

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Soldagem

Dielson Rafael Lima da Silva

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ARAME SÓLIDO (ER70 - S6) E ARAME
TUBULAR METAL - CORED (E70C - 6M) UTILIZANDO PROCESSO DE
SOLDAGEM GMAW - CURTO - CIRCUITO CONTROLADO E GMAW - PULSADO**

Belo Horizonte
2025

Dielson Rafael Lima da Silva

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ARAME SÓLIDO (ER70 - S6) E ARAME
TUBULAR METAL - CORED (E70C - 6M) UTILIZANDO PROCESSO DE
SOLDAGEM GMAW - CURTO - CIRCUITO CONTROLADO E GMAW - PULSADO**

Monografia de especialização apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Soldagem da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Tecnologia e Qualificação em Soldagem.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Queiroz Bracarense

Belo Horizonte
2025

S586e

Silva, Dielson Rafael Lima da.

Estudo comparativo entre arame sólido (ER70 - S6) e arame tubular metal-cored (E70C - 6M) utilizando processo de soldagem GMAW - curto-circuito controlado e GMAW - pulsado [recurso eletrônico] / Dielson Rafael Lima da Silva. - 2025.
1 recurso online (32 f.: il., color.) : pdf.

Orientador: Alexandre Queiroz Bracarense.

“Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia da Soldagem da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais”

Inclui bibliografia.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Soldagem. 2. Arame. 3. Processo de fabricação. 4. Curto-circuitos.
I. Bracarense, Alexandre Queiroz, 1959-. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 621.791



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica
Programa de Pós-Graduação
Curso de Especialização em Soldagem



ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

No dia 04 de dezembro, às 09h30min, a Comissão Examinadora se reuniu remotamente para avaliar o trabalho:

Título: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ARAME SÓLIDO (ER70 - S6) E ARAME TUBULAR METAL - CORED (E70C - 6M) UTILIZANDO PROCESSO DE SOLDAGEM GMAW - CURTO - CIRCUITO CONTROLADO E GMAW - PULSADO

Nome Completo Aluno: Dielson Rafael Lima da Silva
Nº da Matrícula na UFMG: 2024672005

Local: Remotamente via plataforma "TEAMS".

Parecer:

A Comissão Examinadora, após a apresentação pelo (a) candidato (a) durante 30 minutos e após ter argüido o(a) candidato(a) por 40 minutos, é de parecer **FAVORÁVEL** à aprovação do trabalho de monografia com a nota final de **90** e **SEM** sugestões de modificação.

Sugere-se o prazo de 30 dias para efetuar-se as modificações sugeridas com revisão final acompanhada e homologada pelo orientador **Alexandre Queiroz Bracarense**

Assinaturas:

Documento assinado digitalmente
ALEXANDRE QUEIROZ BRACARENSE
Data: 16/01/2026 14:14:33-0300
Verifique em <https://validar.jti.gov.br>

Alexandre Queiroz Bracarense
Universidade Federal de Minas Gerais

Documento assinado digitalmente
DIELSON RAFAEL LIMA DA SILVA
Data: 16/01/2026 14:53:40-0300
Verifique em <https://validar.jti.gov.br>

Inserir nome do aluno: Dielson Rafael Lima da Silva
Inserir CPF do aluno: 372.375.708-11

AGRADECIMENTOS

Agradeço a empresa Alumaq, em especial ao Diretor Comercial Edilson Lavorini pelo apoio no fornecimento de equipamento carro de soldagem para realização dos testes. Agradeço o Laboratório de Ensaios Ética Empreendimentos Tecnológicos pela realização dos ensaios experimentais. Em especial a Gerente Técnica Amarilis Dalmazo e aos Diretores da empresa Suasolda Maurício Pires de Moraes e Rai Borges. Agradeço a ITW Welding do Brasil, pela cooperação para a realização deste curso de Pós-graduação, especialmente ao Gerente Técnico/Comercial André Luis Sutti e ao GM LATAM ITW Welding, João Paulo Surian. Agradeço a Deus pela oportunidade de capacitação e desenvolvimento profissional e pessoal ao longo dos anos.

Muito obrigado!

RESUMO

A soldagem com arame sólido (ER70S-6) atualmente é utilizada na soldagem em função de sua aplicação apresentar relativamente fácil assimilação, simplicidade, repetibilidade, além de atribuir o baixo custo inicial ao processo de soldagem. Arames metal-cored (E70C-6M) podem contribuir para aumento de taxa de deposição e qualidade de soldagem em passes de soldagem em curto-circuito controlado e pulsado envolvendo a mesma aplicação. Embora o custo do arame metal-cored inicialmente seja maior, deve-se observar o benefício de qualidade apresentado por este consumível e as condições para o aumento da taxa de deposição, fatores esses que podem gerar ganhos para o processo produtivo. Em algumas situações o índice de retrabalho existente ocorre em função da dificuldade de aplicação do arame sólido (ER70-S6) que poderá afetar a qualidade da soldagem. Será possível extrair informações e comparativos sobre a qualidade final da soldagem no estudo proposto, pela observação dos resultados laboratoriais comparando os dois arames, especialmente em processos de soldagem de curto-circuito controlado, usado para passes de raiz e pulsado em passes de soldagem de enchimento e acabamento. O estudo comparativo realizado envolvendo experimento prático utilizando equipamentos, processos e variáveis de soldagem aplicados a corpos de prova contribuíram com esse artigo para uma compreensão mais apurada, explorando evidências técnicas sobre as opções de arames de soldagem mencionados e os resultados de análises metalográficas para melhor entendimento sobre os resultados obtidos de soldagem.

Palavras-chave: arame sólido; metal-cored; gmaw; curto-circuito controlado; pulsado; parâmetros de soldagem.

ABSTRACT

Solid wire welding (ER70S-6) is currently used in welding due to its easy assimilation, simplicity, repeatability, and low initial cost. Metal-cored wires (E70C-6M) can contribute to increased deposition rate and weld quality in controlled short-circuit and pulsed welding passes involving the same application. Although the initial cost of metal-cored wire is higher, the quality benefit offered by this consumable and the conditions for increasing the deposition rate should be considered, factors that can generate gains for the production process. In some situations, the existing rework rate occurs due to the difficulty of applying the solid wire (ER70S-6), which may affect the weld quality. It will be possible to extract information and comparisons about the final weld quality in the proposed study, by observing the laboratory results comparing the two wires, especially in controlled short-circuit welding processes, used for root passes, and pulsed welding in filler and finishing passes. The comparative study conducted, involving practical experiments using welding equipment, processes, and variables applied to test specimens, contributed to a more accurate understanding of this article. It explored technical evidence regarding the welding wire options mentioned and the results of metallographic analyses to better understand the welding results obtained.

Keywords: solid wire; metal-cored; gmaw; short-circuit controlled; pulsed; welding parameters.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Aspecto geométrico do cordão de Soldagem - Arame sólido (A, C) Arame Tubular (B, D).....	13
Figura 2 - Taxa de Deposição - Arame Sólido e Arame Tubular. Adaptado.	13
Figura 3 - Corpos de Prova Consumível ER70S-6 (A), E70C-6M (B), Croqui da junta de soldagem (C).	16
Figura 4 - Localização para retiradas dos corpos de prova.	18
Figura 5 - Ensaio Líquido Penetrante (A e B) Ensaio Visual (C e D) Ensaio Ultrassom (E).	21
Figura 6 - Ensaio Dobramento Lateral - Resultados - Arame Sólido - Corpo de prova ensaiado (A) Arame Metal Cored Corpo de prova ensaiado (B).....	21
Figura 7 - Ensaio de Tração - Resultados - Arame Sólido - Preparação corpo de prova (A), Corpo de prova ensaiado (B) Arame Metal-Cored - Preparação corpo de prova, (C) - Corpo de prova ensaiado (D).....	22
Figura 8 - Resultados - Energia de soldagem (A) Ensaio de Impacto - Valor Individual CP1, CP2, CP3 (B).	23
Figura 9 - Ensaio Impacto - Resultados - Arame Sólido - Corpo de prova ensaiado (A) Arame Metal-Cored Corpo de prova ensaiado (B).....	23
Figura 10 - Ensaio Macrográfico - Resultado - Arame Sólido - Corpo de prova soldado (A), amostra passe múltiplo (B), amostra passe simples(C) Arame Metal-Cored - Corpo de prova soldado (D), amostra passe múltiplo (E), amostra passe simples (F).....	24
Figura 11- Ensaio Dureza - Resultado - Arame Sólido - Corpo de prova (A) Arame Metal-Cored Corpo de prova (B).	25
Figura 12 - Ensaio Dureza - Resultado - Localização, número de medições - Croqui esquemático.	25
Figura 13 - Ensaio de Dureza - Resultado - Perfil do Gráfico de Dureza Indentações em Diferentes Regiões da Junta de Soldagem.....	25
Figura 14 - Ensaio Micrografia - Resultado - Arame Sólido - Corpo de prova (A) Arame Metal-Cored Corpo de prova (B).	26
Figura 15 - Taxa de Deposição - Resultados.....	27
Figura 16 - Rendimento Depositado - Resultados.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição Química do Metal de Base e do Consumível	15
Tabela 2 - Composição Química ER70S-6.....	16
Tabela 3 - Composição Química E70C-6M.	16
Tabela 4 - Parâmetros de Soldagem.	17
Tabela 5 - Ensaio Dobramento - Quantidades, Dimensão e Ângulo de Dobra.	18
Tabela 6 - Ensaio Tração - Quantidade, Dimensão, Área e Temperatura.....	18
Tabela 7 - Ensaio Impacto - Valor Médio, Quantidade, Dimensão.	19
Tabela 8 - Ensaio Tração - Resultados	22
Tabela 9 - Ensaio de Impacto - Resultados	23

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTM	American Society for Testing and Materials - Sociedade Americana para Testes e Materiais.
AWS	American Welding Society - Sociedade Americana de Soldagem.
CC+	Corrente contínua com polaridade inversa.
CO ₂	Dióxido de Carbono
CP-1	Corpo de Prova 1.
CP-2	Corpo de Prova 2.
CV	Constant Voltage - Tensão Constante.
η _d	Rendimento de deposição
FCAW	Flux Cored Arc Welding - Soldagem a Arco com Eletrodo Tubular.
GMAW	Gas Metal Arc Welding - Soldagem a Arco com Eletrodo Sólido.
GTAW	Gas Tungsten Arc Welding - Soldagem a Arco com Eletrodo de Tungstênio.
MS	Metal de Solda
PAW	Plasma Arc Welding - Soldagem por arco plasma.
T _d	Taxa de deposição
T _f	Taxa de fusão
ZAC	Zona Afetada pelo Calor

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	21
3.1. Ensaio de Líquido Penetrante, Visual e Ultrassom.	21
3.2. Ensaio de Dobramento.....	21
3.3. Ensaio de Tração.	22
3.4. Ensaio de Impacto.	22
3.5. Ensaio Macrográfico.....	24
3.6. Ensaio de Dureza.	24
3.7. Taxa de Deposição.....	26
3.8. Rendimento Depositado.	27
4. CONCLUSÃO.....	29
5. REFERÊNCIAS.....	30
6. RESPONSABILIDADE AUTORAL.....	31



CNES 2025-2005 (ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ARAME SÓLIDO (ER70 - S6) E ARAME TUBULAR METAL - CORED (E70C - 6M) UTILIZANDO PROCESSO DE SOLDAGEM GMAW - CURTO - CIRCUITO CONTROLADO E GMAW - PULSADO

Autor: DIELSON RAFAEL LIMA DA SILVA - dielson.silva@ufmg.com.br

Orientador: ALEXANDRE QUEIROZ BRACARENSE - bracarense@mbweldworks.com

Resumo: A soldagem com arame sólido (ER70S-6) atualmente é utilizada na soldagem em função de sua aplicação apresentar relativamente fácil assimilação, simplicidade, repetibilidade, além de atribuir o baixo custo inicial ao processo de soldagem. Arames metal cored (E70C-6M) podem contribuir para aumento de taxa de deposição e qualidade de soldagem em passes de soldagem em curto-circuito controlado e pulsado envolvendo a mesma aplicação. Embora o custo do arame metal-cored inicialmente seja maior, deve-se observar o benefício de qualidade apresentado por este consumível e as condições para o aumento da taxa de deposição, fatores esses que podem gerar ganhos para o processo produtivo. Em algumas situações o índice de retrabalho existente ocorre em função da dificuldade de aplicação do arame sólido (ER70-S6) que poderá afetar a qualidade da soldagem. Será possível extrair informações e comparativos sobre a qualidade final da soldagem no estudo proposto, pela observação dos resultados laboratoriais comparando os dois arames, especialmente em processos de soldagem de curto-circuito controlado, usado para passes de raiz e pulsado em passes de soldagem de enchimento e acabamento. O estudo comparativo realizado envolvendo experimento prático utilizando equipamentos, processos e variáveis de soldagem aplicados a corpos de prova contribuíram com esse artigo para uma compreensão mais apurada, explorando evidências técnicas sobre as opções de arames de soldagem mencionados e os resultados de análises metalográficas para melhor entendimento sobre os resultados obtidos de soldagem.

Palavras-chave: arame sólido; metal-cored; gmaw; curto-circuito controlado; pulsado; parâmetros de soldagem.

1. INTRODUÇÃO.

A soldagem é uma área da engenharia que vem evoluindo ao longo dos anos. Utilizada para união de matérias similares ou dissimilares, trata-se de uma forma de união onde ocorre a coalescência dos materiais, sendo este procedimento realizado de forma permanente. Leva-se em conta o tipo de material de base, material de adição, tipo de junta, espessuras dos materiais

a serem unidos entre outros aspectos que tornam a soldagem uma verdadeira arte que envolve o entendimento multidisciplinar de outras áreas da ciência (Marques et al. (2005) e (Qutes (2002))).

A soldagem é um processo de fabricação considerada especial, onde durante a sua operação que envolve o calor localizado, ocorre o processo de coalescência, isso pode envolver ou não a aplicação de pressão e metal de adição (Marques et al. (2005) e (Qutes (2002))).

Na soldagem por meio do arco elétrico ocorrem fenômenos físico-químicos que influenciam diretamente os resultados obtidos em um procedimento de soldagem, bem como as variáveis envolvidas neste processo podem ser responsáveis por esses resultados. Sendo assim, o procedimento de soldagem visa atender um objetivo específico, ou seja, a união permanente de materiais para uma finalidade como as requeridas nos diversos setores da industrial civil, naval aeronáutica, espacial entre outras. Pode-se entender dessa forma a procura contínua pelo processo de soldagem, levando em consideração seus benefícios e limitações, que melhor se enquadrem, de acordo com a necessidade do produto a ser produzido - American Welding Society (AWS (2016)).

O processo de soldagem Gas Metal Arc Welding (GMAW) e Flux Cored Arc Welding (FCAW) utilizam um sistema integrado de fonte de alimentação, alimentador de arame, tocha de soldagem, gás de proteção com misturas de gases (inerte ou ativo). A curva característica normalmente é de tensão constante (CV) corrente contínua com polaridade inversa (CC+) para a maioria das aplicações em GMAW (AWS (2016), Barbedo (2011) e Marques (2005)).

A AWS A 5.18 (2005)) determina os requerimentos para a classificação de eletrodos sólidos ou compostos (aramé tubular com núcleo metálico metal-cored) e varetas para os processos Gas Metal Arc Welding (GMAW), Gas Tungsten Arc Welding (GTAW), Plasma Arc Welding (PAW) na soldagem de aço carbono. De acordo com (Moreira (2008)), o arame sólido possui um aspecto maciço, ocasionalmente poderá possuir uma fina camada de cobre como revestimento que o protege de efeito de oxidação. São aplicados nos mais diversos cenários como soldagem de aço carbono, baixa liga, aços inoxidáveis. Apresenta a formação de escória vítrea em função do gás de proteção utilizado no processo.

A geometria do cordão de soldagem, conforme Figura 1, apresenta diferenças entre arame sólido e tubular, onde a soldagem realizada com arame tubular possui o perfil de penetração mais largo, excelente penetração e aparência de cordão lisa. Em contrapartida a soldagem realizada arame sólido apresenta perfil estreito, com alta penetração, tipo dediforme, com menor tolerância a erros (Araújo (2004) e Widgery (1994)).

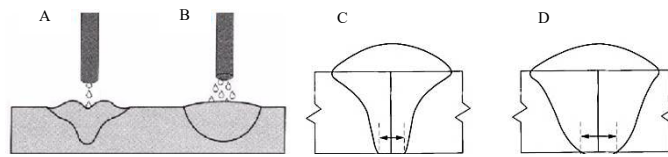


Figura 1 - Aspecto geométrico do cordão de Soldagem - Arame sólido (A, C) | Arame Tubular (B, D).

Segundo (Widgery (1994)), trabalhando com equipamentos de soldagem convencionais, quanto maior a corrente de soldagem, maior será a taxa da de deposição envolvida no processo, conforme ilustrado na Figura 2. Com o desenvolvimento do arame metal-cored foi apresentada uma alternativa em substituição ao arame sólido. No arame metal-cored, existe o fluxo metálico em seu interior, que gera maior facilidade de se obter a fusão durante a soldagem isso atribui a este tipo de arame melhor aparência do cordão de soldagem e alta taxa de deposição, especialmente trabalhando nas posições plana e horizontal. Estes aspectos, atribuem ao arame metal-cored outras vantagens, pois com a sua aplicação, problemas típicos como falta de fusão, falta de penetração lateral, respingos e morfologia típica do arame sólido podem ser contornadas.

Na soldagem com arame metal-cored a limpeza se torna um aspecto diferencial neste tipo de arame, pois a escória vítrea se forma em pequenas ilhas, sendo a sua remoção realizada facilmente. Sobre aspectos de emissão de fumos pode-se ter uma redução no índice de emissão de fumos que beneficia diretamente as pessoas envolvidas no processo de soldagem. Outro ponto importante nos arames tubulares metal-cored se trata da menor possibilidade de ocorrências de porosidades. A formulação dos arames metal-cored estão se desenvolvendo e com avanço tecnológico podem ser encontrados baixos valores de hidrogênio difusível (Barhorst (2000), Barra (2003) e Lyttle (1996)).

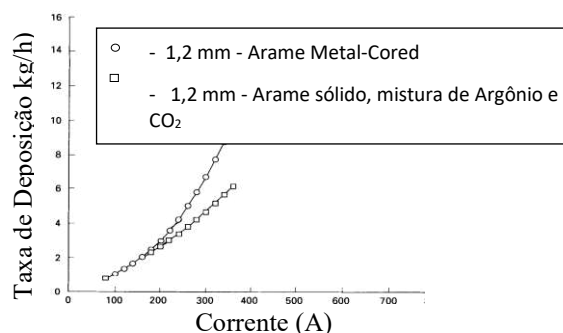


Figura 2 - Taxa de Deposição - Arame Sólido e Arame Tubular. Adaptado.

No entanto, para o cenário de aplicação os soldadores poderão experimentar uma certa diferença na operação de soldagem, devido a utilização de maior porcentagem de Argônio na composição do gás de soldagem, ocasionando a maior geração de radiação ultravioleta quando comparado a aplicações que utilizam o dióxido de carbono (CO₂) puro, comumente aplicado ao arame sólido, especialmente quando requerido maior penetração de soldagem (Lyttle (1996)).

Os principais modos de transferência são: Curto-circuito, globular spray e pulsado. De acordo com o (Barbedo (2011)), as variáveis que influenciam os tipos de transferência metálica

obtida dependem do tipo e intensidade de corrente de soldagem, gás de proteção, diâmetro do arame e a composição química correspondente.

De acordo com (Quites (2002)), ao se soldar com modo de transferência por curto-circuito, a transferência de metal ocorre quando o arame entra em contato com a poça de fusão, e não a transferência de material pelo arco elétrico. Dessa forma a soldagem ocorre em chapas finas de menor espessura devido aos valores baixos de corrente e tensão aplicados, no modo curto-circuito é possível a soldagem em todas as posições (Barhorst (2000), Quites (2002) e Scotti (2014)).

A soldagem pelo modo pulsado é o modo de transferência controlada via software com base em diferentes níveis de corrente de soldagem, utilizando a corrente pulsada. Algumas vantagens podem ser obtidas nesse processo como a sua utilização em chapas finas e a soldagem em todas as posições. O Pulsado atua com níveis de correntes distintos, denominado corrente de pico - acima da corrente de transição, atuando com intervalo chamado de (tempo de pico) e corrente de base – abaixo da corrente de transição, atuando com o intervalo chamado de (tempo de base). Isso caracteriza o processo pulsado com uma corrente de soldagem. Ao sobrepor a corrente de pico ocorre o desprendimento da gota formada na ponta do arame. O diâmetro da gota e do arame possuem basicamente a mesma dimensão (Barbedo (2011) e Barra (2003)).

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo fornecer informações sobre o aspecto de comparação, bem como os resultados obtidos por meio de ensaios destrutivos e não destrutivos que visam demonstrar o comportamento obtidos das diferentes juntas de soldagem realizados por ambos os processos de soldagem com arame sólido e com arame metal-cored por meio dos processos de soldagem de curto-circuito controlado e pulsado.

2. MATERIAIS E MÉTODOS.

Para realização do trabalho, foram soldados 2 corpos de prova de aço carbono da American Society for Testing and Materials (ASTM A36 (2003)), com 25 mm de espessura, para submissão a ensaios laboratoriais. O processo de soldagem utilizado foi o GMAW com aplicação de curto-circuito controlado para passe de raiz como avaliação preliminar de soldagem e pulsado para passes de enchimento e acabamento, soldados com fonte de soldagem do tipo inversor de frequência. O consumível de soldagem aplicado para o corpo de prova 1 (CP-1), foi o ER70-S6 e para o corpo de prova 2 (CP-2) foi o E70C-6M, ambos com diâmetro de arame de 1,2 mm, de acordo com a especificação (AWS A5.18 (2005)).

O gás de proteção utilizado para ambos os corpos de prova foi o mesmo, mistura M20ArC15 de acordo com a norma (AWS D1.1 (2020)).

Foram utilizados como referência a norma (AWS D1.1 (2020)), bem como a leitura de artigos científicos, livros, material didático, trabalhos de conclusão de curso.

As informações pertinentes ao procedimento de soldagem GMAW curto-circuito controlado e pulsado, realizados foram mencionadas acima neste artigo com as premissas apresentadas.

O Material base aplicado para os testes trata-se do aço (ASTM A36 (2003)). Aço típico de aplicações industriais, onde se requer considerável resistência mecânica, este aço é comumente utilizado em aplicações como, pontes, construções mecânicas, setores agrícolas, ferroviário, construção entre outros.

A especificação do (ASTM A36 (2003)), possui valores de resistência mecânica tipicamente conforme a ilustração na Tabela 1.

Tabela 1- Composição Química do Metal de Base e do Consumível

Composição Química		
	Fornecedor - Material Base	ASTM A36
Carbono - C (%)	0,09	0,25
Silício - Si (%)	0,34	0,15 - 0,40
Manganês -Mn (%)	1,53	0,80 - 1,20
Fósforo - P (%)	0,016	0,04
Enxofre - S (%)	0,003	0,05
Propriedades Mecânicas		
Limite de Escoamento (MPa)	250	
Limite de Resistência a Tração (MPa)	400 - 550	
Escoamento %	23	

A Para o desenvolvimento do comparativo foi utilizado o arame sólido da classificação (AWS 5.18 (2005)) - ER70S-6 e arame meta-cored (AWS A5.18 (2005)) - E70C-6M. Ambos os arames utilizados com o diâmetro de 1,2 mm.

Os valores típicos de composição química e propriedades mecânicas apresentados pelo consumível ER70S-6 de acordo com a (AWS A5.18 (2005)) estão ilustrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição Química ER70S-6.

Composição Química		
Elemento Químico (%)	Fornecedor - Consumível de soldagem	AWS A5.18
Carbono - C (%)	0,10	0.06 - 0.15
Manganês - Mn (%)	1,43	1.40 - 1.85
Silício - Si (%)	0,83	0.80 - 1.15
Fósforo - P (%)	0,007	0.025 máx.
Enxofre - S (%)	0,005	0.035 máx.
Cobre - Cu (%)	0,20	0.50 máx.
Propriedade Mecânicas		
Propriedades do material	100 % CO ₂	AWS A5.18
Resistência à Tração (MPa)	(607 MPa)	(480 MPa) Mínimo
Tensão de Escoamento (MPa)	(507 MPa)	(400 MPa) Mínimo
Alongamento (%) 50 mm	26%	22% Mínimo

Os valores típicos de composição química e propriedades mecânicas apresentados pelo consumível E70C-6M H4 de acordo com a (AWS A5.18 (2005)) estão ilustrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Composição Química E70C-6M.

Composição Química				
Elemento Químico (%)	75% Ar/25% CO ₂	90% Ar/10% CO ₂	95% Ar/5% CO ₂	AWS A5.18.
Carbono - C (%)	0,04	0,04	0,04	0,12
Manganês - Mn (%)	1,43	1,52	1,62	1,75
Silício - Si (%)	0,62	0,72	0,77	0,90
Fósforo - P (%)	0,009	0,010	0,011	0,030
Enxofre - S (%)	0,006	0,008	0,008	0,030
Propriedade Mecânicas				
Propriedades do material	75% Ar/25% CO ₂	90% Ar/10% CO ₂	95% Ar/5% CO ₂	AWS A5.18.
Resistência à Tração (MPa)	(586 MPa)	(600 MPa)	(634 MPa)	(480 MPa)
Tensão de Escoamento (MPa)	(503 MPa)	(517 MPa)	(558 MPa)	(400 MPa)
Alongamento (%) 50 mm	28%	28%	25 %	22% Mínimo

A preparação da junta de soldagem conforme apresentado na Figura 3, foi realizada com corte pelo processo de oxicorte, seguido de lixamento para remoção de carepas e imperfeições existentes na superfície das chapas. Após essa etapa os corpos de prova foram montados com abertura de 4 mm, face de nariz de 1,5 mm, ângulo de 60 graus. Foi aplicada pré-deformação de aproximadamente 5° graus antes da soldagem.

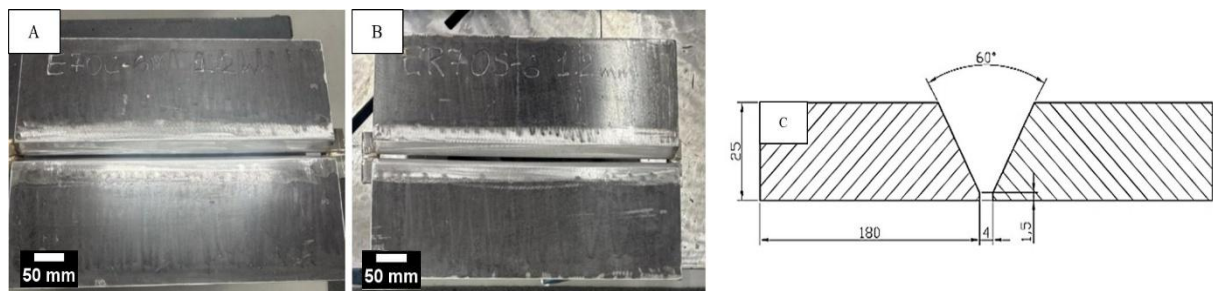


Figura 3 - Corpos de Prova Consumível ER70S-6 (A), E70C-6M (B), Croqui da junta de soldagem (C).

As variáveis de soldagem seguem conforme Tabela 4, de acordo com cada processo realizado. Foram soldados corpos de prova pelo processo GMAW - Passe de raiz com processo curto-circuito controlado como testes preliminares. Posteriormente, foi realizado o enchimento e acabamento com processo pulsado.

Tabela 4 - Parâmetros de Soldagem.

Chapa de Teste	Tipo de Processo	Região	Corrente (A)	Tensão (V)	Velocidade de Alimentação do arame (MPM)	Velocidade de Soldagem (cm/m)	Energia de Soldagem (kj/cm)
CP -1 AWS A5.18 ER70S-6 Ø1,20 mm	Semiautomático	Raiz	120 a 140	16 a 18	3,30	10,64	1,25
	Mecanizado	Raiz – Lado Oposto	230	25,3	9,30	38	3,43
	Mecanizado	Enchimento/ Acabamento	230 a 250	25 a 27	9,00 a 9,50	38	3,50
	Quantidade de passes	16 passes de soldagem + 1 passe lado oposto					
Chapa de Teste	Tipo de Processo GMAW	Região	Corrente (A)	Tensão (V)	Velocidade de Alimentação do arame (MPM)	Velocidade de Soldagem (cm/m)	Energia de Soldagem (kj/cm)
CP-2 AWS A5.18 E70C-6M Ø1,20 mm	Semiautomático	Raiz	130 a 150	16 a 18	3,30	11,5	1,33
	Mecanizado	Raiz - Lado Oposto	250	25,4	9,30	38	3,85
	Mecanizado	Enchimento/ Acabamento	230 a 250	25 a 27	9,00 a 9,50	40	3,54
	Quantidade de passes	17 passes de soldagem + 1 passe lado oposto					

Após a soldagem dos corpos de prova, foi realizado a inspeção visual, inspeção com líquido penetrante, a fim de evidenciar possíveis problemas de soldagem. Foi realizada a remoção de defeitos na raiz de soldagem, com abertura de canal de 4 mm aproximadamente de profundidade do lado oposto da junta para a realização da contra solda.

Após a verificação sobre a presença de defeitos visuais, foi realizado a limpeza, remoção de respingos, escovamento e preparação para realização do ensaio de ultrassom nos corpos de prova soldados, com objetivo de identificar possíveis descontinuidades de soldagem. Desta forma foi realizado o mapeamento da junta de soldagem, certificando-se que os corpos de prova dos ensaios mecânicos não fossem retirados em regiões com possíveis descontinuidades de soldagem.

Os corpos de prova soldados foram levados para o laboratório de ensaios mecânicos, onde foram realizados os testes de tração, dobramento lateral, impacto, dureza, metalografia. Foram soldados corpos de prova para análise de amostras com passes de soldagem múltiplos e simples em aço carbono (ASTM A36 (2003)) para ensaios metalográficos. As dimensões e localização

dos corpos de prova - Figura 4, segue a recomendação de acordo com a norma (AWS D1.1 (2020)).



Figura 4 - Localização para retiradas dos corpos de prova.

O ensaio de dobramento foi realizado em temperatura ambiente de 23°C, umidade controlada em máquina universal de dobramento, utilizando os seguintes dados informados na Tabela 6. O dobramento da lateral deve ser realizado apoiando a amostra sobre roletes com a aplicação de uma carga contínua até o ângulo pré-determinado com o intuito de se realizar a inspeção visual da amostra após o ensaio e verificando assim ductilidade de região soldada.

Tabela 5 - Ensaio Dobramento - Quantidades, Dimensão e Ângulo de Dobra.

Chapa de Teste	Tipo	Dobramento	Dobramento
CP -1	Corpo de Prova N°	1	2
AWS A5.18 ER70S-6 Ø1,20 mm	Dimensão (mm)	25,00 x 40,00 x 350,00	
	Ângulo de dobra (°)	180,00	
	Dimensão do cutelo (mm)	50,80	
CP-2 AWS A5.18 E70C-6M Ø1,20 mm	Distância entre roletes (mm)	73,00	
	Temperatura ambiente	23° C	

O ensaio de tração transversal foi realizado em equipamento universal de ensaios a temperatura ambiente com capacidade de 40 toneladas, de modo a obter os valores de limite de resistência a tração da junta de soldagem. Foram retirados 02 corpos de prova de tração de cada corpo de prova soldado (Tração 1 e Tração 2), utilizando os seguintes dados informados na Tabela 6.

Tabela 6 - Ensaio Tração - Quantidade, Dimensão, Área e Temperatura

Chapa de Teste	Tipo	Tração	Tração
CP -1	Corpo de Prova N°	1	2
AWS A5.18 ER70S-6 -Ø 1,20 mm	Área (mm ²)	465,50	
	Dimensão (mm)	24,50 X 19,00	
AWS A5.18 E70C-6M -Ø 1,20 mm	Temperatura ensaio	23°C	

Os ensaios de impacto foram realizados em temperatura ambiente de 23°C, umidade controlada em máquina universal de impacto. Os corpos de prova foram retirados na região do metal de solda a 2 mm da superfície. Os dados utilizados estão mencionados na Tabela 7 para verificação e avaliação da tenacidade da junta de soldagem.

Tabela 7 - Ensaio Impacto - Valor Médio, Quantidade, Dimensão.

Chapa de Teste	Localização	Metal de Solda (MS)(J)	Metal de Solda (MS)(J)	Metal de Solda (MS)(J)	Metal de Solda (MS)(J)
CP -1 AWS A5.18 ER70S-6 - Ø 1,20 mm	Corpo de Prova N°	1	2	3	4
CP- 2 AWS A5.18 E70C- 6M - Ø1,20 mm	Dimensão (mm)	10,00 x 10,00 x 55,00			

Para realização do ensaio metalográfico os corpos de prova foram lixados com a utilização de lixas d'água com granulação entre 120 e 600. O ataque químico utilizado foi a solução de nital 10%. Para a realização da caracterização macroestrutural foi utilizado o microscópio óptico, com o objetivo de identificar possíveis defeitos presentes de soldagem como falta de fusão, mordeduras, e quaisquer outros tipos de descontinuidades. Foram retiradas uma amostra dos corpos de prova soldados, uma amostra de passe múltiplo e uma amostra de passe simples realizado em chapas de aço carbono (ASTM A36 (2003)). Para realização da caracterização microestrutural foi realizado o mesmo procedimento com a utilização de lixas d'água entre 120 e 600, seguido de polimento com pasta de diamante, com ataque com 2% de nital, para observar as microestruturas formadas, utilizando aumento de 200 vezes na zona fundida dos corpos de prova.

Para a realização dos ensaios de dureza Vickers (HV), foram utilizadas as amostras dos ensaios macrográficos. Foram realizadas 15 medições em cada corpo de prova, com 3 pontos distribuídos no metal de base, na zona termicamente afetada e na zona fundida com HV10 kgf.

A caracterização microestrutural foi realizada com o objetivo de identificação das microestruturas formadas em diferentes regiões de zona fundida. Os corpos de prova para ensaios metalográficos foram ensaiados e preparados de acordo com a norma (AWS D1.1 (2020)).

Para realização dos testes sobre taxa de fusão, taxa de deposição (Td) e rendimento de deposição (η_d) foram realizados testes preliminares, foram utilizadas as seguintes Equações (1), (2) e (3). Os parâmetros de soldagem aplicados foram semelhantes aos adotados nas etapas de enchimento dos corpos de prova, utilizando-se o processo de soldagem pulsado em chapas de aço (ASTM A36 (2003)), conforme valores expressos na Tabela 4.

A taxa de deposição é a quantidade de material depositado na soldagem em (kg) por unidade de tempo (h).

$$Td = \frac{Mf - Mi}{t} \quad [kg/h] \quad (1)$$

Onde:

Td = Taxa de deposição

Mf = Massa final da chapa [kg]

Mi = Massa inicial da chapa [kg]

t = Tempo de arco aberto [h]

A taxa de fusão (Tf) é a quantidade de material que fundido em (kg) por unidade de tempo (h).

$$Tf = \frac{mf - mi}{t} \quad [kg/h] \quad (2)$$

Onde:

Tf = Taxa de fusão

mf = Massa final da bobina [kg]

mi = Massa inicial da bobina [kg]

t = Tempo de arco aberto [h]

O rendimento de um determinado arame de soldagem pode ser encontrado de acordo com a Equação (3), onde se estabelece a relação entre taxa de fusão e taxa de deposição. Esses valores são importantes para efeito de estimativa sobre a produtividade do processo de soldagem utilizado.

$$\eta_d = \frac{TD}{TF} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3)$$

Onde:

η_d - Rendimento de deposição (%).

TD – Taxa de Deposição [kg].

TF – Taxa de Fusão [kg].

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.

3.1. Ensaio de Líquido Penetrante, Visual e Ultrassom.

Após a soldagem dos corpos de prova, foi realizado o ensaio de líquido penetrante no passe de raiz para avaliação sobre a presença de descontinuidades, Figura 5(A). Os corpos de prova soldados com arame sólido e metal-cored apresentaram indicações ao longo de seu comprimento, Figura 5(B). Foi realizado a abertura de um canal de aproximadamente 4 mm de profundidade na raiz de soldagem com a utilização de lixadeira, para remoção das descontinuidades do lado oposto da junta, para a realização da contra solda, Figura 5(C). Após novo ensaio de líquido penetrante realizado, as indicações foram eliminadas, Figura 5(D). Para a soldagem com arame sólido houve um maior número de indicações no ensaio de líquido

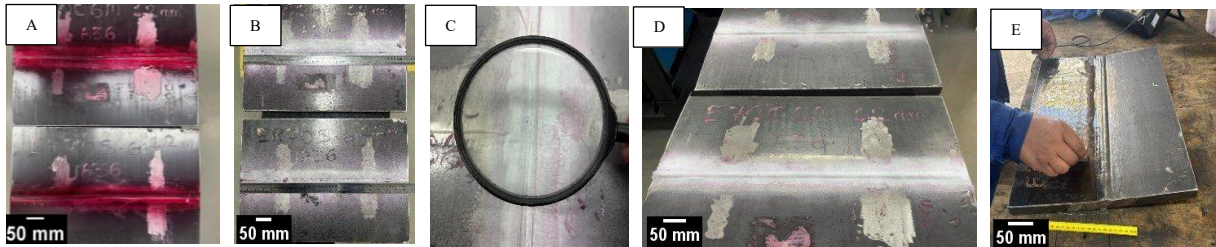


Figura 5 - Ensaio Líquido Penetrante (A e B) | Ensaio Visual (C e D) | Ensaio Ultrassom (E).

penetrante observadas em relação ao arame metal-cored. Esses resultados podem ser atrelados ao fato do arame sólido ER70S-6 ter a característica de penetração lateral inferior ao arame metal-cored E70C-6M, conforme mencionado anteriormente na literatura por (Barhorst (2000) e Widgery (1994)). Após a correção dos defeitos foi realizado o ensaio de ultrassom, onde não foram detectadas descontinuidades de soldagem nos corpos de prova após a finalização da soldagem, Figura 5(E).

3.2. Ensaio de Dobramento.

No resultado do ensaio de dobramento apresentado na Figura 6, observa-se que os corpos de prova não apresentaram fissura característica durante a realização dos ensaios. De acordo com a (AWS D1.1 (2020)) uma abertura de 3 mm sugere que os corpos de prova estariam reprovados, no entanto pode-se observar a ausência de defeitos após o ensaio realizado.

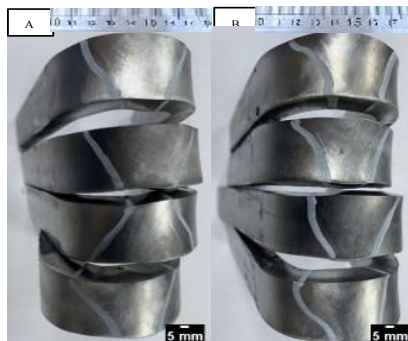


Figura 6 - Ensaio Dobramento Lateral - Resultados - Arame Sólido - Corpo de prova ensaiado (A) | Arame Metal Cored Corpo de prova ensaiado (B).

3.3. Ensaio de Tração.

O resultado de ensaio de tração apresenta como característica o rompimento no metal base, com fratura de aspecto dúctil, evidenciando a qualidade da junta de soldagem. A Tabela 8 informa os valores obtidos de limite de resistência a tração para ambos os corpos de prova soldados com arame sólido e metal-cored.

Chapa de Teste	Tipo	Tração	Tração
CP -1 AWS A5.18 ER70S-6 -Ø ,20 mm	Corpo de Prova N°	1	2
	Carga máxima (kgf)	28724,00	30515,00
	Resistência à tração (MPa)	605,12	620,07
	Média	612,59	
	Temperatura ensaio	23°C	
CP-2 AWS A5.18 E70C-6M -Ø1,20 mm	Corpo de Prova N	1	2
	Carga máxima (kgf)	28789,00	29605,00
	Resistência à tração (MPa)	606,49	606,36
	Média	606,46	
	Temperatura ensaio	23°C	

Pode se verificar que os valores de resistência a tração presentes do arame metal-cored comparados aos valores obtidos com arame sólido, são considerados próximos, apresentando valores superiores aos 480 MPa de acordo com especificação dos consumíveis em concordância com a (AWS D1.1 (2020)). A Figura 7 apresenta as amostras após os ensaios realizados.

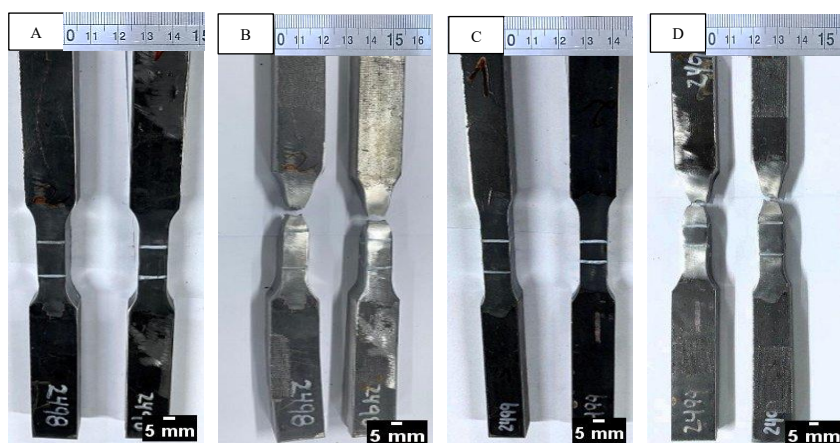


Figura 7 - Ensaio de Tração - Resultados - Arame Sólido - Preparação corpo de prova (A), Corpo de prova ensaiado (B) | Arame Metal-Cored - Preparação corpo de prova, (C) - Corpo de prova ensaiado (D).

3.4. Ensaio de Impacto.

O Figura 8 (A), apresenta a energia de soldagem aplicada para cada passe de soldagem. A média encontrada de energia de soldagem para o arame sólido foi de 3,5 (kJ/cm) e para o arame metal-cored foi de 3,6 (kJ/cm).

O resultado do ensaio de impacto pode ser observado conforme Figura 8 (B), onde se observa os valores de tenacidade ao impacto na zona fundida das amostras após os ensaios realizados.

A média encontrada de energia de tenacidade ao impacto absorvida para o arame sólido foi de 213,77 (J) e para o arame metal-cored foi de 125,84 (J).

Esse fato é condizente com o procedimento de soldagem realizado, onde para maior energia de soldagem aplicada, menor serão os valores de anergia de tenacidade ao impacto absorvida.

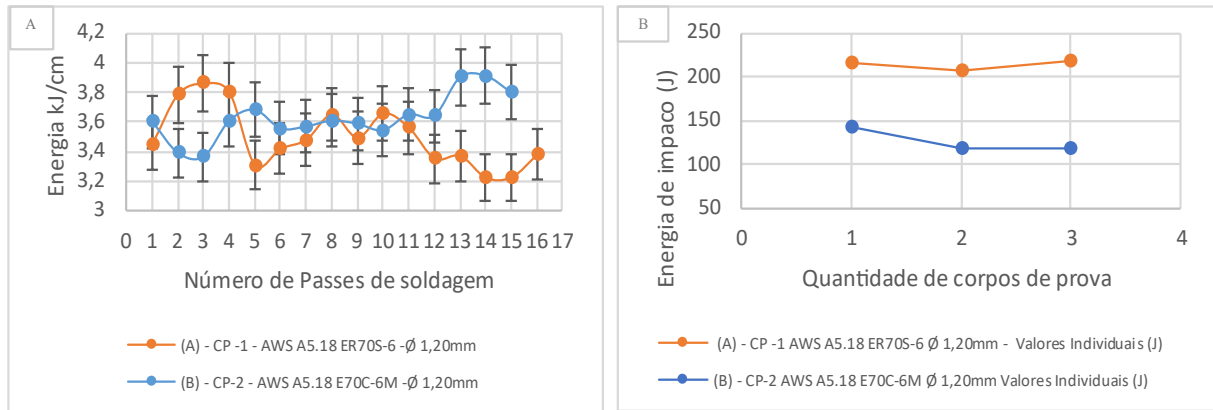


Figura 8 - Resultados - Energia de soldagem (A) | Ensaio de Impacto - Valor Individual CP1, CP2, CP3 (B).

Observa-se conforme a Figura 9, uma maior deformação do arame sólido em relação ao arame metal-cored, onde é notado o aspecto de fratura dúctil em ambos os corpos de prova ensaiados, apresentando valores superiores ao mínimo de 27 (J). A Tabela 9 apresenta informações sobre os resultados e a média de valores encontrados para os ensaios realizados. O objetivo da maioria dos requisitos de teste de impacto é fornecer alguma garantia de que o material não está em seu nível inferior de tenacidade de entalhe na temperatura de serviço da junta de acordo com a (AWS D1.1 (2020)).

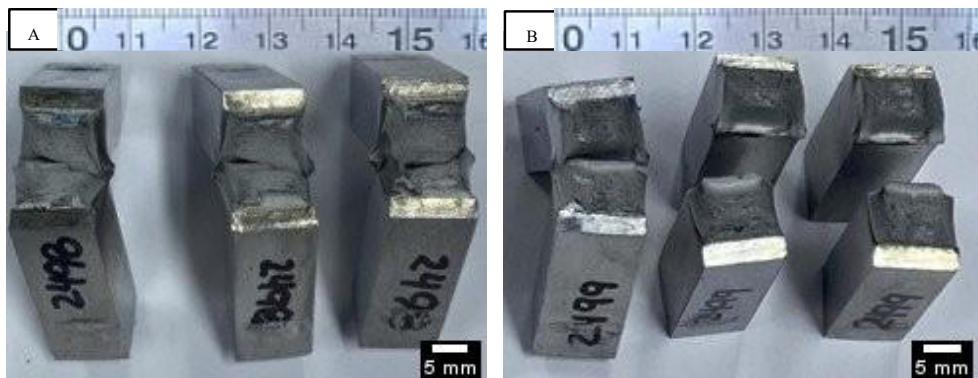


Figura 9 - Ensaio Impacto - Resultados - Arame Sólido - Corpo de prova ensaiado (A) | Arame Metal-Cored - Corpo de prova ensaiado (B).

Tabela 9 - Ensaio de Impacto - Resultados

Chapa de Teste	Localização	Metal de Solda (MS)(J)	Metal de Solda (MS)(J)	Metal de Solda (MS)(J)	Metal de Solda (MS)(J)
	Dimensão (mm)	10,00 x 10,00 x 55,00			
CP -1 AWS A5.18 ER70S-6 Ø1,20 mm	Corpo de Prova N°	1	2	3	4
	Valores Individuais (J)	215,74	207,89	217,70	N/A
	Média	213,77			
CP-2	Corpo de Prova N°	1	2	3	4

AWS A5.18 E70C-6M	Valores Individuais (J)	142,19	117,67	117,67	N/A
Ø1,20 mm	Média	125,84			

3.5. Ensaio Macrográfico.

O resultado dos ensaios de macrografia de acordo com a Figura 10, demonstram a zona fundida, a extensão da zona afetada pelo calor, perfil de penetração, aspectos de diluição, bem como o acabamento do cordão de soldagem. Observa-se nas Figuras (A, B, C) o perfil de característica dediforme para o arame sólido na soldagem dos corpos de prova e nas amostras com passes de soldagem múltiplos e passe simples. Para o passe simples de soldagem com arame sólido as dimensões aproximadas foram, (largura 11,7 (mm), altura do reforço 2,6 (mm) e penetração 2,9 (mm), conforme Figura (C).

O perfil de penetração lateral apresenta-se com maior evidência na soldagem com arame metal-cored, conforme Figuras (D, E, F). Apresentadas nas amostras de soldagem dos corpos de prova de passes múltiplos e passe simples. Para o passe simples as dimensões aproximadas foram (largura 11,6 (mm), altura do reforço 2,5 (mm) e penetração 3,0 (mm), conforme Figura (F).

Observa-se a melhor distribuição, alinhamento e perfil de cordão mais largo na soldagem com arame metal-cored, indicando menores possibilidade de ocorrências de defeitos relativos à morfologia do cordão, conforme citado anteriormente por (Barhorst (2000) e Widgery (1994)). Não foram encontrados problemas como falta de fusão, porosidades ou quaisquer outras descontinuidades em ambos os corpos de prova e amostras soldadas.

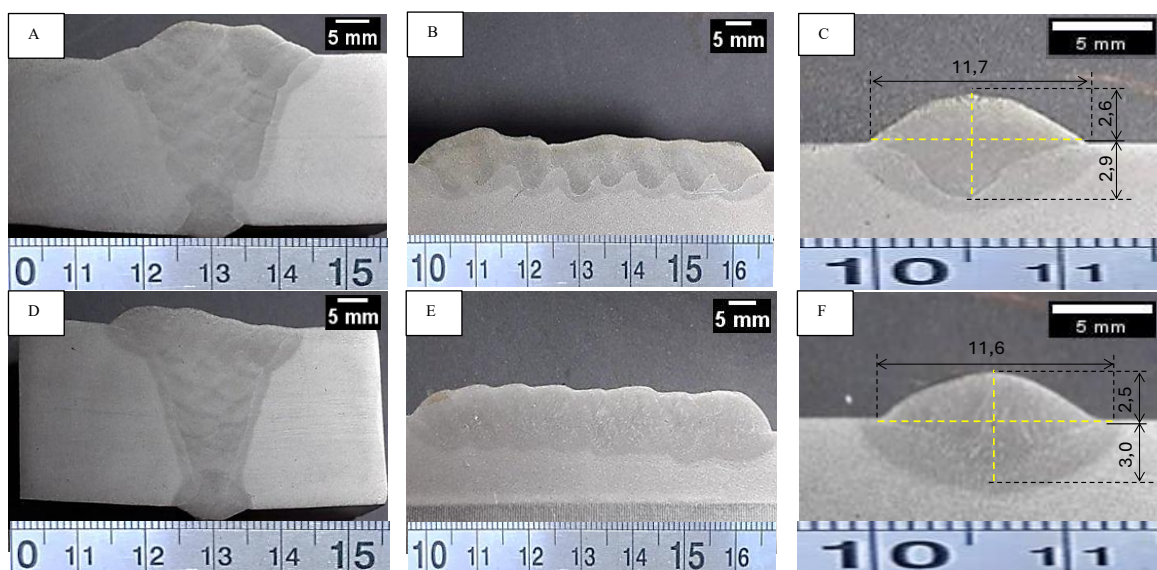


Figura 10 - Ensaio Macrográfico - Resultado - Arame Sólido - Corpo de prova soldado (A), amostra passe múltiplo (B), amostra passe simples (C) | Arame Metal-Cored - Corpo de prova soldado (D), amostra passe múltiplo (E), amostra passe simples (F).

3.6. Ensaio de Dureza.

Os resultados de dureza podem ser observados conforme Figuras 11, onde são apresentados a macrografia da junta de soldagem.

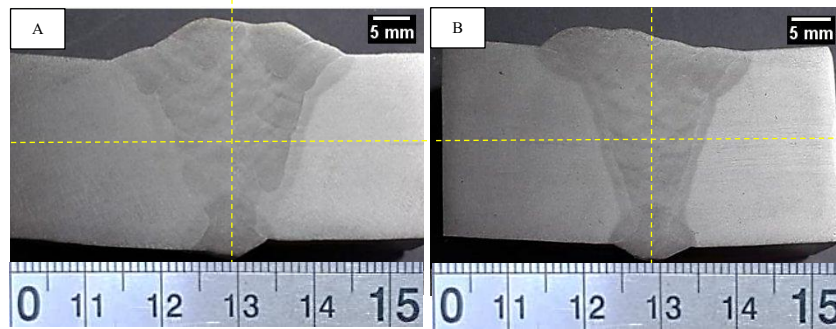


Figura 11- Ensaio Dureza - Resultado - Arame Sólido - Corpo de prova (A) | Arame Metal-Cored Corpo de prova (B).

O desenho esquemático informando as regiões onde foram realizadas as indentações pode ser observado conforme Figura 12.



Figura 12 - Ensaio Dureza - Resultado - Localização, número de medições - Croqui esquemático.

Conforme o gráfico da Figura 13 pode ser observado o resultado de perfil de dureza para os consumíveis de soldagem arame sólido e metal-cored. Pode se verificar que os valores presentes do arame metal-cored são inferiores aos valores obtidos com arame sólido. A dureza crítica na região da Zona Afetada pelo calor (ZAC) dependerá de diversos fatores, tais como condição de serviço, nível de hidrogênio que podem gerar trincas na zona afetada pelo calor entre outros aspectos. Os valores apresentados pelo arame metal-cored são inferiores aos valores de 350 (HV), de acordo com a (AWS D1.1 (2020)).

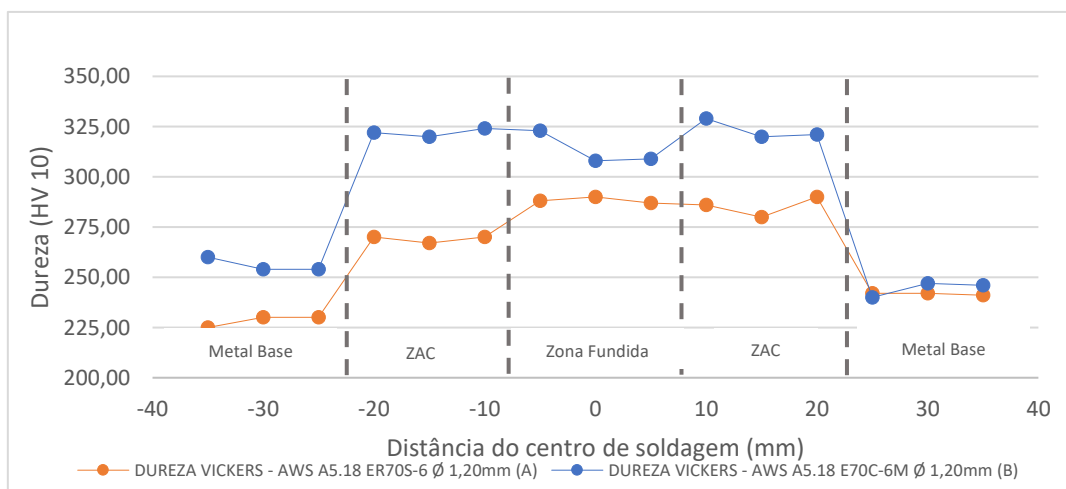


Figura 13 - Ensaio de Dureza - Resultado - Perfil do Gráfico de Dureza | Indentações em Diferentes Regiões da Junta de Soldagem

Os resultados dos ensaios de micrografia realizados na zona fundida, apresentam a microestrutura de ferrita acicular, em ambos os corpos de prova soldados com arame sólido ER70S-6 e arame metal-cored E70C-6M, conforme Figura 14 ilustrada. De acordo com (Starling et al. (2011)), na soldagem de chapas grossas de aços estruturais com os arames tubulares é desejável uma microestrutura com predominância de microconstituintes capazes de favorecer a resistência mecânica, aliada a uma boa tenacidade e ductilidade da solda, por exemplo, com teores mais altos de ferrita acicular. De acordo com (Kaçar e Kökemli (2005)), a ferrita acicular é a microestrutura que caracteriza um aumento da tenacidade de metais de solda em aço carbono de baixa liga.

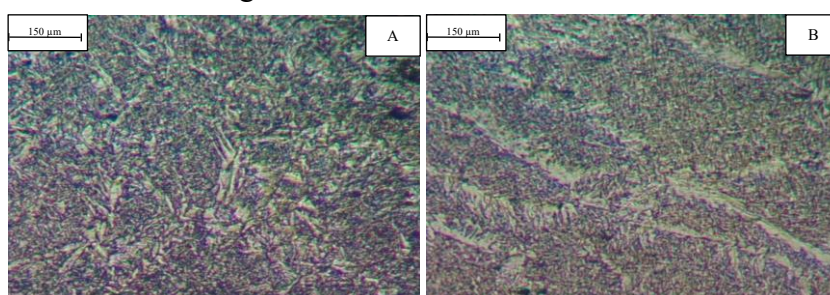


Figura 14 - Ensaio Micrografia - Resultado - Arame Sólido - Corpo de prova (A) | Arame Metal-Cored Corpo de prova (B).

3.7. Taxa de Deposição.

Os resultados sobre taxa de deposição podem ser observados conforme Figura 15, onde são encontrados valores relativamente aproximados para o arame metal-cored quando comparado ao arame sólido utilizando a mesma faixa aproximada de parâmetros, Corrente 250 (A), Tensão 27 (V), Vel. Alimentação Arame 9,50 (MPM) Stickout 20 (mm).

Segundo (Widgery (1994)) valores de taxa de deposição para os arames tubulares incluindo arame metal-cored tendem a aumentar em relação ao arame sólido com o incremento da corrente de soldagem, trabalhando com equipamentos convencionais de energia.

Com a variação nos parâmetros de soldagem onde foram adotados valores distintos na faixa de Corrente 350 (A), Tensão 29 (V), Vel. alimentação arame 12,70 (MPM), observa-se que o arame sólido atingiu uma deposição de 4,68 (kg/h), apresentando menor taxa de deposição em relação ao arame metal-cored 5,04 (kg/h), como resultado pode-se chegar aproximadamente a 9 % de aumento de taxa de deposição para o arame metal-cored.

Com o aumento dos parâmetros de soldagem nos testes realizado utilizando a faixa de Corrente 340 a 360 (A), Tensão 31 (V), Vel. alimentação arame entre 13,70 e 14,70 (MPM) o arame metal-cored apresentou uma taxa de deposição de 5,8 a 6,5 (kg/h), respectivamente, apresentando o aumento entre 25 e 40% aproximadamente em relação ao arame sólido utilizando parâmetros de Corrente 350 (A), Tensão 29 (V), Vel. alimentação arame 12,70

(MPM). Esses valores de aumento de taxa de deposição são estipulados entre 10% e 30% de acordo com (Nascimento (2005)).

Outro ponto, como observado na Figura 15, deve-se ao fato de que para os arames maciços a corrente elétrica percorre toda a seção transversal do arame de soldagem, diferentemente do arame metal-cored onde a corrente elétrica percorre apenas a fita que envolve o fluxo metálico. Como resultado pode se observar maior densidade de corrente e maior estabilidade de arco presente no arame metal-cored.

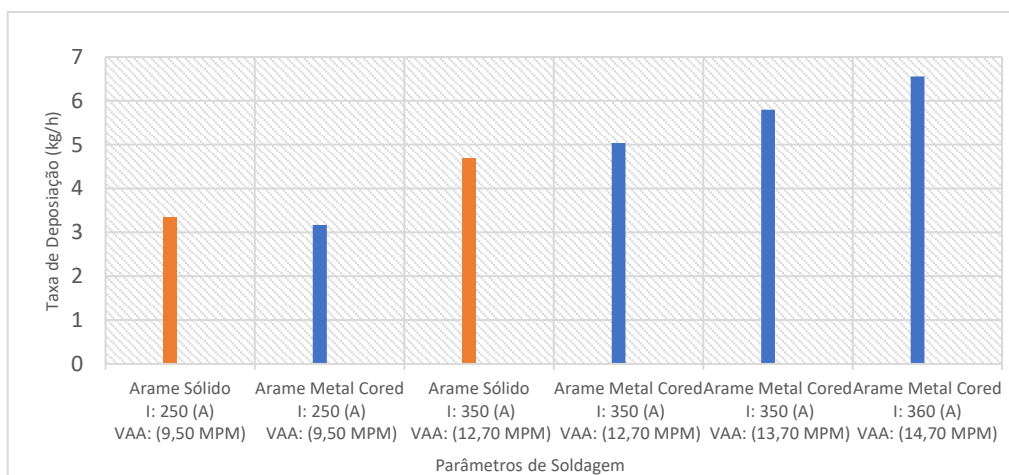


Figura 15 - Taxa de Deposição - Resultados

3.8. Rendimento Depositado.

O rendimento do arame depositado pode ser verificado de acordo com a Figura 16, onde é ilustrado conforme ensaios preliminares para evidenciar diferenças entre os arames sólido e metal-cored, utilizando o processo de soldagem pulsado.

Pode ser verificado que existe uma diferença entre os valores obtidos que pode ser interpretado em função das perdas ocorridas durante o processo de soldagem, como instabilidade de arco, respingos, vaporização, formação de escória.

De acordo com (Starling *et al.* (2011)), tipicamente para arames metais-cored ou arames compostos, quando utilizados com misturas de gases com argônio, tendem a apresentar uma eficiência de deposição de aproximadamente 95% para arames de 1,2 mm. De acordo com (Nascimento (2005)) a soldagem com arame sólido possui alto rendimento, geralmente entre 90 e 98%, devido à baixa produção de escória e fumos de soldagem. A estabilidade do arco tende a ser maior com a adição de argônio ao gás de proteção, reduzindo a geração de respingos. Esses pontos contribuem para o entendimento sobre o rendimento de aproximadamente 99% apresentados nos resultados obtidos na soldagem com arame sólido.

Observa-se que o processo de soldagem pulsado resultou em menor desperdícios apresentados, devido a fatores como a utilização da posição plana de soldagem, ótimos parâmetros de soldagem aplicados, técnica e aplicação da soldagem mecanizada, utilização de equipamento inversor de soldagem de alta tecnologia aliado ao controle de aporte térmico envolvido no processo pulsado pode-se denotar um ligeiro aumentando no rendimento de soldagem dos consumíveis utilizados ER70S-6, atingindo média 98,4% e o a arame e ER70C-6M atingindo média o valor de 98,1% de rendimento, quando comparado aos valores encontrados na literatura (Quites (2002) e Starling *et al.* (2011)).

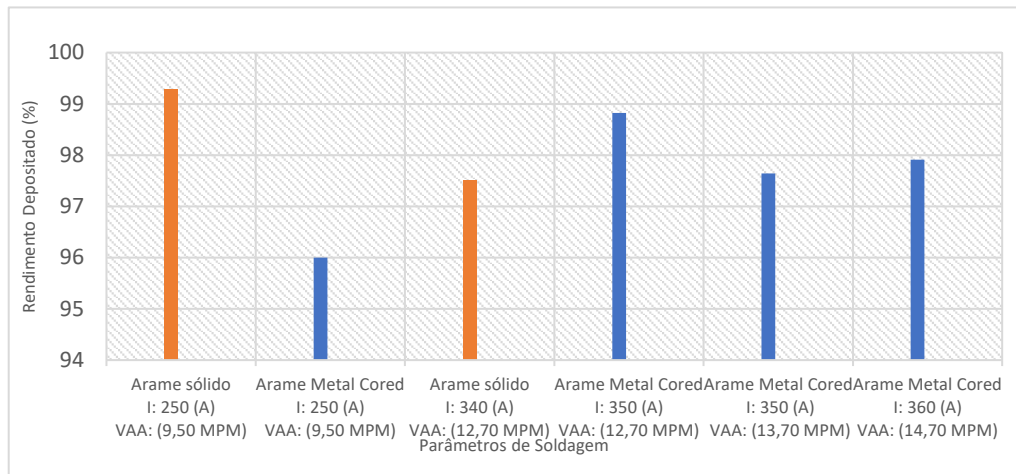


Figura 16 - Rendimento Depositado - Resultados

4. CONCLUSÃO.

Foi observado que o processo de soldagem pulsado utilizando a mesma energia de soldagem contribui para a integridade da junta de soldagem na aplicação de ambos os arames de soldagem ER70S-6 e E70C-6M. Os arames obtiveram resultados aprovados de acordo com critérios da norma (AWS D1.1 (2020)).

Observa-se a tendência para o arame metal-cored na formação do perfil de cordão com penetração lateral maior em relação ao perfil de cordão lateral encontrada no arame sólido. Fato este que leva ao entendimento sobre descontinuidades com maior probabilidade estarem presentes na soldagem com arame sólido.

Sobre taxa de deposição e rendimento depositado, um aumento gradual para o arame metal-cored em relação ao arame sólido deve ser esperado levando em consideração as variáveis de soldagem aplicadas ao procedimento. O aumento da corrente de soldagem possui fator fundamental para resultados visando aumento de escala de produção ao se utilizar arame metal-cored.

Quanto maior os valores de dureza, menor serão os valores de tenacidade encontrados em ensaios mecânicos, evidenciados pelos ensaios de impacto e dureza realizados. O arame sólido apresentou maior absorção de energia, sugerindo melhor desempenho em aplicações que exigem maior tenacidade. No entanto a distribuição térmica mais uniforme, maior refinamento de microestrutura e perfil de penetração lateral mais amplo do metal-cored indicam menor propensão a defeitos estruturais.

5. REFERÊNCIAS.

- ARAÚJO, W. R. Comparação entre soldagem robotizada com arame sólido e “metal cored” - a ocorrência do “finger”. Belo Horizonte, UFMG, 2004.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM A36:2003 – Standard Specification for Carbon Structural Steel. West Conshohocken: ASTM International, 2003.
- AMERICAN WELDING SOCIETY. AWS A5.18:2005 – Specification for Carbon Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding. Miami: American Welding Society, 2005.
- AMERICAN WELDING SOCIETY. AWS A5.36/A5.36M:2016 – Specification for Carbon and Low-Alloy Steel Flux Cored Electrodes for Flux Cored Arc Welding and Metal Cored Electrodes for Gas Metal Arc Welding. Miami: AWS, 2016.
- AMERICAN WELDING SOCIETY. AWS D1.1/D1.1M:2020 – Structural Welding Code – Steel. Miami: AWS, 2020.
- BARBEDO, Nancy Del Duca; CORRÊA, E.; CASTRO, C. Avaliação comparativa dos processos de soldagem GMAW e FCAW utilizando aço ASTM A-36 para verificar a soldabilidade, propriedades metalúrgicas e geométricas, e resistência mecânica. Itajubá: UNIFEI, 2011.
- BARHORST, Steve. Metal cored electrode basics. *Welding Journal (USA)*, v. 79, p. 13-15, 2000.
- BARRA, Sérgio Rodrigues. Influência do processo MIG/MAG térmico sobre a microestrutura e a geometria da zona fundida. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Florianópolis, 2003.
- HOBART BROTHERS. Is metal cored welding wire right for you? Disponível em: <https://www.hobartbrothers.com/resources/technical-articles/is-metal-cored-welding-wire-right-for-you/>. Acesso em: 31 jul. 2025.
- KAÇAR, Ramazan; KÖKEMLI, Koray. Effect of controlled atmosphere on the mig-mag arc weldment properties. *Materials & design*, v. 26, n. 6, p. 508-516, 2005.
- LYTTLE, Kevin A. Metal cored wires: Where do they fit in your future. *Welding Journal*, v. 75, n. 10, p. 35-38, 1996.
- MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. Soldagem: fundamentos e tecnologia. Belo Horizonte: UFMG, 2005.
- MOREIRA, Alcindo Fernando. Influência da atmosfera protetora no cordão de solda obtido através dos processos de soldagem GMAW e FCAW. 2008.
- NASCIMENTO, Alexandre Saldanha. Aspectos operacionais e metalúrgicos da soldagem com arame metal cored. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.
- QUITES, Almir Monteiro. Introdução à soldagem a arco voltaico. Florianópolis: Soldasoft, 2002.
- SCOTTI, Américo; PONOMAREV, Vladimir; LUCAS, William. Interchangeable metal transfer phenomenon in GMA welding: features, mechanisms, classification. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 214, n. 11, p. 2488-2496, 2014.
- STARLING, Cícero Murta Diniz; MODENESI, Paulo José; BORBA, Tadeu Messias Donizete. Caracterização do cordão na soldagem FCAW com um arame tubular" metal cored". *Soldagem & Inspeção*, v. 16, p. 285-300, 2011.
- WIDGERY, David. Tubular wire welding. Elsevier, 1994.

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL.

O autor é o único responsável pelo conteúdo deste trabalho.