizar a poça fora da posição plana (CORAINI; KOBAYASHI; GONÇALVES, 2011). O tipo de operação, habilidade do soldador, resultado desejado e parâmetros principais de movimento, esses sendo amplitude e a frequência, determinam o padrão de tecimento a ser realizado.

Os movimentos mais comuns tratados para um processo manual, são mostrados por Marques et al. (2005) na Figura 5.

Figura 5 – Exemplos de padrões de tecimento



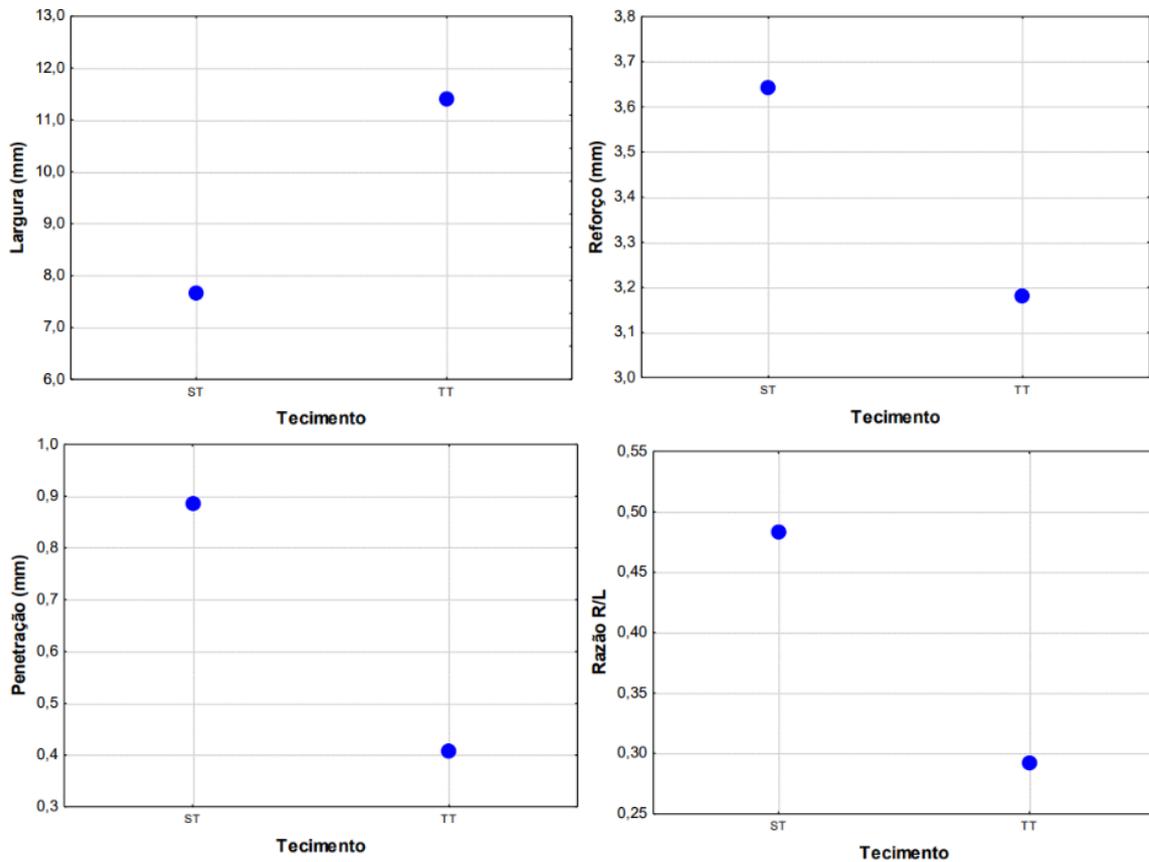
Fonte: Marques et al. (2005, p. 200)

A técnica de tecimento, é de fato, amplamente empregada em diversos processos de soldagem a arco como Eletrodo Revestido (SMAW), MIG/MAG e TIG (Modenesi, 2012). Além disso, permite um maior controle da fusão, faz flutuar a escória e torna mais suave o ciclo térmico de soldagem.

Nesse contexto Pessoa et al. (2010) avaliam a influência do tecimento na geometria e na diluição dos cordões de solda, realizado com o processo MIG/MAG com transferência metálica por curto-circuito, empregando velocidades de soldagem de 20 e 40 cm/min e quatro tensões de referência (20, 22, 24 e 26V). Para fins de avaliação, foram realizadas soldagens na posição plana por simples deposição do arame eletrodo, para ensaios sem tecimento e com tecimento triangular.

Os autores Pessoa et al. (2010) observaram que o uso do tecimento influenciou significativamente em todos os aspectos morfológicos do cordão de solda, no que diz respeito à largura, reforço, penetração e razão reforço/largura (R/L), assim como mostra a Figura 6. Os termos ST e TT representam sem tecimento e uso do tecimento triangular, respectivamente.

Figura 6 – Influência do tecimento sobre a largura, reforço, penetração e razão R/L

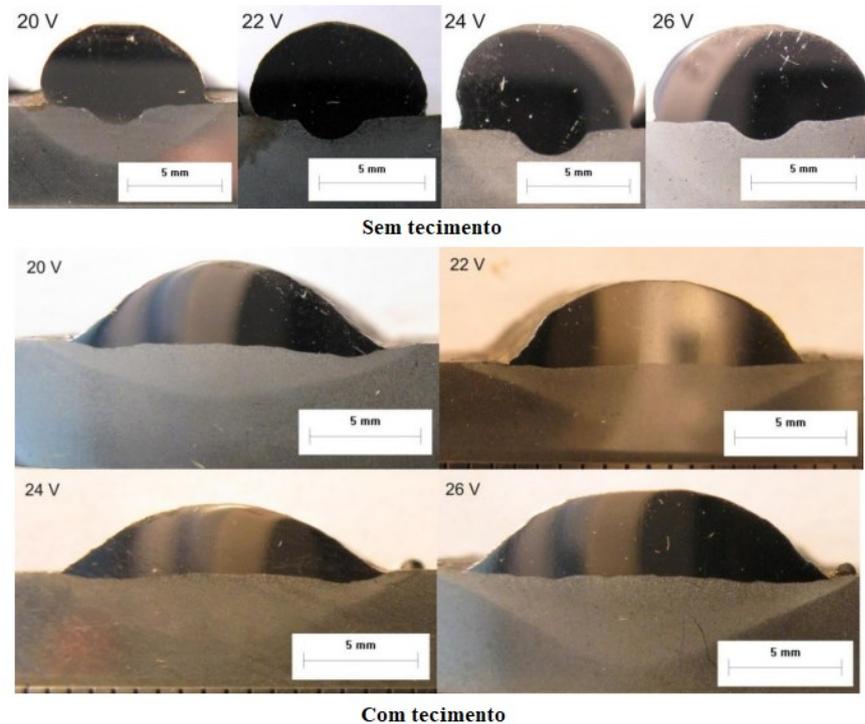


Fonte: Adaptado de Pessoa et al. (2010, p. 6-7).

Segundo Pessoa et al. (2010), o uso do tecimento torna possível aquecer mais as laterais da poça de fusão, aumentando sua capacidade de molhamento e proporcionando melhor distribuição da quantidade de metal depositado sobre a peça base, resultando em uma maior largura e menor reforço para os cordões de solda, reduzindo os valores da razão R/L.

No que diz respeito a diluição e penetração, os autores mostram também, através da Figura 7, que há uma redução nos seus valores para quaisquer energias de soldagem utilizada com o uso do tecimento, devido ao arco ser jogado em direção à lateral, desviando a força do arco do centro da poça de fusão (local esse que o material de adição é, ainda, somente líquido).

Figura 7 – Geometria dos cordões de solda sem tecimento e com tecimento triangular



Fonte: Adaptado de Pessoa et al. (2010, p. 8-9)

Pessoa et al. (2010) concluem que com o uso do tecimento, os cordões, ao apresentarem baixa razão R/L, são mais indicados para soldagens de revestimento. Isso porque a técnica minimiza a possibilidade de ocorrerem vazios ao se efetuar a sobreposição de cordões e devido à convexidade excessiva (altos valores de razão reforço/largura) quando realizadas soldagens sem o uso da técnica de tecimento.

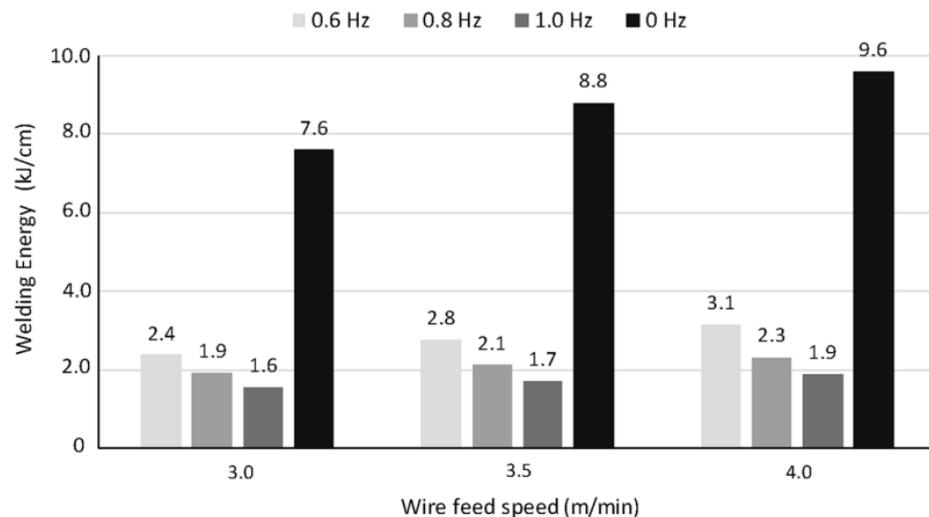
Para obtenção de um cordão de solda com as características desejadas com a utilização da técnica de tecimento, é necessário ter conhecimento dos parâmetros e dos materiais utilizados, principalmente quando realizados cordões de solda em materiais dissimilares. Tasalloti, Kah e Martikainen (2014) por exemplo, analisaram o efeito de diferentes diâmetros de arames e da técnica de tecimento na qualidade, microestrutura e microdureza de juntas de solda entre aço inoxidável austenítico AISI 304L e aço de baixa liga S355MC, através de MIG/MAG mecanizado. Foi utilizada uma frequência de tecimento de 3 Hertz (Hz), com amplitude de 3 mm.

Ao analisar os resultados obtidos, Tasalloti et al. (2014) evidenciam que o tecimento diminuiu a penetração no lado do aço estrutural (baixa liga) e aumentou a penetração do lado austenítico, devido a um acúmulo de calor proporcionado pela sua

menor condutividade térmica. Além disso, a maior condutividade do S355MC aliado a dissipação mais rápida devido a oscilação da tocha, explica o fenômeno observado.

Para análise do efeito na morfologia, diluição e na microestrutura dos cordões de solda, Lara et al. (2020) investigam os efeitos da técnica de tecimento na soldagem MIG/MAG com transferência metálica por curto-circuito, utilizando aço inoxidável. Para isso, os autores utilizaram três frequências de oscilação triangular (0,6, 0,8 e 1,0 Hz), três velocidades de alimentação do arame (3,0, 3,5 e 4,0 m/min) e mantiveram os demais parâmetros mantidos constantes, assim como amplitude de 12 mm. Após os ensaios realizados, foi possível perceber que um aumento na frequência de oscilação, leva a um aumento na velocidade de soldagem resultante, podendo diminuir a energia de soldagem em até quatro vezes, assim como mostra a Figura 8 (LARA et al., 2020).

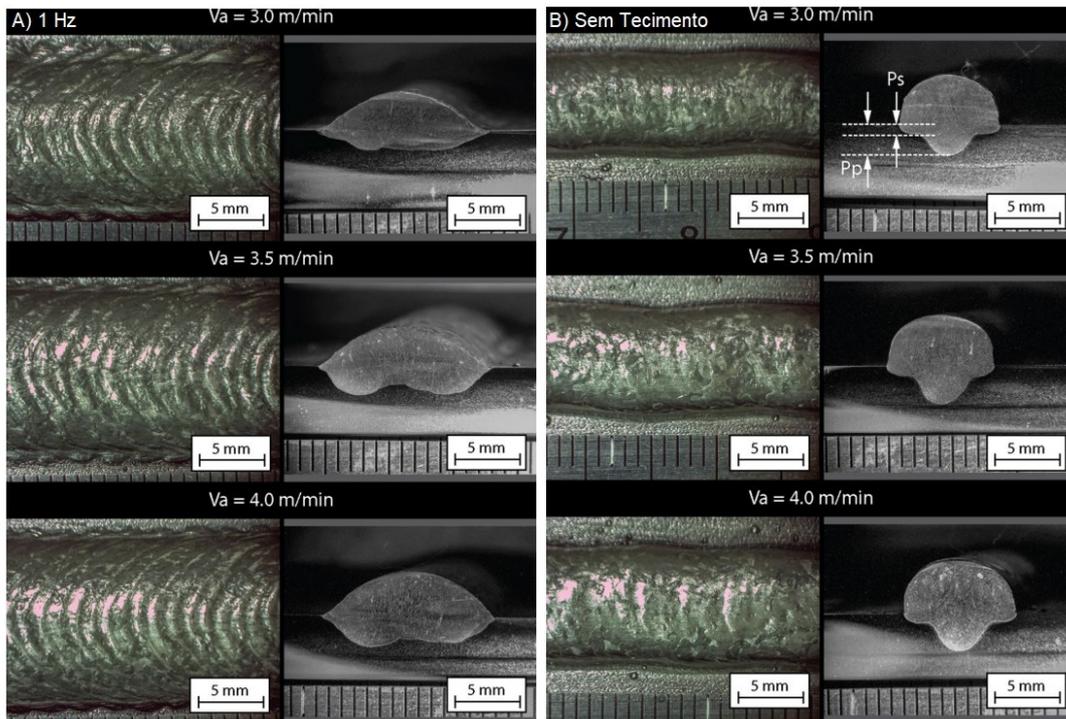
Figura 8 – Energia de soldagem para diferentes velocidades de alimentação do arame e frequências de tecimento.



Fonte: Lara et al. (2020)

Em relação ao aumento da velocidade de alimentação do arame, nota-se que o aumento da energia de soldagem é mais acentuado quando não se utiliza a técnica de tecimento (27%), podendo-se esperar, segundo os autores, uma redução na penetração dos cordões de solda quando for utilizada. Para analisar a influência desses parâmetros no acabamento superficial e largura, tem-se a Figura 9 a seguir, onde (A) representa frequência de oscilação da tocha em 1 Hz e (B) a soldagem sem uso do tecimento.

Figura 9 – Acabamento superficial com frequência de oscilação 1 Hz (A) e sem oscilação (B)



Fonte: Adaptado de Lara et al. (2020)

Para uma frequência de 1 Hz, descontinuidades nas laterais do cordão de solda associadas à falta de fusão obtidas para as demais frequências (0,6 e 0,8 Hz), desapareceram. Lara et al. (2020) explicam que para o resultado sem a oscilação mecânica, há uma notável diminuição da largura do cordão, e aumento de penetração consequente dos maiores níveis de energia (mostrados na Figura 8) e em concordância à Queiroz (2021). Além do citado, Lara et al. (2020) concluem também que há uma redução tanto do ângulo de molhabilidade e do reforço quando aplicada a técnica de tecimento.

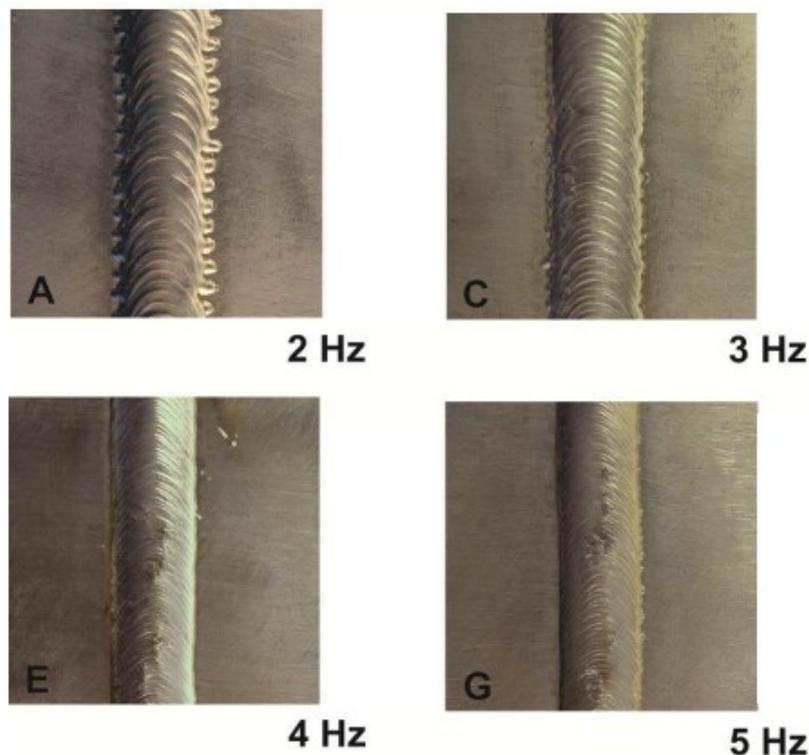
Wu et al. (2021) analisaram a influência dos parâmetros da técnica de tecimento, no controle da estabilidade de transferência de gotas no processo MIG/MAG pulsado. Os autores soldaram aço de baixa liga, com corrente de pico constante em 446 A, frequência e amplitude de tecimento de 1,2 Hz e 1,5 mm, respectivamente, e tensão de soldagem em 26 V. Após os experimentos pode-se concluir que quando utilizada a técnica (com ângulo de 85° entre o eixo do arame e superfície da peça), há uma facilitação no desprendimento da gota da ponta do

eletrodo, assim como melhor estabilidade de transferência, fazendo com que não haja grandes respingos (WU et al., 2021).

Visto a busca por maior estabilidade do arco e controle da penetração, a técnica de tecimento é significativamente utilizada em processos de soldagem a arco, visando menores diluições e penetrações, demonstrando ganhos positivos quando se fala em soldagem por revestimento. A partir disso, Mendes (2018) explica que o emprego dessa técnica proporciona a diminuição na quantidade de trincas, melhor molhabilidade da solda (a ser abordada no tópico 2.3 a seguir) e diminuição da razão R/L, proporcionando uma maior área de revestimento com a mesma velocidade de aplicação de quando não utilizada.

É possível perceber a necessidade do ajuste de parâmetros e a influência da frequência de tecimento nas características dos cordões. Baseado nisso, Carvalho et al. (2011) utilizam frequências de tecimento variando de 2 a 5 Hz, para soldagem MIG/MAG de revestimento, com amplitude de 8 mm, para analisar a influência da frequência nas características dos cordões em aço carbono comum. As imagens da superfície dos cordões gerados são mostradas pela Figura 10.

Figura 10 – Imagens da superfície de cordão para dadas frequências de tecimento



Fonte: Adaptado de Carvalho et al. (2011)

Ao analisar os cordões obtidos nos experimentos, os autores explicam que para frequências menores de tecimento, defeitos atribuídos à alta velocidade de soldagem foram obtidos. Essa falta de fusão nas extremidades do cordão também fora vista por Lara et al. (2020), em suas determinadas condições. Carvalho et al. (2011) expõe que para frequências maiores, consegue-se soldar com velocidades de soldagem maiores gerando um tempo menor para a realização da solda, tornando a adoção do tecimento no processo para revestimento, vantajoso no que diz respeito a produtividade.

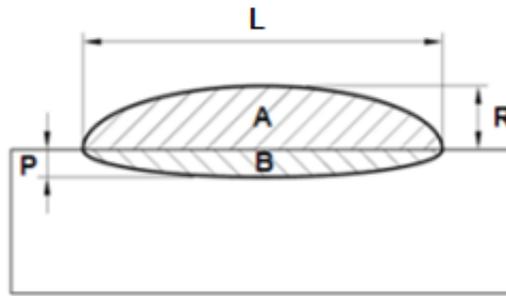
2.3 REVESTIMENTO

A viabilidade de deposição de material a fim de criar superfícies com características especiais, fez com que a soldagem de revestimento venha crescendo em diversos ramos da engenharia. Esse interesse é dito ao fato de revestimentos com propriedades e dimensões desejadas, serem produzidos de forma rápida e econômica através de um procedimento de soldagem, onde deposição de aço inoxidável por exemplo, tem se mostrado como uma das aplicações mais frequentes (GOMES, 2010). Segundo esse autor, pode-se empregar processos de soldagem MIG/MAG, TIG, arco submerso, arame tubular, entre outros, para deposição de materiais protetores em peças, tornando cada vez mais atrativa essa técnica.

Segundo Kejelin (2012) a principal diferença da soldagem de revestimento em relação as convencionais (de união) diz respeito à geometria do cordão de solda. A obtenção de um perfil geométrico característico, com baixos reforços, baixas penetrações e percentuais de diluição e grandes larguras do cordão, é importante para que o processo recubra a maior área possível. Através de um baixo número de passes, resulta-se na economia de material e tempo desejada. Por isso, a adequação dos parâmetros do processo para obtenção da geometria desejada, é o principal desafio da soldagem por revestimento (KEJELIN, 2012).

Quando se fala da geometria do cordão de solda, a diluição, definida como uma alteração na composição do metal de adição depositado pela soldagem, é uma das principais variáveis, como dito por Kejelin (2012) e calculada pela Equação 1. A Figura 11 apresenta a forma visual das dimensões do cordão de solda, onde o índice A compreende a parcela do metal de adição e B a parcela de metal base fundido.

Figura 11 – Perfil geométrico desejado do cordão de solda para revestimento.



Fonte: Adaptado de Gomes (2010, p. 10).

Para:

L = Largura (mm);

P = Penetração (mm);

R = Reforço (mm);

$$D = \frac{B}{(A + B)} \cdot 100\% \quad (1)$$

Onde:

D = Diluição (%);

B = Área penetrada (mm²);

A = Área depositada (mm²);

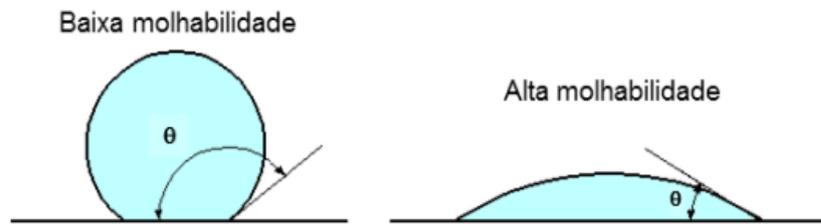
Pesquisas realizadas por Abioye (2015) e Altoé *et al.* (2015) sugerem que uma diluição causada pela mistura com o material de base, muito abaixo de 5% na primeira camada, facilita o deslocamento do revestimento. Por outro lado, uma diluição acima de aproximadamente 14% compromete a resistência à corrosão da superfície em determinadas aplicações. Murugan e Parmar (1997) recomendam uma diluição de 10 a 15% para melhor resistência da união entre metais base e de adição.

Analisando o perfil geométrico do cordão, Schaeffer (2017) explicita que a razão R/L, quanto menor for o seu valor, menos passes para recobrir a área desejada serão necessários, conseqüentemente resultando em um cordão de solda mais largo e baixo. Com isso, são gerados cordões de solda mais efetivos e indicados à soldagem por revestimento, assim como dito por Pessoa *et al.* (2010) e explicitado no tópico 2.2.

Outra variável a se atentar é a molhabilidade dos cordões de solda, definida como a tendência de um líquido a se espalhar pela superfície de um sólido. Essa, por

sua vez é analisada pelo ângulo de contato (ângulo de contato ou molhabilidade - Θ) entre as partes líquida e sólida, conforme mostrado pela Figura 12.

Figura 12 – relação entre ângulo de contato e molhabilidade



Fonte: Otero (2014, p. 101).

Como visto pela imagem, uma maior molhabilidade do fluido ocasiona uma melhor deposição do cordão, conseqüentemente uma menor probabilidade de gerar deformações, ao diminuir a tensão superficial do metal fundido. Uma baixa molhabilidade, por sua vez, leva um aumento no fator de concentração de tensão e um conseqüente aumento de tensões residuais (GOMES et al., 2019).

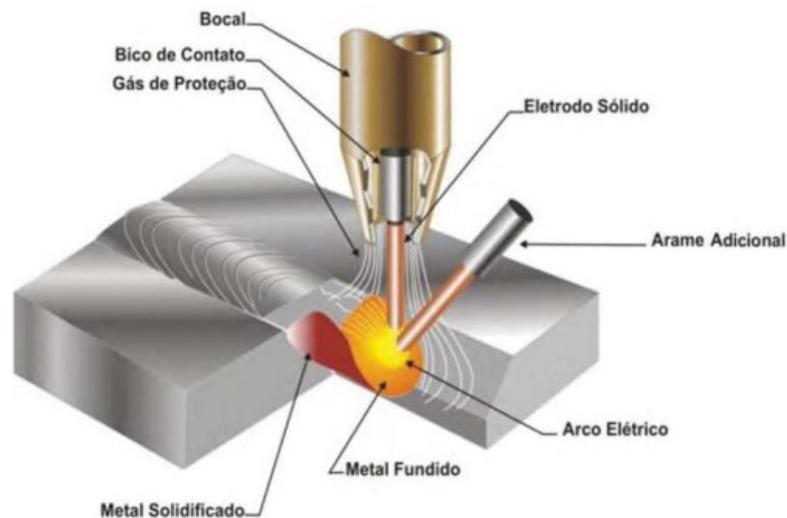
Silva, Ferraresi e Braga (2012) explicam que o ângulo de molhabilidade têm alta influência na qualidade do revestimento, em função do efeito de sobreposição dos cordões. Os autores mostram que há uma redução no ângulo de molhabilidade à medida que há o afastamento da tocha de soldagem, da margem do cordão de solda realizado, ocasionado pelo menor efeito da sobreposição dos cordões. Além disso, os autores ressaltam que melhorar a molhabilidade, diminui a tensão superficial do metal fundido.

2.4 PROCESSO MIG/MAG COM ARAME ADICIONAL FRIO

De modo a aumentar a produtividade necessária na indústria atual, Groetelaars (2005) explicita que a busca por processos com taxas de deposição maiores e redução no tempo de soldagem, tem feito o processo MIG/MAG convencional perder competitividade. Uma alternativa a isso, sem que haja inserção adicional de calor no metal de base, é a adição de um arame frio (não energizado) em congruência ao processo, onde originou-se o processo MIG/MAG com adição de arame frio (MIG/MAG-AF).

Esse processo utiliza um equipamento MIG/MAG convencional, com um sistema extra de alimentação de arame não energizado (podendo ser introduzido de forma manual), conjugado a tocha de soldagem, assim como mostra a Figura 13. O objetivo geral no desenvolvimento de um processo de soldagem com adição de um arame secundário é aumentar a taxa de deposição para entradas semelhantes de calor. Pesquisas anteriores fornecem evidências de que essa introdução do arame frio leva a um aumento de corrente, embora esse aumento de corrente não gere um aumento da penetração (RIBEIRO et al., 2015).

Figura 13 – Desenho da inserção do arame adicional na frente do arco MIG/MAG



Fonte: Mogrovejo (2014, p. 29)

A velocidade de alimentação do arame adicional é uma porcentagem do valor da taxa de alimentação do eletrodo energizado, em m/min, definida pela Equação 2. Ribeiro et al. (2015) ressaltam que o calor gerado pelo processo, fundiria melhor um arame adicional com menor diâmetro que o eletrodo principal, porém, não se descarta a possibilidade de os arames serem de diâmetros iguais.

$$R = \frac{T_a}{T_e} \cdot 100\% \quad (2)$$

Onde:

R = Relação de alimentação (%);

T_a = Taxa de alimentação do arame frio (m/min);

T_e = Taxa de alimentação do eletrodo (m/min).

Marques et. al (2016) indicam que o processo MIG/MAG-AF induz menos tensões residuais em cordões de solda, levando a uma vida de fadiga superior. Foi relatado que o arco se adere ao arame frio, levando a uma fusão de parede lateral na peça a ser soldada, mais consistente que a encontrada pelo MIG/MAG convencional. Além disso, as microestruturas comumente encontradas na zona termicamente afetada foram melhoradas com o emprego do arame frio (MARQUES et al. 2016).

Costa et. al (2017) também analisaram as tensões residuais na soldagem MIG/MAG-AF do aço carbono-manganês, com eletrodo e arame frio de classificação ER70S-6 com 1,2 e 1,0mm de diâmetro, respectivamente. A velocidade de alimentação do arame frio empregada foi de 3 e 6 m/min, equivalente a 20 e 40% da velocidade de alimentação do arame-eletrodo. Os autores empregaram as técnicas de medição por difração dos raio-X e birrefringência acústica. Como resultado, concluiu-se que a alimentação de um arame frio gera menores tensões longitudinais no metal de solda e região próxima ao cordão ao diminuir a quantidade de calor fornecida ao metal base, sem que comprometa a produtividade do processo (COSTA et al., 2017).

Após análise do processo MIG/MAG-AF, Mogrovejo (2014) expôs que a adição de um arame frio contribui para a melhoria da eficiência do processo. Em seus testes, foram utilizados arames energizado e frio ER70S-6 de 1,2 mm de diâmetro com uma velocidade de alimentação de 7 m/min e diferentes configurações (velocidades e posição de inserção) para o arame frio. O autor conclui que a melhora na eficiência do processo se deve pela maior flexibilidade de manipulação de energia empregada no arco, com a adição de material. Além disso, Mogrovejo (2014) afirma que o arame frio deve ser inserido dentro do arco e da poça para sua total fusão, e recomenda uma relação de velocidade de alimentação máxima de 1:1,5 entre eletrodo principal e arame frio (150%), quando esse inserido pela frente com um ângulo aberto (60° aproximadamente em relação ao eixo da tocha).

Cruz Junior *et al.* (2011) aferiram que o processo com adição de arame frio (na posição plana) apresenta-se como uma alternativa técnica e econômica, quando comparado ao MIG/MAG tradicional. Os autores expõem bons níveis de estabilidade do arco e qualidade superficial do cordão de solda, quando utilizado o processo para soldagens de revestimento.

Silva *et al.* (2012) realizaram ensaios de MIG/MAG-AF para soldagem de revestimento, utilizando a técnica de tecimento. Foi utilizado o movimento de

tecimento simples, com frequência e amplitude de oscilação de, respectivamente, 1,5 Hz e 10 mm e velocidades de alimentação em 6 m/min do arame eletrodo e 2 m/min para o arame frio. Os autores utilizaram diferentes distanciamentos da tocha de soldagem da margem do cordão anterior, com valores de +1mm, 0mm (sem distanciamento) e -1 mm a partir do passe de ancoramento.

Como resultado, Silva et al. (2012) exaltam que ao mudar o diâmetro do arame não energizado (frio) de 1,0mm para 1,2mm, ao caracterizar uma maior quantidade de massa adicionada à poça de fusão, pode ocasionar falta de fusão nas amostras por eles observadas. Essas descontinuidades, por sua vez, foram menores quando o distanciamento utilizado foi de -1mm devido a melhor molhabilidade nesse quesito. Ademais, os autores observaram boa qualidade nos revestimentos com a aplicação da técnica.

Ferraresi e Silva (2016) investigaram os melhores parâmetros de soldagem do processo MIG/MAG com adição de arame frio, também para aplicação de revestimento. Esses autores utilizaram a técnica de tecimento para realizar a soldagem na posição plana em ligas comerciais de aço 1020. Após diversos testes práticos, os autores chegaram a resultados satisfatórios em testes realizados de acordo com os parâmetros mencionados na Tabela 3.

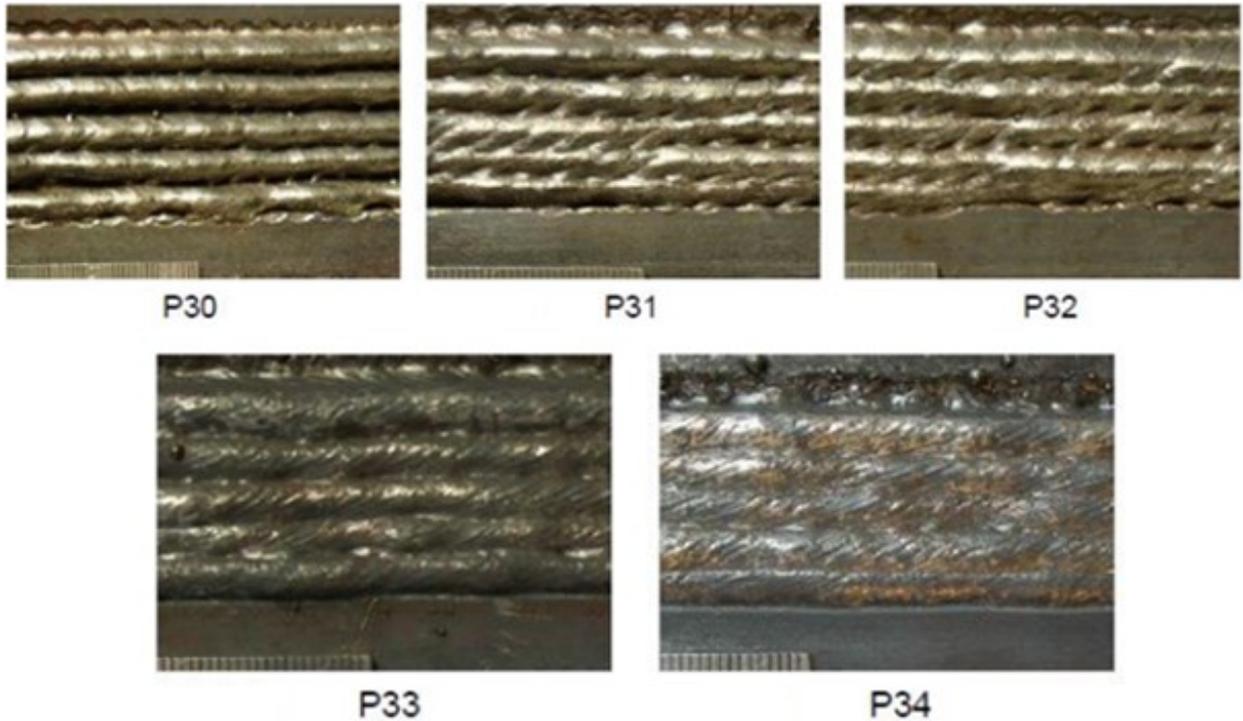
Tabela 3 – Parâmetros testes MIG/MAG convencional e MIG/MAG com arame frio

| CS | U (V) | V _{sold} (cm/min) | V _{alim} (m/min) | V _{Frio} (m/min) | DBCP | d _{passe} | Dil (%) | Tecimento |
|-----|-------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|------|--------------------|---------|-----------|
| P30 | 22 | 25 | 6 | - | 16 | 3 | 36,19 | Não |
| P31 | 22 | 25 | 6 | - | 16 | 3 | 22,18 | Sim |
| P32 | 22 | 30 | 6 | - | 16 | 3 | 21,66 | Sim |
| P33 | 22 | 30 | 6 | 1 | 16 | 3 | 19,55 | Sim |
| P34 | 24 | 30 | 6 | 1 | 16 | 3 | 14,09 | Sim |

Fonte: Ferraresi e Silva (2016)

A partir dos experimentos, Ferraresi e Silva (2016) expõem os resultados através da Figura 14 mostrada, sendo os ensaios chamados P30, P31 e P32 para MIG/MAG convencional e P33 e P34 com adição de arame frio. No ensaio P31, pode-se perceber que há uma menor presença de brechas entre os passes do cordão de solda a partir da adoção da técnica de tecimento (com uma frequência de 2 Hz), assim como no ensaio P32. Contudo, a ocorrência dessas aberturas foi apenas minimizada, tendo ocorrência da falta de fusão em alguns pontos.

Figura 14 – Aspecto visual do revestimento dos ensaios da Tabela 3



Fonte: Adaptado de Ferraresi e Silva (2016)

Como nota-se pela Figura 14, Ferraresi e Silva (2016) mostram que com o uso do tecimento e a adição do arame frio, houve uma diminuição nos defeitos entre os passes do cordão devido ao aumento do volume originado na poça de fusão do revestimento. Ademais, Ferraresi e Silva (2016), concluem que a aplicação do revestimento na posição horizontal apresenta sensibilidade às variações em seus parâmetros, em congruência a Motta (2002), que menciona a presença de cavidades na lateral dos depósitos, que podem estar associados à velocidade de soldagem.

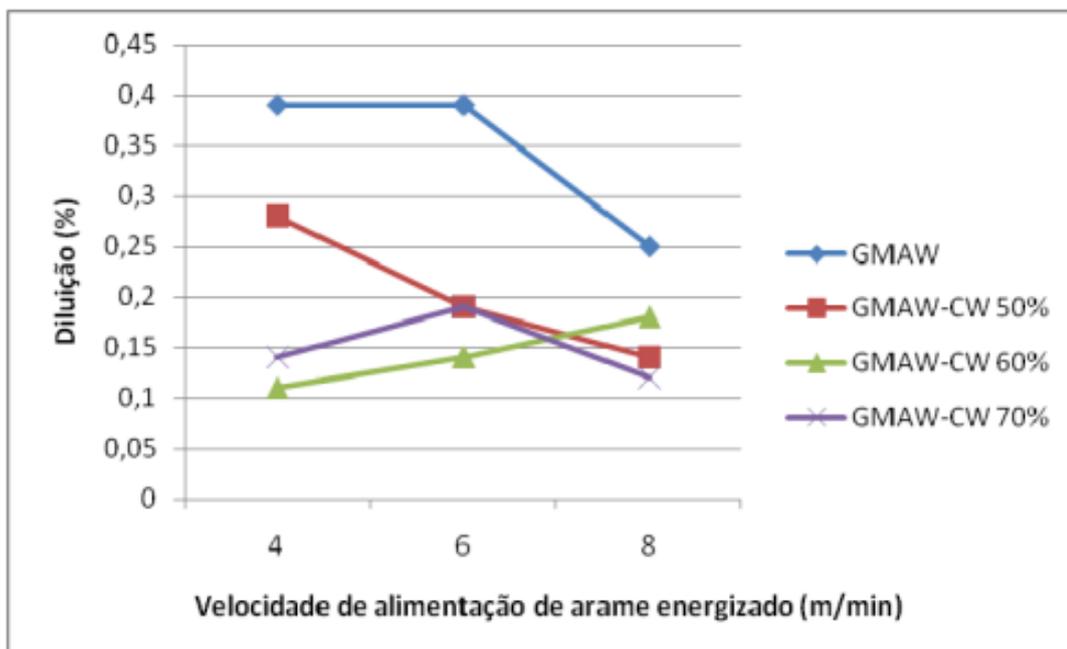
Ribeiro *et al.* (2012) e Maciel *et al.* (2012) realizaram análises de comparação entre o MIG/MAG convencional e o MIG/MAG com adição de arame frio, com variações nas velocidades de soldagem e de alimentação do arame frio, e para os primeiros, variação também nos valores de corrente. Ambos os trabalhos utilizaram chapas de aço SAE 1020 e arames da classe AWS ER70S-6, com diâmetros de 1,2mm e 1,0mm para o arame energizado e arame frio, respectivamente.

Ribeiro *et al.* (2012) relatam que tanto o MIG/MAG convencional quanto o com adição do arame frio, revelam a tendência de a diluição diminuir com o aumento da velocidade de soldagem, sendo que o MIG/MAG-AF apresentou valores mais baixos de diluição considerando os mesmos parâmetros. Em relação aos valores de reforço

e largura, estes apresentam valores mais altos devido a maior taxa de fusão e deposição do processo com inclusão do arame frio, tornando, segundo os autores, uma alternativa viável à operação de soldagens por revestimento na indústria.

Em consonância ao dito por Ribeiro et al. (2012), Maciel et al. (2012) também retratam valores maiores de reforço e largura melhores para o processo MIG/MAG-AF quando comparado ao convencional, além de valores mais baixos de diluição, quando aumentada a velocidade de alimentação do eletrodo, assim mostrados na Figura 15. Em relação a velocidades de alimentação do arame frio, os autores observaram falta de fusão nas peças, fato que não ocorreu nos testes sem adição de arame.

Figura 15 - Comparativo entre valores de diluição nos processos MIG/MAG e MIG/MAG-AF

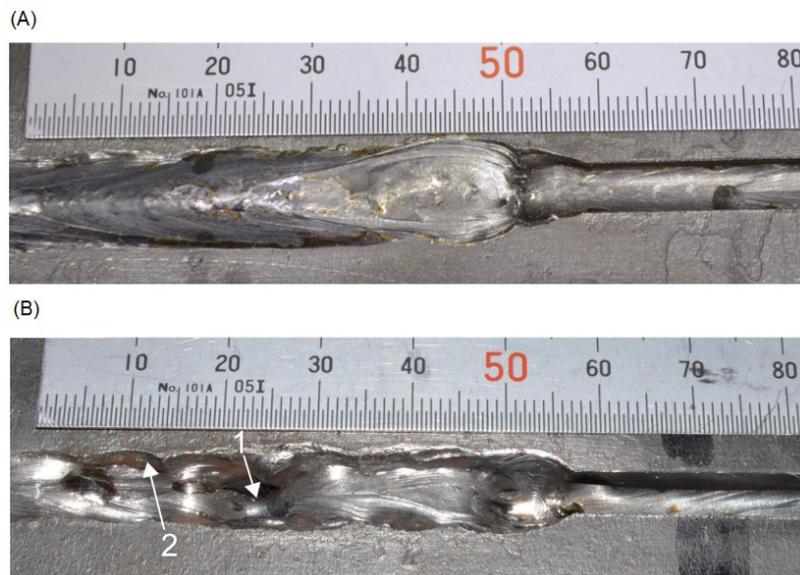


Fonte: Maciel et al. (2012)

Em conclusão, Maciel et al. (2012) explicam que a redução da velocidade de alimentação do arame frio contribuiu para o aumento nos valores de penetração, resultado já imaginado pelo menor aporte térmico resultante desse processo (MIG/MAG-AF) e já mencionado por outros autores listados neste trabalho.

Assunção et al. (2017) e Ribeiro et al. (2019a), por sua vez, analisaram sua aplicação na soldagem em narrow gap (NP), técnica utilizada para diminuir o volume de metal fundido e calor necessários para preenchimento de juntas estreitas. Assunção et al. (2017) utilizaram arames energizados e não energizados de 1,2mm e 0,9mm respectivamente e ângulo de 50° para alimentação do arame frio (em relação a tocha). Para as mesmas condições de operação, observa-se os resultados dos cordões de solda pela Figura 16.

Figura 16 – a) MIG/MAG-AF b) MIG/MAG convencional



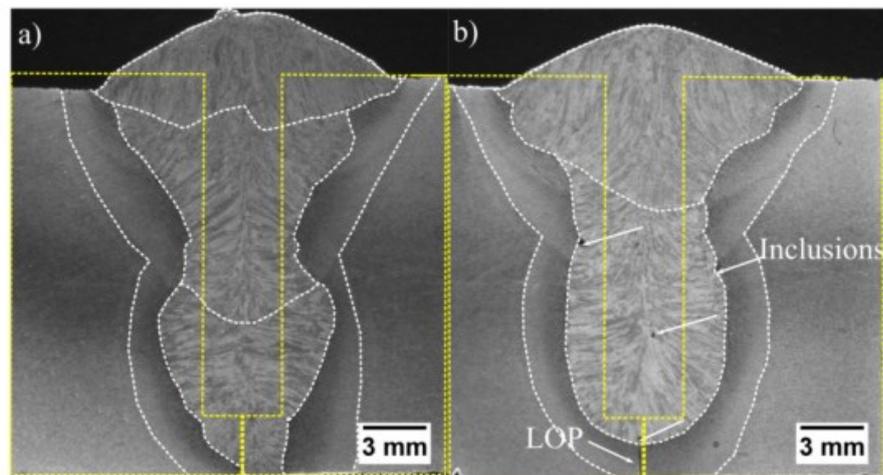
Fonte: Assunção et al. (2017)

Como observado pela Figura 16a, os autores explicitam que o aspecto do cordão é de formato regular. Por outro lado, quando utilizado o MIG/MAG convencional é possível notar fusão excessiva (seta 2) e cordão convexo (seta 1), imperfeições superficiais não ocorridas com o processo CW-GMAW. Portanto, os autores concluíram que a adição de arame frio gerou um preenchimento bem-sucedido para a folga de 5mm. A possibilidade de soldar em apenas 3 passes e sem necessidade de maior aporte de calor, mostram a capacidade de alta produtividade do MIG/MAG-AF para esse tipo de soldagem (ASSUNÇÃO et al. 2017).

Ribeiro et al. (2019a) utilizaram a mesma mistura de gases e diâmetro do eletrodo energizado para soldar uma fresta de 4mm em um aço de baixa liga e alta resistência. Os autores obtiveram a junta, com adição de arame, preenchida com 2

passes, contra 3 do MIG/MAG convencional, mostrando o incremento da produtividade no processo, assim como mostrado pela Figura 17.

Figura 17 – Centro da seção transversal do cordão: a) MIG/MAG convencional; b) MIG/MAG-AF

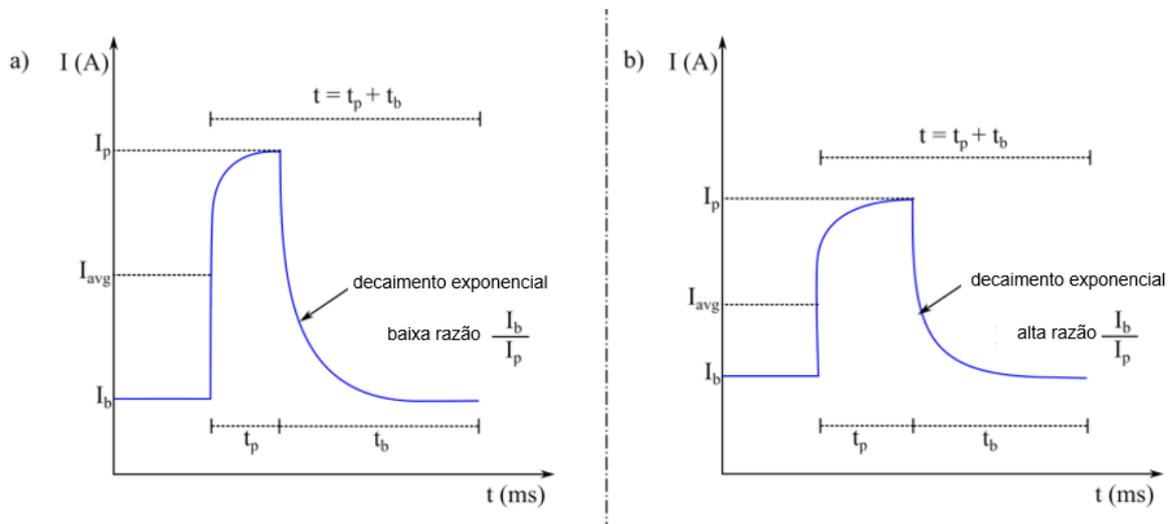


Fonte: Ribeiro et al. (2019a)

Em resultado, Ribeiro et al. (2019a) explicam a presença de inclusões no MIG/MAG-AF devido à presença no arco do arame frio, o qual também limitou a penetração e diluição para as configurações utilizadas. Em contraposto a isso, os autores explicam que a forte penetração da MIG/MAG convencional tende a comprometer a integridade da solda a gerar fusão excessiva (também mencionada por Assunção et al. (2017)), tornando o processo com adição de arame mais vantajoso. Isso porque, para os autores, essa falta de penetração pode ter ocorrido devido ao grau dos arames de solda utilizados.

No que diz respeito ao modo pulsado de transferência no MIG/MAG, Ribeiro et al. (2019b) analisam a influência da adição do arame frio nos parâmetros de pulso para baixas e altas taxas de correntes de base e pico. O esquema é mostrado pela Figura 18. Os autores explicam que o arame adicional frio é viável tanto para condições de baixa razão de corrente (corrente de base (I_b) por corrente de pico (I_p)), quanto de alta razão de corrente, obtendo cordões adequados para solda em aço.

Figura 18 – Perfis de pulso de corrente utilizados: a) relação de corrente mais baixa; b) relação de corrente mais alta



Fonte: adaptado de Ribeiro et al. (2019b)

Ribeiro et al. (2019b) relatam que há calor suficiente para fusão do arame adicional para altas taxas de corrente. Contudo, os autores explicam que, para razões de correntes baixas, o ciclo de trabalho é modificado de modo que o tempo de pico seja aumentado para maior fusão de material, modificando as correntes média e efetiva. Em conclusão, essa mudança na corrente média acarreta diferenças no calor transmitido ao longo da poça para as razões altas e baixas de corrente, necessitando controle da taxa de alimentação do arame adicional (RIBEIRO et al., 2019b).

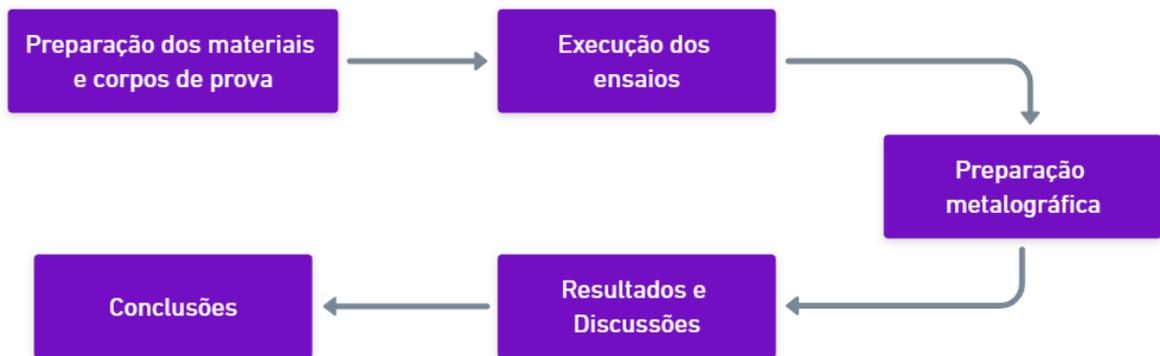
Sábio (2007), por fim, estudou o processo MIG/MAG com adição de um arame frio, buscando entender a viabilidade operacional, econômica, geométrica e de qualidade de solda. A partir de consultas bibliográficas e condições experimentais, o autor conclui que o processo MIG/MAG-AF demonstrou uma melhor produtividade que o convencional com o aumento das taxas de fusão e deposição, incrementando a quantidade de massa fundida ao metal de solda por unidade de tempo. (SÁBIO, 2007).

O processo GMAW se mostra muito versátil e uma boa alternativa para aplicações de soldagem para revestimento quando associado às técnicas de adição de arame frio e tecimento. Com isso, aliado a ausência de estudos contemplando a estrutura do tema, reafirma-se a motivação a este trabalho.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de atingir os objetivos descritos, foram estruturadas 5 etapas para melhor entendimento do desenvolvimento deste trabalho, assim como mostra a Figura 19.

Figura 19 – Fluxograma de atividades do trabalho



Fonte: autor (2023)

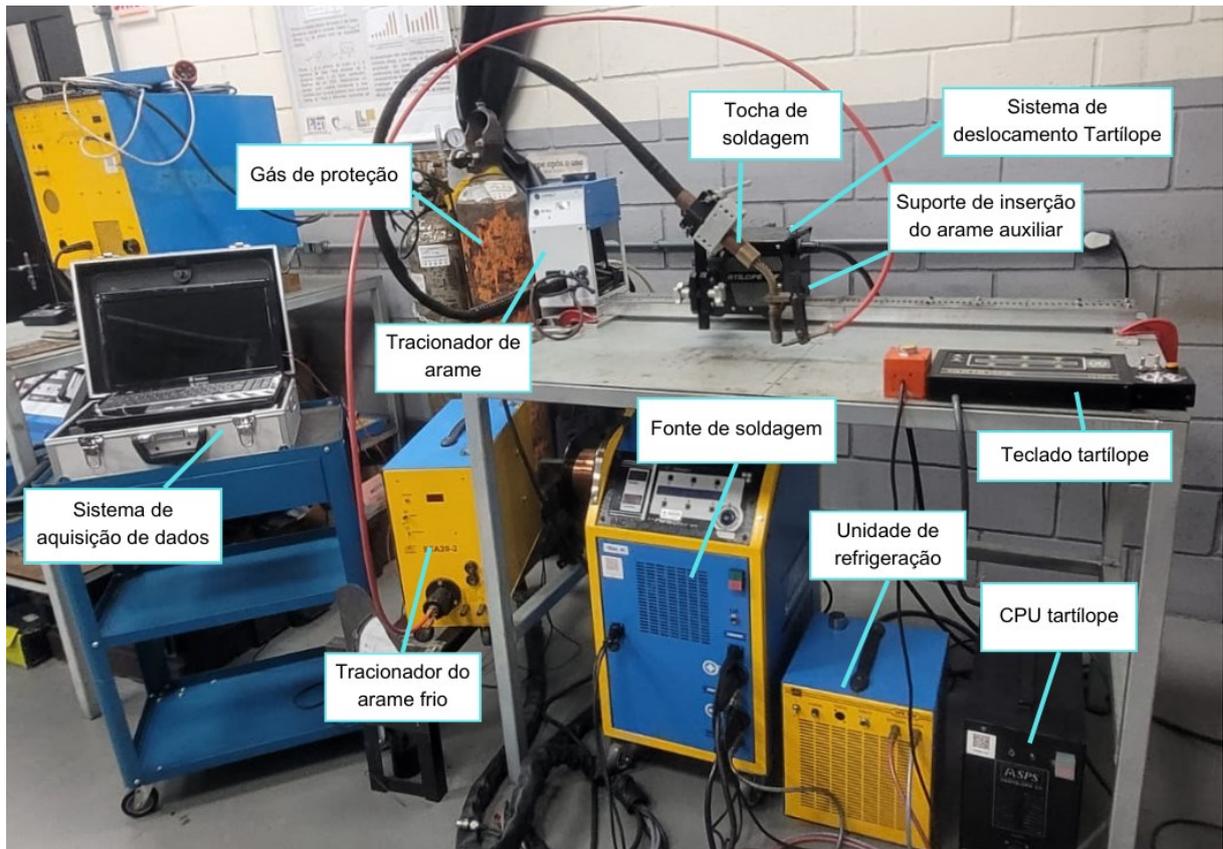
3.1 BANCADA DE ENSAIOS

Para realização dos ensaios foi estruturada uma bancada no Laboratório de Tecnologia da Soldagem (LTS), no Campus Joinville, da Universidade Federal de Santa Catarina. A bancada é composta por uma fonte de soldagem modelo DigiPLUS A7, com capacidade de corrente de até 450 A. Para soldagens no modo corrente pulsada, foi utilizada a função de modo pulsado da fonte, onde foram configurados os valores de correntes e tempos de pulso e base, tal qual a velocidade de alimentação dos arames.

Para alimentação dos arames energizado e frio, foram utilizados tracionadores para saída constante de arame pela tocha, além de sistema de refrigeração da tocha. O sistema de deslocamento foi o Tartílope V2F, o qual permite o ajuste das posições (inicial e final) e de inclinação da tocha, de velocidade de soldagem e os parâmetros de tecimento.

Por fim, para aquisição dos dados, foi utilizado o sistema SAP V4 para monitoração do processo de soldagem permitindo fazer a leitura de corrente e tensão, bem como velocidade de arame e vazão de gás. Os componentes e organização da bancada estão representados na Figura 20 a seguir.

Figura 20 – Bancada de ensaios



Fonte: autor (2023)

3.2 MATERIAIS E CORPOS DE PROVA

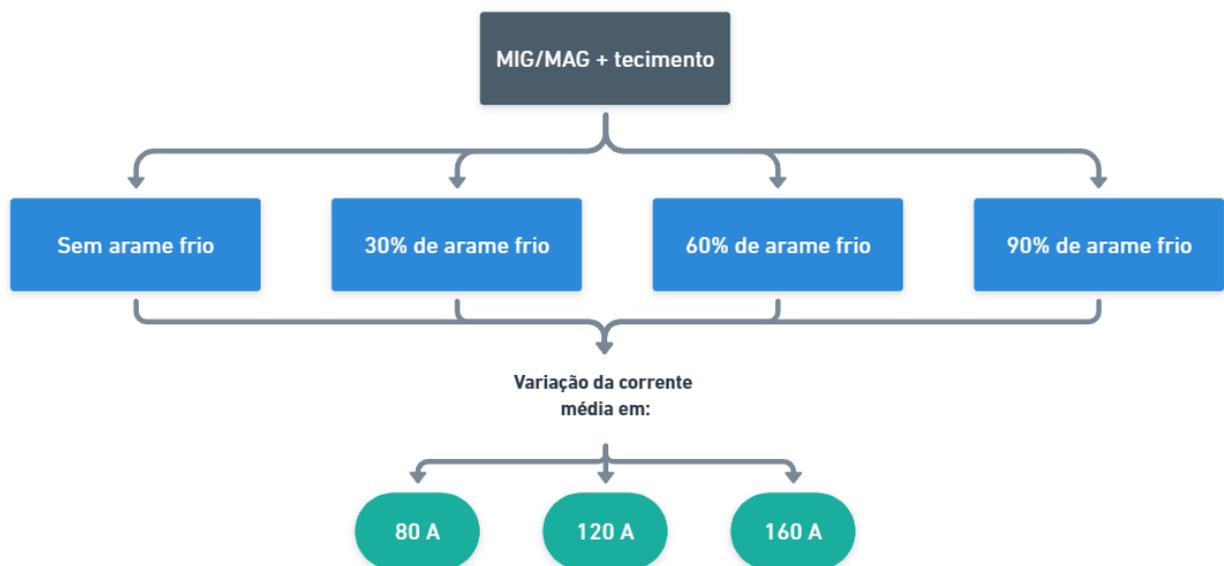
Para realização dos ensaios foram utilizadas chapas de aço SAE 1020 com 4,75mm de espessura e 160x120 mm, onde a escolha se deu pela disponibilidade de material no laboratório. O material de adição utilizado foi de aço carbono AWS ER70S-6, com 1,2mm de diâmetro para o arame-eletrodo energizado e 1,0mm para o arame frio. O gás de proteção utilizado foi a mistura de Ar + 8% de CO₂, com vazão constante de 15 L/min.

3.3 ENSAIOS DE SOLDAGEM

Os ensaios de soldagem foram realizados para obtenção das diferentes condições de corrente média de soldagem, atrelada a diferentes velocidades de alimentação do arame frio adicional. Esses, por sua vez, foram realizados na posição plana, com três correntes médias de soldagem: 80A, 120A e 160A. No primeiro ensaio foi executado o processo MIG/MAG pulsado com adoção da técnica de tecimento, e em seguida, realizado o mesmo processo adicionando arame frio, variando sua velocidade de inserção em 30%, 60% e 90%. Para técnica de tecimento, em todos os procedimentos, foram fixados a frequência de tecimento e amplitude de, respectivamente, 1 Hz e 10 mm.

Com isso, foram realizados 12 ensaios de soldagem no total, ilustrados através da Figura 21.

Figura 21 – Ensaios de soldagem



Fonte: autor (2023)

O arame frio foi inserido pela frente em relação a tocha, e com um ângulo de posicionamento de alimentação em relação a peça de trabalho de 20°, assim como mostra a Figura 22.

Figura 22 – Posicionamento de inserção do arame adicional



Fonte: autor (2023)

Após ensaios preliminares para adequação dos parâmetros, foi definida uma velocidade de soldagem de 30 cm/min para corrente média de 160A. A fim de manter a concordância com os demais valores de corrente, considerando a relação corrente/velocidade de soldagem de 5,33, então obtida com 160A, os parâmetros de velocidade de soldagem foram obtidos e listados na Tabela 4, tal qual a DBCP utilizada.

Tabela 4 – Parâmetros fixos de soldagem

| Parâmetros | |
|------------------------|---------------------|
| DBCP | 16 mm |
| Velocidade de soldagem | 15 cm/min (80 A) |
| | 22,5 cm/min (120 A) |
| | 30 cm/min (160 A) |

Fonte: autor (2023)

Com base na corrente média, característica dos dados a serem utilizados e os ensaios preliminares, foram definidos valores de corrente e tempo de pulso de 300 A e 4,2 ms, respectivamente, fixos a todos três valores de corrente média. Assim, foi possível obter os valores de corrente e tempo de base, e a velocidade de inserção do arame principal, valores listados na Tabela 5.

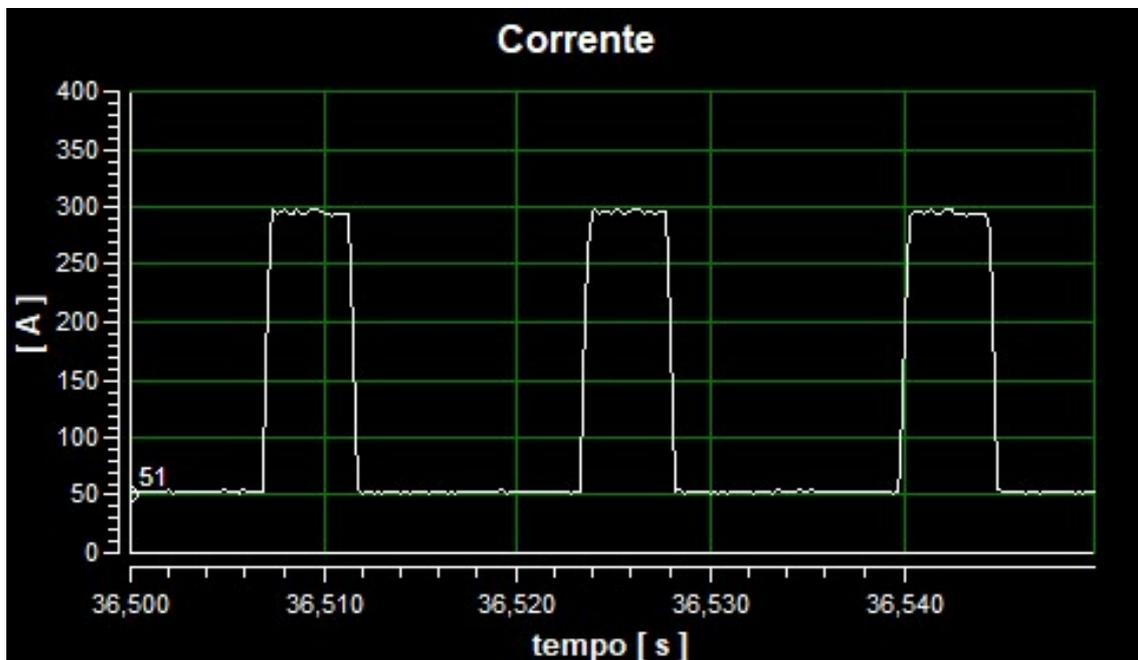
Tabela 5 – Valores de correntes e tempos de operação no modo pulsado

| Dados | GMAW 80 A | GMAW 120 A | GMAW 160 A |
|--|-----------|------------|------------|
| Corrente de base (A) | 33,3 | 54,5 | 82 |
| Tempo de base (ms) | 18,85 | 11 | 7,1 |
| Corrente de pulso (A) | 300 | 300 | 300 |
| Tempo de pulso (ms) | 4,2 | 4,2 | 4,2 |
| Vel. de alimentação arame eletrodo (m/min) | 2,16 | 3,24 | 4,32 |

Fonte: autor (2023)

Através do sistema de aquisição foram obtidos valores como a corrente e a tensão durante o processo de soldagem. Na Figura 23 é mostrado o oscilograma de corrente referente a um tempo de aproximadamente 0,05 segundo de soldagem MIG/MAG com corrente média de 120 A e 30% de arame frio, obtido através do sistema SAP V4. Ao analisar a imagem, mostra-se evidente o modo pulsado estabelecido pela fonte, valores constantes de intervalos de corrente e tempos de base e pulso.

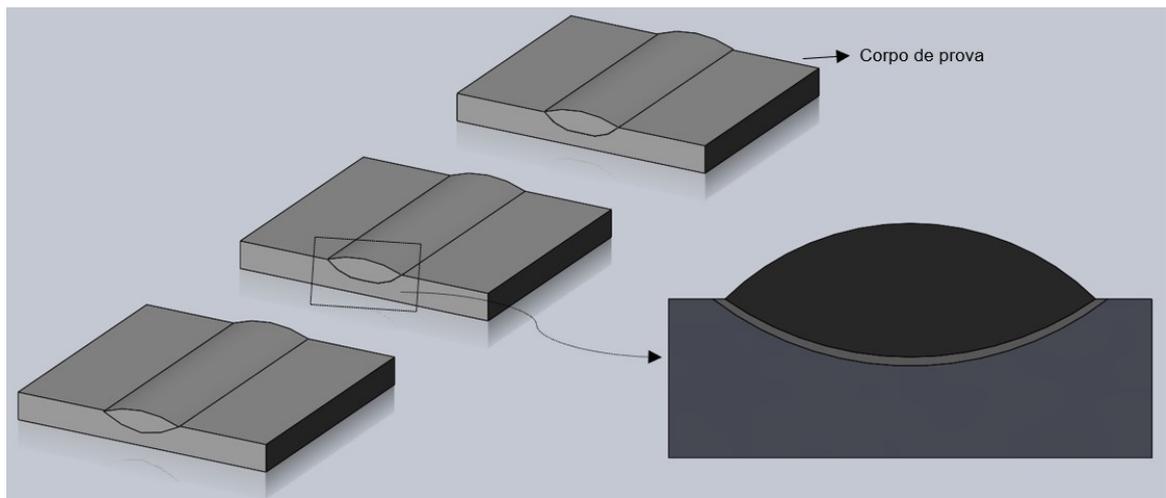
Figura 23 – Oscilograma de corrente MIG/MAG 120 A com 30% de arame frio.



Fonte: autor (2023)

Por seguinte foram feitos dois cortes, em seção transversal, de cada um dos ensaios resultantes, assim como mostrado na Figura 24, totalizando 24 amostras. O objetivo no seccionamento dos corpos, foi uma melhor análise dos resultados através de diferentes pontos no cordão realizado, onde posteriormente foram tirados valores de média e desvio padrão de cada um dos dois resultados obtidos.

Figura 24 – Corpos de prova seccionados



Fonte: autor (2023)

3.4 PREPARAÇÃO METALOGRAFICA

A preparação metalográfica foi realizada para ser possível a análise da seção transversal dos cordões realizados e, com isso, sua morfologia. Os cortes foram realizados com uma serra fita refrigerada, de modelo S-3720 Starrett. Em seguida, cada amostra passou por um processo de lixamento com as lixas de granulometria 80, 180, 240, 320, 400 e 600. Posteriormente, houve um ataque químico dos corpos com Nital 4%, possibilitando revelar a geometria transversal do cordão de solda.

Para mensurar a geometria obtida, foi utilizado o programa “open source” ImageJ (2021) para obtenção das medidas, tais como: largura, penetração, reforço, diluição e área penetrada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

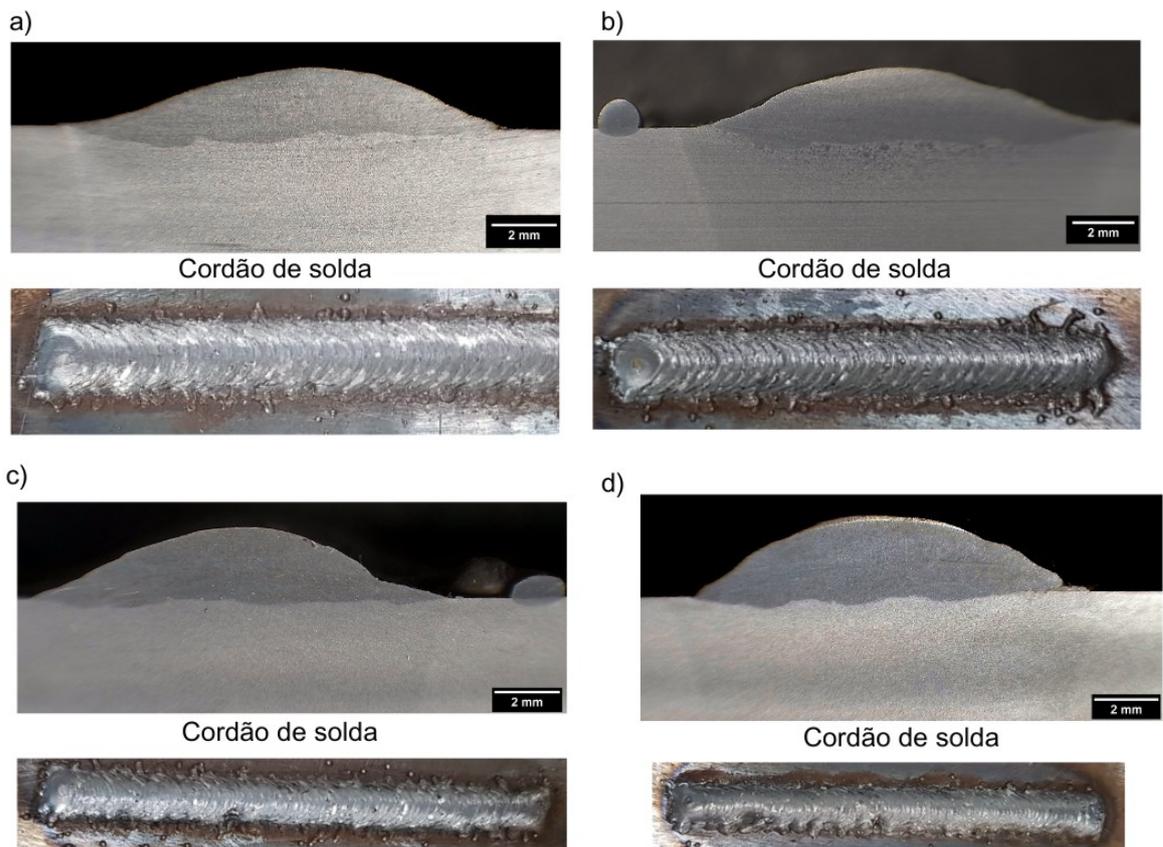
4.1 ANÁLISE DA GEOMETRIA DOS CORDÕES DE SOLDA

Nesta etapa do trabalho serão ilustrados os valores das análises geométricas obtidas nos cordões referentes aos processos MIG/MAG e MIG/MAG-AF, e a imagens dos respectivos cordões de solda obtidos. Dentre os resultados estão: largura, reforço, penetração, áreas depositada e penetrada e diluição.

4.1.1 Corrente média de 80 A

A Figura 25 mostra os perfis da seção transversal do cordão de solda referente aos processos com corrente média de 80 A, tal qual o cordão de solda correspondente.

Figura 25 – Macrografia do processo de soldagem: a) MIG/MAG, b) MIG/MAG-AF 30%, c) MIG/MAG-AF 60%, d) MIG/MAG-AF 90%



Fonte: autor (2023)

Em complemento, a Tabela 6 ilustra os resultados das medidas obtidas com os cordões mostrados na Figura 25.

Tabela 6 – Resultados das medidas obtidas para 80 A

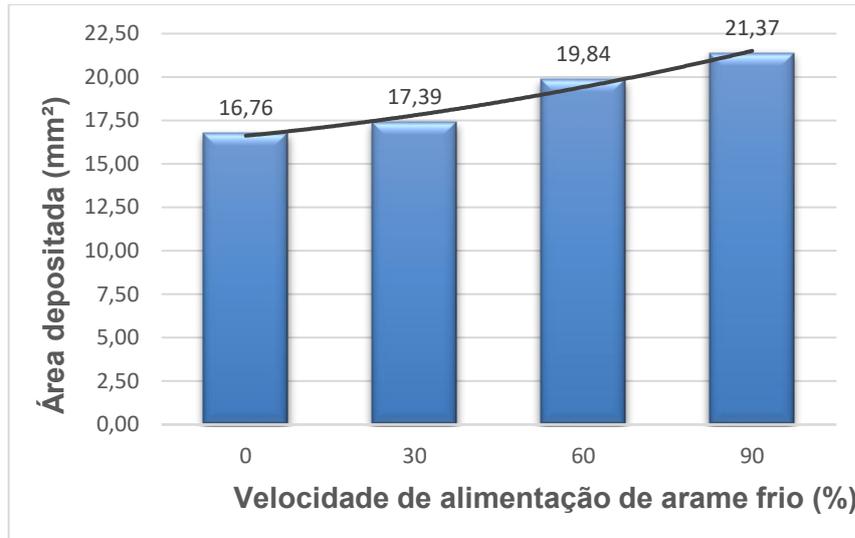
| Corrente Média (A) | Vel. Alimentação arame frio (%) | Largura (mm) | Reforço (mm) | Penetração (mm) | Área Depositada (mm ²) | Área Penetrada (mm ²) | Diluição (%) |
|--------------------|---------------------------------|--------------|--------------|-----------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------------|
| 80 | 0 | 14,86 | 1,92 | 0,71 | 16,50 | 5,00 | 23% |
| | | 15,23 | 1,99 | 0,73 | 17,02 | 5,58 | 25% |
| | Média | 15,05 | 1,96 | 0,72 | 16,76 | 5,29 | 24% |
| | Desvio padrão | 0,26 | 0,05 | 0,01 | 0,37 | 0,41 | 0,01 |
| 80 | 30 | 15,06 | 1,95 | 0,73 | 17,30 | 5,36 | 23% |
| | | 15,35 | 2,15 | 0,7 | 18,13 | 6,34 | 26% |
| | Média | 15,21 | 2,05 | 0,72 | 17,72 | 5,85 | 24% |
| | Desvio padrão | 0,21 | 0,14 | 0,02 | 0,59 | 0,69 | 0,02 |
| 80 | 60 | 13,73 | 2,33 | 0,33 | 18,48 | 2,09 | 10% |
| | | 16,42 | 2,2 | 0,34 | 21,20 | 1,48 | 7% |
| | Média | 15,08 | 2,27 | 0,34 | 19,84 | 1,79 | 8% |
| | Desvio padrão | 1,90 | 0,09 | 0,01 | 1,93 | 0,43 | 0,03 |
| 80 | 90 | 13,25 | 2,65 | 0,46 | 21,87 | 2,38 | 10% |
| | | 11,71 | 2,81 | 0,41 | 20,86 | 2,35 | 10% |
| | Média | 12,48 | 2,73 | 0,44 | 21,37 | 2,37 | 10% |
| | Desvio padrão | 1,09 | 0,11 | 0,04 | 0,71 | 0,02 | 0,00 |

Fonte: autor (2023)

Aos dados obtidos sem arame adicional e a uma velocidade de 30% de deposição, observa-se cordões com características similares, tendo valores de penetração, diluição, reforço e largura com baixa variação. Essa característica se dá pela baixa taxa de deposição, visto que pela velocidade de alimentação do arame principal não ser elevada, a inserção do arame adicional nessas condições não teve influência considerável.

Para uma velocidade de alimentação de 60% e 90%, de acordo com a literatura apresentada, a tendência é de uma diminuição da penetração e diluição. Além disso, um aumento nos níveis de reforço é esperado, em consequência da maior área depositada. Com os cordões de solda analisados, esse aumento da área depositada se fez verdadeiro, apresentando crescimento gradual entre os quatro processos conforme ilustrado pela Figura 26.

Figura 26 – Gráfico área depositada x velocidade de alimentação de arame frio



Fonte: autor (2023)

A diminuição na penetração e diluição a partir de 60% de velocidade de deposição se fez presente. Contudo, uma diminuição considerável da largura foi observada quando comparadas apenas as velocidades de 60% e 90%. Tal acontecimento pode ser explicado por uma falta de fusão uniforme que pode ser atrelada a dois fatores: alta deposição de material e, a inserção não uniforme do arame adicional na poça de fusão. Esse fenômeno, por sua vez, foi uma angulação indesejada ocorrida nos ensaios (Figura 27), que não permitiu a correta inserção do arame frio ao centro da poça de fusão, podendo explicar também uma maior penetração, incomum, observada para a velocidade de 90% em comparação à 60%.

Figura 27 – Vista frontal da inserção do arame frio



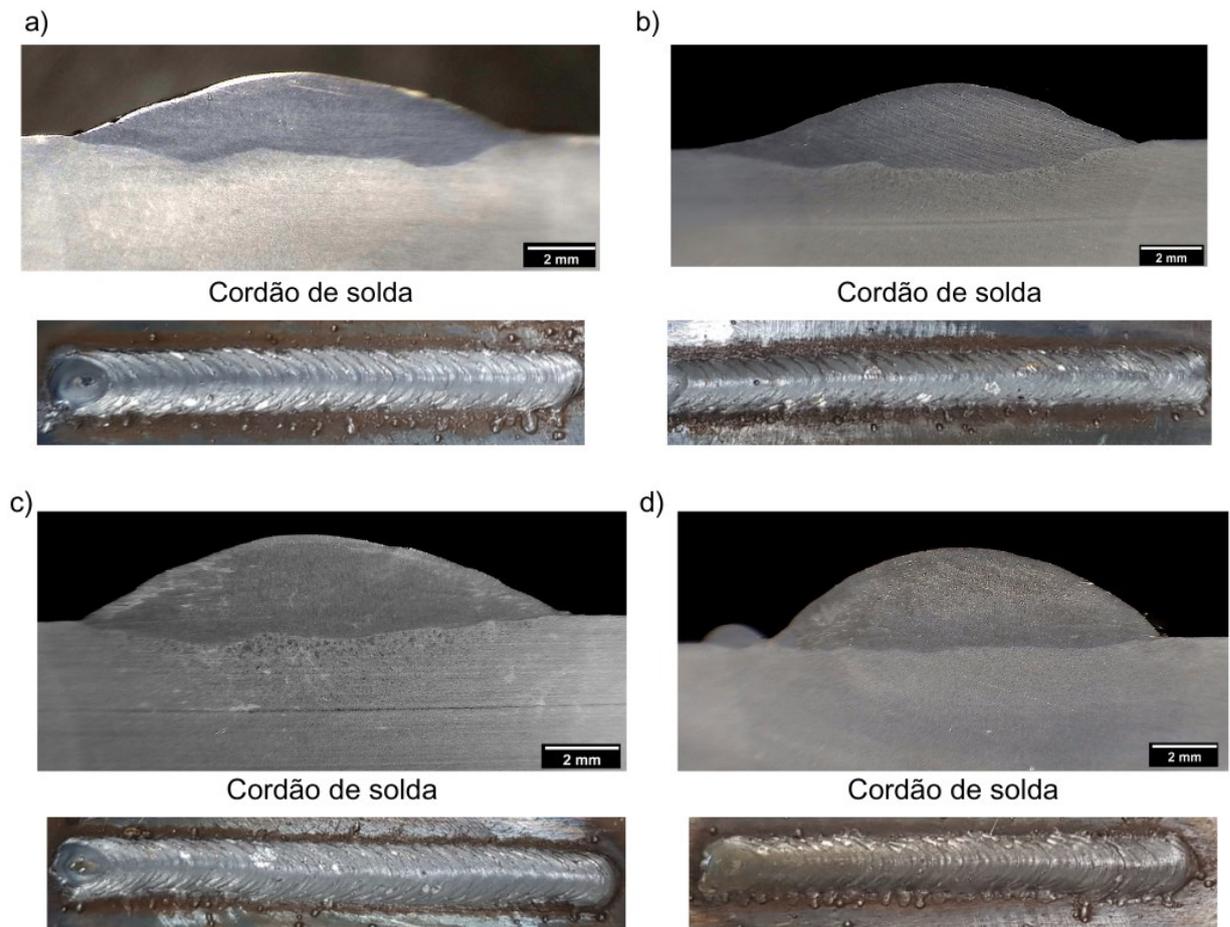
Fonte: autor (2023)

Esses fatores, portanto, explicam a formação de vazios e irregularidades no cordão de solda mostrado na Figura 25d, justificando uma queda abrupta na largura da velocidade de 90% em relação à 60%.

4.1.2 Corrente média de 120 A

Os perfis de seção transversal e o cordão de solda correspondente a essa corrente média (120 A), são apresentados na Figura 28, além dos resultados das medidas dos cordões obtidos, listados na Tabela 7.

Figura 28 - Macrografia do processo de soldagem: a) MIG/MAG, b) MIG/MAG-AF 30%, c) MIG/MAG-AF 60%, d) MIG/MAG-AF 90%



Fonte: autor (2023)

Tabela 7 – Resultados das medidas obtidas para 120 A

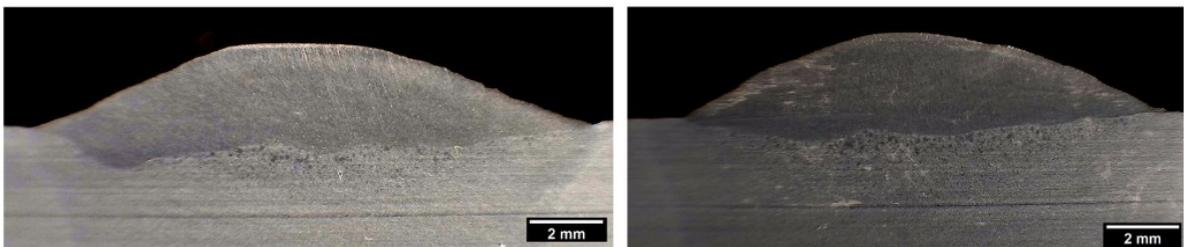
| Corrente Média (A) | Vel. Alimentação arame frio (%) | Largura (mm) | Reforço (mm) | Penetração (mm) | Área Depositada (mm ²) | Área Penetrada (mm ²) | Diluição (%) |
|--------------------|---------------------------------|--------------|--------------|-----------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------------|
| 120 | 0 | 13,89 | 1,99 | 0,73 | 17,21 | 6,25 | 27% |
| | | 14,09 | 1,89 | 0,93 | 16,52 | 7,47 | 31% |
| | Média | 13,99 | 1,94 | 0,83 | 16,87 | 6,86 | 29% |
| | Desvio padrão | 0,14 | 0,07 | 0,14 | 0,49 | 0,86 | 0,03 |
| 120 | 30 | 14,77 | 2,04 | 0,89 | 18,04 | 6,3 | 26% |
| | | 14,83 | 2,07 | 0,95 | 17,04 | 7,94 | 32% |
| | Média | 14,80 | 2,06 | 0,92 | 17,54 | 7,12 | 29% |
| | Desvio padrão | 0,04 | 0,02 | 0,04 | 0,71 | 1,16 | 0,04 |
| 120 | 60 | 15,53 | 2,2 | 1,15 | 20,85 | 9,08 | 30% |
| | | 13,57 | 2,28 | 0,7 | 19,88 | 4,75 | 19% |
| | Média | 14,55 | 2,24 | 0,93 | 20,37 | 6,92 | 25% |
| | Desvio padrão | 1,39 | 0,06 | 0,32 | 0,69 | 3,06 | 0,08 |
| 120 | 90 | 14,42 | 2,89 | 0,39 | 25,29 | 2,74 | 10% |
| | | 14,27 | 2,98 | 0,62 | 27,75 | 4,8 | 15% |
| | Média | 14,35 | 2,94 | 0,51 | 26,52 | 3,77 | 12% |
| | Desvio padrão | 0,11 | 0,06 | 0,16 | 1,74 | 1,46 | 0,04 |

Fonte: autor (2023)

Através dos dados é possível perceber que, assim como para o processo a corrente média de 80 A, os valores de 120 A sem e com adição de 30% do arame adicional, variam de forma sutil, com diluição de 29% em ambos os casos. Os valores de largura e reforço maiores para o processo com adição são esperados devido a maior deposição de material sobre a chapa, destoando apenas a maior penetração apresentada neste.

Essa maior penetração, também obtida para a velocidade de alimentação de 60%, pode ser explicada pelo efeito do direcionamento do arame frio (inserção não uniforme) mencionado anteriormente. Quando o arame frio é direcionado para um dos lados da poça de fusão, cria-se uma distribuição não uniforme de metal no cordão de solda, podendo aumentar a penetração em um dos lados, assim observado na Figura 29.

Figura 29 – Macrografias do processo de soldagem para MIG/MAG-AF 60%



Fonte: autor (2023)

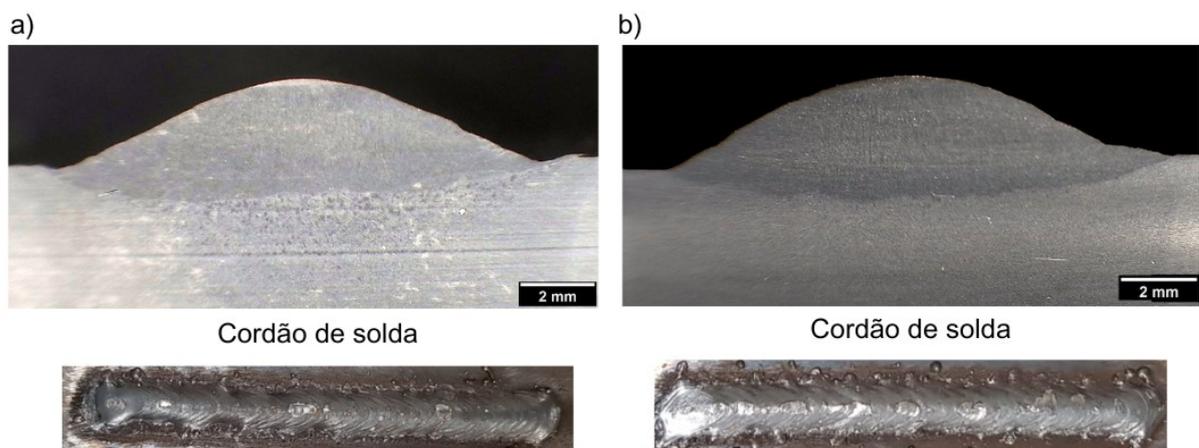
Ao analisar o processo com velocidade de alimentação em 60%, percebe-se uma diferença no reforço, com um aumento de 8,74% em relação ao processo com adição de arame em 30%, e 15,5% em relação à não adição de arame. Com valores de largura e penetração similares (diferença em 1%), e o aumento do reforço pela maior deposição, quando comparado ao processo com adição de 30%, esse procedimento mostrou-se satisfatório para processos que visam aumentar a produtividade do processo de soldagem MIG/MAG, sem a necessidade de um maior aporte de calor.

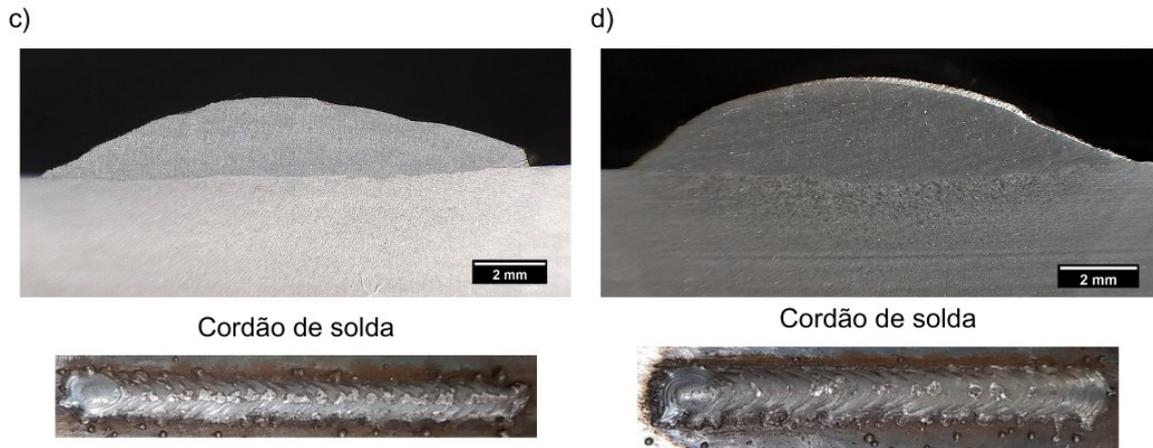
Para uma adição de 90% de arame frio, foram obtidos valores de reforço maiores, assim como penetração e diluição menores, como o esperado obtido pela literatura. Uma diluição de 12% se mostra satisfatória à soldagem por revestimento, onde para Murugan e Parmar (1997) os valores ideais variam entre 10 e 15%. Como visto na Figura 28d, percebe-se levemente a presença de uma não regularidade entre os dois lados do cordão, devido à angulação na inserção do arame frio mencionada anteriormente.

4.1.3 Corrente média de 160 A

Para corrente média de 160 A, os resultados obtidos das medidas das seções transversais, tal qual a imagem obtida dos cordões de solda realizados, são mostrados na Tabela 8 e Figura 30.

Figura 30 - Macrografia do processo de soldagem: a) MIG/MAG, b) MIG/MAG-AF 30%, c) MIG/MAG-AF 60%, d) MIG/MAG-AF 90%





Fonte: autor (2023)

Tabela 8 – Resultado das medidas obtidas para 160 A

| Corrente Média (A) | Vel. Alimentação arame frio (%) | Largura (mm) | Reforço (mm) | Penetração (mm) | Área Depositada (mm ²) | Área Penetrada (mm ²) | Diluição (%) |
|--------------------|---------------------------------|--------------|--------------|-----------------|------------------------------------|-----------------------------------|--------------|
| 160 | 0 | 12,41 | 2,19 | 0,75 | 16,37 | 7,08 | 30% |
| | | 13,17 | 2,27 | 1,06 | 16,72 | 10,03 | 37% |
| | Média | 12,79 | 2,23 | 0,91 | 16,55 | 8,56 | 34% |
| | Desvio padrão | 0,54 | 0,06 | 0,22 | 0,25 | 2,09 | 0,05 |
| 160 | 30 | 15,85 | 2,18 | 0,84 | 19,42 | 5,95 | 23% |
| | | 13,61 | 2,23 | 1,06 | 18,35 | 8,93 | 33% |
| | Média | 14,73 | 2,21 | 0,95 | 18,89 | 7,44 | 28% |
| | Desvio padrão | 1,58 | 0,04 | 0,16 | 0,76 | 2,11 | 0,07 |
| 160 | 60 | 16,3 | 2,33 | 0,43 | 21,73 | 2,73 | 11% |
| | | 15,16 | 2,3 | 0,38 | 20,89 | 2,11 | 9% |
| | Média | 15,73 | 2,32 | 0,41 | 21,31 | 2,42 | 10% |
| | Desvio padrão | 0,81 | 0,02 | 0,04 | 0,59 | 0,44 | 0,01 |
| 160 | 90 | 17,35 | 2,73 | 0,35 | 27,13 | 2,32 | 8% |
| | | 14,62 | 2,5 | 0,51 | 23,59 | 3,19 | 12% |
| | Média | 15,99 | 2,62 | 0,43 | 25,36 | 2,76 | 10% |
| | Desvio padrão | 1,93 | 0,16 | 0,11 | 2,50 | 0,62 | 0,03 |

Fonte: autor (2023)

O processo MIG/MAG pulsado com corrente média de 160 A e sem adição de arame mostrou valores de penetração altos, devido à alta corrente utilizada. A alta penetração e uma diluição acima de 30% demonstram não ser satisfatório o uso com as determinadas condições para a soldagem por revestimento buscada.

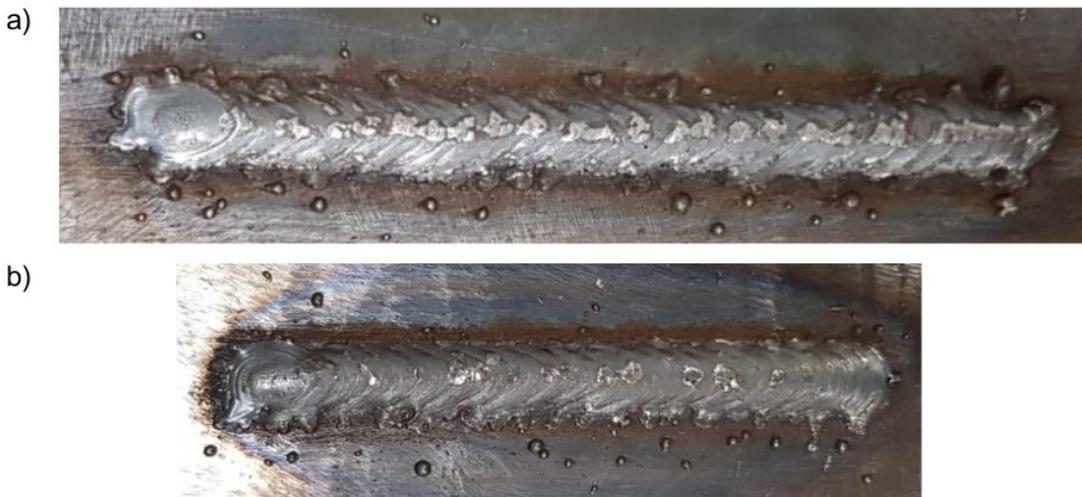
Em comparação às correntes médias de 80 e 120 A, uma velocidade de alimentação de 30% de arame frio, para corrente média de 160 A, resulta em alterações mais perceptíveis nos valores obtidos, como redução na diluição e aumento de 15,17% nos valores de largura, assim como esperado pela literatura. A área depositada representou um crescimento de 14,13% em comparação ao processo sem arame adicional, ainda que obtendo valores levemente maiores de penetração e menores de reforço.

Para taxas de deposição de 60 e 90%, os valores demonstraram ser coerentes com o obtido por Ribeiro et al. (2012) e Maciel et al. (2012), com maiores reforço e largura, e menores penetração e diluição quando comparados ao processo sem arame adicional.

Ao analisá-los, a velocidade de alimentação de 90% apresenta valores de reforço e penetração maiores que 60%, porém, mantendo o valor de diluição em 10%, podendo ser considerado satisfatório à soldagem por revestimento. Entretanto, para velocidade de 60%, foram apresentados altos ângulos de molhabilidade nas amostras, podendo gerar concentradores de tensões e um aumento de tensões residuais no metal fundido.

A Figura 31 mostra os cordões de solda para as duas últimas taxas de deposição. É possível perceber na parte de baixo a influência da angulação indesejada de inserção do arame frio, mesmo que sutil, gerando pequenos respingos em um dos lados do cordão.

Figura 31 – Cordões de solda a) MIG/MAG-AF 60%, b) MIG/MAG-AF 90%



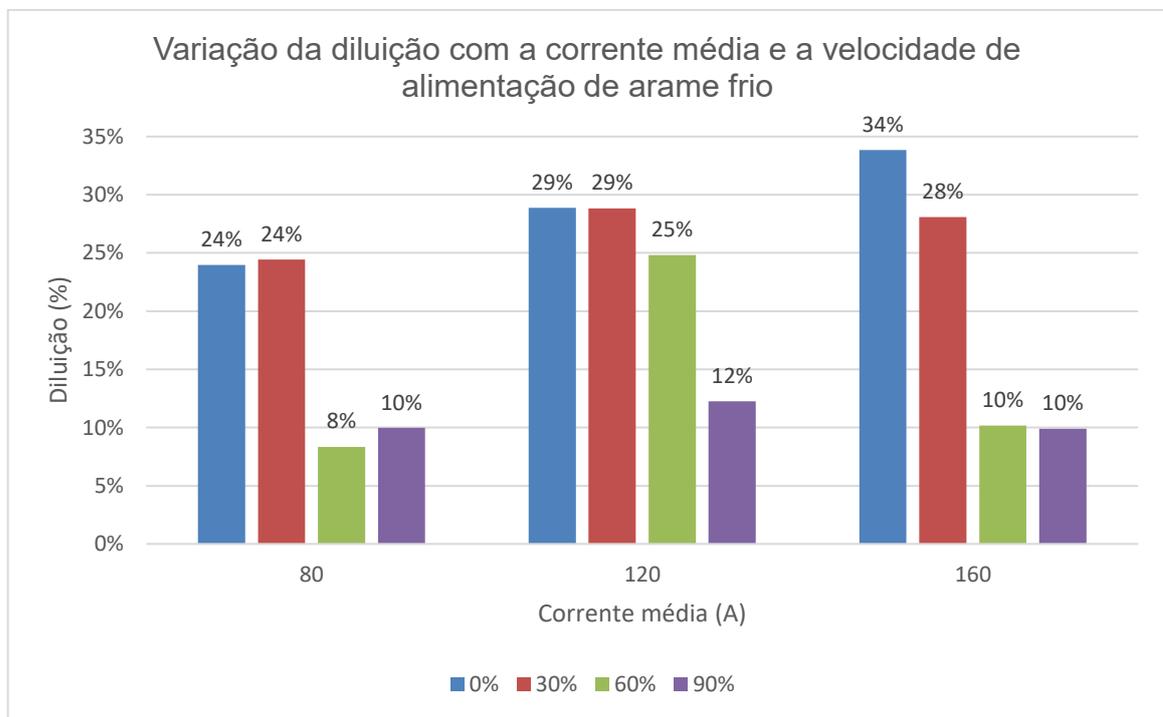
Fonte: autor (2023)

4.2 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS ENTRE AS DIFERENTES CORRENTES

Como apresentado no tópico 4.1, para uma velocidade de alimentação do arame adicional em 30%, apenas para corrente média de 160 A foram obtidos valores de diluição mais baixos, tal qual uma área depositada maior que 10% (14,13%), aos valores obtidos sem a inserção do arame adicional.

Para todos os casos, uma velocidade de arame frio de 90% apresenta valores de diluição recomendados para soldagens que visam revestimento, assim como mostrado pela Figura 32. Porém, para corrente média de 80 A, devido à alta deposição de material, foi possível perceber uma falta de fusão em determinados pontos do cordão de solda, mostrando também a importância da análise em diferentes pontos do mesmo cordão.

Figura 32 – Gráfico de diluição vs corrente média e velocidade de alimentação arame frio



Fonte: autor (2023)

Em correntes médias de 80 e 160 A, é perceptível que em velocidades de alimentação de arame frio em 60%, encontram-se cordões com características desejadas neste relatório. Com valores de largura e reforço maiores, e penetração e diluição mais baixos, quando comparados à não inserção do arame frio, sendo velocidades de alimentação maiores não necessárias. Porém, como explicado para 160 A, um alto ângulo de molhabilidade foi percebido, fazendo com que para essa corrente, uma velocidade de alimentação de arame frio em 90% seja mais adequada.

Por fim, em corrente média de 120 A, os valores desejados para revestimento foram obtidos apenas para 90% de velocidade de alimentação, mesmo que apresentando um cordão não tão uniforme devido à angulação de inserção mencionada. Para cordões de solda em juntas, visando maior produtividade e menor necessidade de passes, o processo de soldagem com velocidade de alimentação de 60% de arame frio se mostrou satisfatória.

5. CONCLUSÕES

Tendo em vista os resultados deste trabalho, que teve como objetivo avaliar os efeitos da variação da velocidade de alimentação do arame frio, para diferentes níveis de corrente média, pode-se concluir que:

- À medida que a corrente média aumenta na soldagem sem adição de arame frio, observa-se valores similares de área de deposição, além de um aumento proporcional nos valores de penetração e diluição;
- Com velocidades de alimentação de arame frio mais baixas (30%), valores menores de diluição e aumento significativo de área depositada são vistos apenas para corrente média de 160 A, não apresentando tais variações para correntes médias de 80 e 120 A.
- Em correntes médias de 120 e 160 A foram observados cordões com características desejáveis à soldagem por revestimento a partir de velocidade de alimentação de arame frio mais altas (90%);
- Para corrente média em 80 A, é possível obter cordões de solda para revestimento com velocidade de alimentação de arame frio mais baixa que as demais (60%), visto que, para maiores velocidades de alimentação (90%), pode ocorrer falta de fusão uniforme, devido à alta deposição de material e angulação na inserção do arame adicional;
- A posição de inserção do arame frio na poça de fusão apresenta influência sobre a qualidade e análise dos cordões obtidos, corroborando que pequenas variações das condições de soldagem podem afetar nos resultados esperados.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com a realização do presente trabalho sugere-se como temas para trabalhos futuros:

- Avaliação da máxima velocidade de alimentação de arame adicional para corrente média de 120 A;
- Avaliar a posição de inserção do arame frio;
- Realizar um estudo sobre o efeito da variação de velocidade de alimentação do arame frio, para diferentes valores de corrente média, sobre a microestrutura da região soldada;
- Analisar taxa de deposição e volume depositado sobre o processo;
- Alterar o valor dos parâmetros de tecimento e sua influência.

REFERÊNCIAS

ABIOYE, T.E., MCCARTNEY, D.G., CLARE, A.T. Laser Cladding of Inconel 625 wire for corrosion protection. **Journal of Materials Processing Technology**. v. 217, p. 232-240, 2015.

ALTOÉ, J. A. F., SILVA, J. P. C., MAZIERO, R. Avaliação do Aço Inoxidável Superaustenítico de norma BS EN N° 14587 na Resistência à Corrosão por Pite. *In: 70º CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA, MATERIAIS E MINEIRAÇÃO. Anais [...]* p. 868-874, Rio de Janeiro, 17 de agosto a 21 de agosto de 2015. Disponível em: <https://abmproceedings.com.br/ptbr/article/avaliacao-do-aco-inoxidavel-superaustenitico-de-norma-bs-en-n-14587-na-resistencia-a-corrosao-por-pite> Acesso em: 27 jun. 2022.

AMERICAN WELDING SOCIETY. **Welding processes**, vol. 2 of Welding Handbook, 8th ed., USA: AWS, 1991.

AMERICAN WELDING SOCIETY. **Welding handbook**, vol. 2, 9th ed., USA: AWS, 2001.

ASSUNÇÃO, P. D. C. et al. Feasibility of narrow gap welding using the cold-wire gas metal arc welding (CW-GMAW) process. **Weld World**, v. 61, p. 659-666. maio. 2017.

CARVALHO, R. S. *et al.* Estudo sobre a influência da frequência de tecimento nas características dos cordões em operações de revestimento de modo automatizado. *In: 6º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO. Anais [...]* Caxias do Sul, 11 a 15 de abril de 2011. Disponível em: https://labsolda.ufsc.br/publicacoes/artigos/2011_cobef_renan.PDF. Acesso em: 3 out. 2022.

CORAINI, R.; KOBAYASHI, Y.; GONÇALVES, G. M. B. Influência do tipo de chanfro, tecimento e sentido de laminação na distorção angular em soldagem GMAW-P robotizada de alumínio. **Soldagem e Inspeção**, v. 16, n. 2, p. 123-136, 2011.

COSTA, E. S. *et al.* Residual stresses in cold-wire gas metal arc welding. **Science and Technology of Welding and Joining**, v. 22, n. 8, p. 706-713, 2017.

CRUZ JUNIOR, L. P. S. et al. (2011). Influência da variação do tecimento, ângulo de ataque e velocidade de alimentação sobre a geometria de cordões de revestimento pelo processo MIG-DWOA. *In: 6º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO. Anais [...]* Caxias do Sul, 11 a 15 de abril de 2011. Disponível em: <https://docplayer.com.br/amp/60887-Influencia-da-variacao-do-tecimento-angulo-de-ataque-e-velocidade-de-alimentacao-sobre-a-geometria-de-cordoes-de-revestimento-pelo-processo-mig-dwoa.html>. Acesso em: 1 out. 2022.

FERRARESI, H. N.; SILVA, H. R. Determinação de parâmetro de soldagem para aplicação de revestimento na posição horizontal com o processo MIG/MAG arame frio. *In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA. Anais [...]* Fortaleza, 21 a 25 de agosto de 2016. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/henrique-ferraresi-2/publication/316727021_determinacao_de_parametros_de_soldagem_para_aplicacao_de_revestimento_na_posicao_horizontal_com_o_processo_migmag_arame_frio/inks/6142971128667828a8981bf1/determinacao-de-parametros-de-soldagem-para-aplicacao-de-revestimento-na-posicao-horizontal-com-o-processo-mig-mag-arame-frio.pdf. Acesso em: 2 out. 2022.

FISCHER, A. **Estudo da influência dos parâmetros no processo de soldagem GMAW – arco pulsado**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

GOMES, B. J. C. *et al.* Efeito das condições operacionais de soldagem na geometria e ângulo de contato de uma junta soldada com eletrodo tubular autoprotetido. *In: IX CONGRESSO DE ENGENHARIAS DA UFSJ. Anais [...]* São João del Rei, 23 de setembro a 4 de outubro de 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/coen-2019/papers/efeito-das-condicoes-operacionais-de-soldagem-na-geometria-e-angulo-de-contato-de-uma-junta-soldada-com-eletrodo-tubular?lang=pt-br>. Acesso em: 13 set. 2022.

GOMES, J. H. F. **Análise e otimização da soldagem de revestimento de chapas de aço ABNT 1020 com utilização de arame tubular inoxidável austenítico**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá. 2010.

GROETELARRS, P. J. **Influência da variação de parâmetros de soldagem sobre a transferência metálica e perfil do cordão no processo MIG/MAG duplo arame**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

INFOSOLDA. **Processo MIG/MAG – modos de transferência**. 2013. Disponível em: <https://infosolda.com.br/175-processo-mig-mag-modos-de-transferencias/>. Acesso em: 20 set. 2022.

KEJELIN, N. Z. **Soldagem de revestimento de aços comuns C-Mn com superliga a base de níquel Inconel 625**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

KOBAYASHI, Y.; GONÇALVES, G. M. B.; FERREIRA, W. G. Avaliação das eficiências de deposição e térmica na soldagem MAG com arco pulsado. *In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA – CONEM 2000. Anais [...]* Natal, 2010. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/conem/2000/HC8992.pdf>. Acesso em: 10 set. 2022.

LARA, M. *et al.* Effect of transverse arc oscillation on morphology, dilution and microstructural aspects of weld beads produced with short-circuiting transfer in GMAW. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, v. 42, n. 449, 13p. 2020.

MACIEL, R. R. *et al.* Estudo comparativo entre os processos GMAW e GMAW-CW com variações na velocidade de alimentação para preenchimento de chanfro em “U”. *In: 67º CONGRESSO DA ABM – INTERNATIONAL. Anais [...]* Rio de Janeiro, 2012.

Disponível em: <https://abmproceedings.com.br/ptbr/article/estudo-comparativo-entre-processos-gmaw-egmaw-cw-com-variaes-na-velocidade-de-alimentaopara-preenchimento-de-chanfro-em-u>. Acesso em: 4 out. 2022.

MARQUES, L. F. N. *et al.* Fatigue life assessment of weld joints manufactured by GMAW and CW-GMAW processes. **Science and Technology of Welding and Joining**, v. 22, n. 8, p. 87-96, 2016.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem: fundamentos e tecnologia**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

MENDES, R. B. A. **Efeito do tecimento triangular e trapezoidal sobre revestimentos aplicado com arames tubulares quanto à resistência ao desgaste abrasivo**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

MODENESI, P. J. **Introdução à física do arco elétrico soldagem I**. Belo Horizonte: Editora da Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

MOGROVEJO, M.G. **Investigação e desenvolvimento do processo MIG/MAG com arame adicional**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2014.

MOTTA, M. F. **Aplicação do processo MIG/MAG pulsado com duplo arame e potenciais isolados em soldagens de revestimento**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MURUGAN, N.; PARMAR, R. S. Stainless steel Cladding deposited by automatic gas metal arc welding. **Welding Journal**. v. 76, p. 391-403. 1997.

OTERO, R. L. S. **Potencialidade do uso de formulações de óleo de soja epoxidado e éster metílico de ácido graxo como fluidos de resfriamento no tratamento térmico de têmpera de aços**. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

PESSOA, A. R. P. *et al.* Influência do uso do tecimento na geometria e na diluição dos cordões de solda realizados com o processo MIG/MAG com transferência metálica por curto-circuito empregando o eletrodo AWS ERNiCrMo-3. *In: VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA. Anais [...]*, Campina Grande, 18 de agosto a 21 de agosto de 2010. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/61346/1/2010_eve_arppessoa.pdf Acesso em: 25 jun. 2022

PESSOA, E.F. **Estudo exploratório da soldagem MIG/MAG com duplo arame empregando corrente alternada**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

QUEIROZ, P. R. O. **Influência da energia de soldagem e do tecimento sobre a geometria do cordão de solda na soldagem de revestimento**. 2021. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2021.

RIBEIRO, P. P. G. et al. Influência dos parâmetros de soldagem GMAW e GMAW-CW sobre a diluição e relação reforço/largura. *In: 67º CONGRESSO DA ABM – INTERNATIONAL. Anais [...]* Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <https://abmproceedings.com.br/ptbr/article/influncia-dos-parmetros-de-soldagem-gmaw-egmaw-cw-sobre-a-diluiio-e-relaoreforolargura>. Acesso em: 4 out. 2022.

RIBEIRO, R. A. *et al.* Predicting weld bead geometry in the novel CW-GMAW process. **Weld Journal**. v. 94, n. 9, p. 301–311, 2015.

RIBEIRO, R. A. *et al.* Application of cold wire gas metal arc welding for narrow gap welding (NGW) of high strength low alloy steel. **Materials (Basel)**, v. 12, n. 3, 12 p., jan. 2019a.

RIBEIRO, R. A. *et al.* An overview on the cold wire pulsed gas metal arc welding. **Weld Journal**. v. 64, p. 123-140, 2019b.

SÁBIO, A. D. **Estudo da viabilidade operacional do processo de soldagem MAG com alimentação adicional de arame frio**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

SCHAEFFER, C. M. **Adequação do procedimento de soldagem por arco submerso para o revestimento com arame o Inconel 625**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecatrônica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2017.

SILVA, E. F. *et al.* Power quality analysis of Gas Metal Arc Welding process operating under different drop transfer modes. **The Renewable Energy & Power Quality Journal**, v. 1, n. 9, p. 362-368, maio. 2011.

SILVA, F. G.; FERRARESI, V. A.; BRAGA, E. M. Adequação do processo de soldagem MIG/MAG com adição de arame frio (MIG/MAG-AF) pela técnica de oscilação da tocha na qualidade de revestimentos. *In: VII CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA. Anais [...]* São Luís, 31 de julho a 03 de agosto de 2012. Disponível em: <https://www.abcm.org.br/anais/conem/2012/PDF/CONEM2012-0400.pdf>. Acesso em: 14 set. 2022.

TASALLOTI, H.; KAH, P.; MARTIKAINEN, J. Effects of welding wire and torch weaving on GMAW of S355MC and AISI 304L dissimilar welds. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology** v. 71, p. 197-205, 2014.

WAINER, E.; BRANDI, S.D.; MELLO, F. D. H. **Soldagem: Processos e Metalurgia**. São Paulo: Blucher Ltda, 2004.

WU, D. *et al.* Influences of weaving parameters on dynamic characteristics and stability controle of the droplet transfer in arc-weaving P-GMAW. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 119, p. 5233-5250. 2021.