

Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG
Curso de Engenharia Mecânica

EDUARDA NUNES DA SILVA
GABRIEL VINICIUS MARTINS

UTILIZAÇÃO DE FORNOS E ESTUFAS EM PROCESSO DE SOLDAGEM À ARCO
ELÉTRICO COM ELETRODO REVESTIDO

Publicação Nº 05

Goianésia - GO
2023

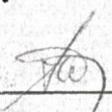
**EDUARDA NUNES DA SILVA
GABRIEL VINICIUS MARTINS**

**UTILIZAÇÃO DE FORNOS E ESTUFAS EM PROCESSO DE SOLDAGEM À ARCO
ELÉTRICO COM ELETRODO REVESTIDO**

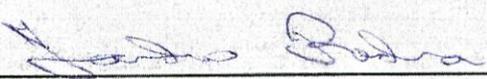
Publicação Nº 05

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO, EM FORMA DE ARTIGO,
SUBMETIDO AO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA DA FACEG**

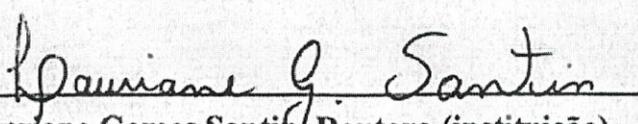
Aprovados por:



**Alessandro Moraes Martins, Mestre (FACEG)
(ORIENTADOR)**



**Ivandro José de Freitas Rocha, Mestre (FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**Lauriane Gomes Santini, Doutora (instituição)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**Goianésia – GO
2023**

FICHA CATALOGRÁFICA

DA SILVA, EDUARDA NUNES; MARTINS, GABRIEL VINICIUS.

Utilização de fornos e estufas em processo de soldagem à arco elétrico com eletrodo revestido 2023 XI, 23P, 297 mm (ENC/FACEG, Bacharel, Engenharia Mecânica, 2023).

ARTIGO – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Mecânica.

1. Soldagem manual

2. Tratamentos térmicos

3. Ensaio não destrutivo

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

DA SILVA, E N; MARTINS, G V. Utilização de fornos e estufas em processo de soldagem à arco elétrico com eletrodo revestido. Artigo, Publicação 05 2023/1 Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, Goianésia, GO, 22p. 2023.

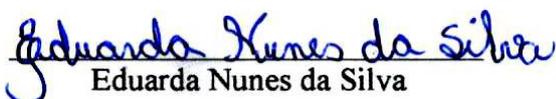
CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Eduarda Nunes da Silva, Gabriel Vinicius Martins

TÍTULO DO TRABALHO DO ARTIGO: Utilização de fornos e estufas em processo de soldagem à arco elétrico com eletrodo revestido.

GRAU: Bacharel em Engenharia Mecânica ANO: 2023

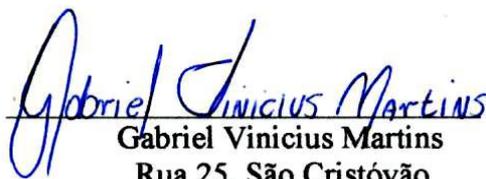
É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG a permissão para reproduzir cópias deste TCC para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Eduarda Nunes da Silva

Rua 15, Nova Aurora

CEP: 76385302 - Goianésia/GO – Brasil



Gabriel Vinicius Martins

Rua 25, São Cristóvão

CEP: 76381134 - Goianésia/GO - Brasil

UTILIZAÇÃO DE FORNOS E ESTUFAS EM PROCESSO DE SOLDAGEM À ARCO ELÉTRICO COM ELETRODO REVESTIDO

Eduarda Nunes da Silva¹
Gabriel Vinicius Martins²
Alessandro Morais Martins³

RESUMO

A soldagem à arco elétrico busca unir duas peças metálicas, através da fusão dos elementos. O método de soldagem com eletrodo revestido é um processo em que ocorre a fusão do metal através do aquecimento do arco mantido entre a ponta do eletrodo de revestimento e a face do metal base a ser soldado. O objetivo deste trabalho consiste em analisar a viabilidade da utilização de fornos e estufas no tratamento de eletrodos revestidos para o processo de soldagem à arco elétrico. Trata-se de um estudo experimental realizado com chapas de aço carbono soldadas com eletrodos tratados e não tratados termicamente. A eficiência do cordão de solda produzido pelos eletrodos tratados e não tratados foram testadas com líquido penetrante e aparelho de ultrassom. Os testes realizados nos corpos de prova com eletrodos tratados e não tratados expôs a diferença no cordão de solda e mostrou a necessidade do tratamento e armazenamento térmico correto dos eletrodos. O estudo realizado demonstrou a necessidade do tratamento e armazenamento térmico adequado dos eletrodos revestidos para o processo de soldagem à arco elétrico. Posto isto, fica evidente a necessidade do tratamento correto dos eletrodos antes do processo de soldagem com o intuito de aumentar a qualidade das estruturas metálicas desenvolvidas pelas empresas, e diminuir os prejuízos reduzindo rupturas nas juntas soldadas.

Palavras-chave: soldagem manual; tratamentos térmicos; ensaios não destrutivos.

¹ Discente do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Evangélica de Goianésia (FACEG). E-mail: silva.eduardanunes@gmail.com

² Discente do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Evangélica de Goianésia (FACEG). E-mail: gabriellvinicius_martins@outlook.com

³ Mestre, professor do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Evangélica de Goianésia (FACEG). E-mail: alessandro.martins@docente.evangelicagoianesia.edu.br

1 INTRODUÇÃO

A soldagem é um importante processo industrial para a fabricação de peças metálicas. Sendo aplicado tanto na fabricação quanto no reparo de peças desgastadas, através da aplicação de revestimentos com propriedades especiais em superfícies metálicas ou no corte de peças (MODENESI, *et al.*, 2012). A soldagem à arco elétrico busca unir duas peças metálicas, através da fusão dos elementos. Neste processo a energia do arco é utilizada como fonte de calor, conduzida pelo metal de adição (eletrodo), e misturado com uma parte do metal base também fundido para formar a poça de fusão (VIDOR, 2018). O método de soldagem com eletrodo revestido é um processo em que ocorre a fusão do metal através do aquecimento do arco mantido entre a ponta do eletrodo de revestimento e a face do metal base a ser soldado. Durante a soldagem, o arco e a poça de metal fundido protegem o eletrodo da atmosfera ao formar uma cortina de gás provocada pela combustão do revestimento e da decomposição de sua composição (SOUZA, *et al.*, 2021).

1.1 Justificativa

O procedimento com eletrodos revestidos é um dos mais aplicados em razão à sua variabilidade em termos de operacionalidade, ligas soldáveis e propriedades mecânicas e metalúrgicas do metal soldado (LEONELLO FILHO, 2005).

Para o tratamento dos eletrodos revestidos é indispensável alguns cuidados em relação ao seu manuseio e armazenamento, a fim de evitar danos aos revestimentos, sendo à umidade um deles. Sendo assim, a proposta de estudo de Mendes (2021) buscou demonstrar a aplicabilidade de eletrodos secos e prontos, após secagem de acordo com o prescrito pelo fabricante e testes de umidade, para o processo de soldagem.

A inclusão de hidrogênio oriundo da umidade do ar atmosférico no processo de Soldagem a Arco de Metal Blindado, do inglês *Shielded Metal Arc Welding-SMAW*, também conhecido como soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido), pode provocar o desgaste do cordão de solda causando uma baixa qualidade, porosidades, trincas internas, arco instável e excesso de respingos. Diante do exposto, a importância desse trabalho reside em apresentar a efetividade de se utilizar os fornos para a secagem do eletrodo revestido, garantindo uma boa qualidade no cordão de solda e da estufa para manter os eletrodos secos em temperatura e umidade ideal para o processo de soldagem.

1.2 Objetivos

Analisar a viabilidade da utilização de fornos e estufas no tratamento de eletrodos revestidos para o processo de soldagem à arco elétrico.

1.3 Objetivos Específicos

- Avaliar o processo de soldagem com eletrodos revestidos;
- Realizar ensaios de tratamento dos eletrodos para análise a coleta dos dados;
- Comparar o desempenho do eletrodo armazenado de formar irregular com o eletrodo armazenado seguindo as orientações do fabricante.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Histórico

A Sociedade Americana de Soldagem, do inglês *American Welding Society-AWS* no ano de 1998, define a soldabilidade como a capacidade que um material tem de ser soldado,

conforme as exigências necessárias dos códigos e normas de fabricação para uma condição específica e de maneira aceitável, com um funcionamento satisfatório nos serviços desejados.

Os métodos utilizados para unir dois metais podem ser separados em duas principais categorias, ou seja, aqueles com base na ação de forças macroscópicas entre as partes que serão unidas como, por exemplo, a parafusagem e a rebiteagem. E aqueles com base em forças microscópicas (interatômicas e intermoleculares), como é o exemplo da brasagem, colagem e soldagem. Sendo a soldagem um relevante processo de união de metais, devido sua utilização tanto na fabricação de estruturas simples, quanto no desenvolvimento de estruturas complexas (MARQUES, *et al.*, 2011).

A história da soldagem teve início a muitos séculos. Algumas peças descobertas a mais de 4 mil anos já utilizava o método de brasagem. Além disso, a soldagem por forjamento também foi observada em objetos produzidos a mais de 3 mil anos. Em 1801, Sir Humphrey Davis, fez a descoberta do arco elétrico. Ele aplicou o termo arco devido sua característica de convecção dos gases gerados. Em 1836, Edmund Davy, desenvolveu a sintetização do gás acetileno e a partir dessas descobertas novos processos de soldagens puderam ser descobertos, sendo até mesmo utilizados durante a Primeira Guerra Mundial (NERIS, 2012).

A primeira patente do processo de soldagem por arco elétrico data de 1865, o inglês Wilde, através da passagem de corrente elétrica, obteve a união de duas peças de ferro. Em 1885, o engenheiro Nikolas Bernados registrou a patente de uma soldagem com arco elétrico ajustado entre um eletrodo de carvão e o metal base. Em 1890, Slavianoff e Charles Coffin desenvolveram a soldagem com eletrodo metálico nu, que se fundia na peça e tornava parte do metal, porém as soldas eram de baixa qualidade. E em 1904, Oscar Kjellberg, diante as necessidades de melhorias nas soldas, revestiu o eletrodo metálico com uma camada de cal, dando origem em 1907 a patente do método de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido (AZEVEDO e NUNES, 2019).

Durante a Segunda Guerra Mundial o processo de soldagem teve grande impulso na construção de aviões e navios, apesar da criação da soldagem arco elétrico ter sido no século XIX. A evolução e aperfeiçoamento dos processos de soldagens são obtidos através da relação de três áreas: projeto de instrumentos soldados, avanço e aprimoramento dos aparelhos de soldagem, tal como dos materiais, objetivando a boa soldabilidade. Pois, cada processo de soldagem deve: gerar energia em uma quantidade capaz de juntar dois materiais, similares ou não; retirar contaminações das superfícies unidas; evitar a contaminação da soldagem pelo ar atmosférico; proporcionar controle na transformação de solda, para que esta obtenha propriedades desejadas (WAINER, *et al.*, 2013).

2.2 Conceitos

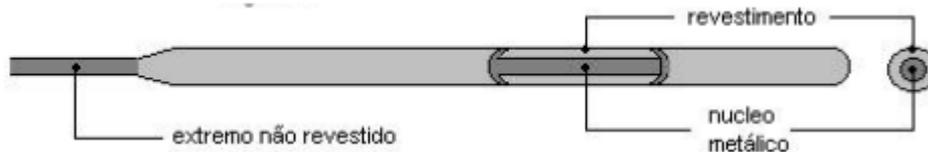
O sucesso do processo de soldagem está relacionado a diversos fatores, mas principalmente por facilidade de manuseio. Por outro lado, a soldagem habitualmente é um processo que causa danos para os materiais envolvidos, pois em geral, aplica-se altas densidades de energia a materiais de pequeno volume, que pode levar a mudanças estruturais e de propriedades dentro e ao redor da área de solda (DIAS E FAGGIONI, 2018).

A adesão do eletrodo revestido ocasiona em um conjunto de benefícios para o processo de SMAW. A aplicação de eletrodos com revestimentos básicos proporciona a obtenção de boas propriedades mecânicas, mas exigem cuidados especiais, devido sua capacidade de absorver umidade com mais facilidade. Sendo este um problema que encarece o processo, uma vez que é necessária uma maior atenção no armazenamento destes eletrodos, para que não mantenham contato com o ambiente atmosférico (COSTA, 2019).

2.2.1 Eletrodos

Eletrodos revestidos são condutores metálicos que permitem o fluxo de corrente elétrica. São constituídos por um núcleo metálico denominado alma, envolto por um revestimento composto por materiais orgânicos e/ou minerais, com dosagem definida. O material de que é feito a alma não necessariamente possui semelhança com o material a soldar, podendo ser de natureza igual ou diferente do metal base, e pode-se utilizar revestimentos que complementam a composição química da alma (Figura 1). A composição química dos revestimentos é mais complexa porque eles possuem diferentes funções, que são alcançadas pela mistura de vários elementos adicionados (ADDAN, 2019). Na Figura 1 é apresentado um eletrodo, demonstrando o núcleo metálico (alma) e o revestimento do eletrodo.

Figura 1 - Eletrodo revestido.

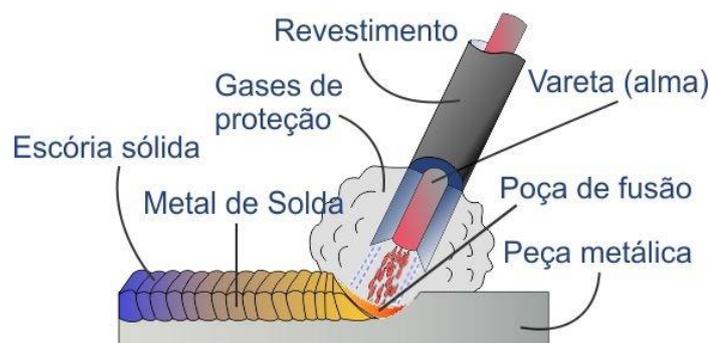


FONTE: Silva Wendel (2002, P. 7).

2.2.2 Soldagem à arco elétrico

A soldagem a Arco Elétrico com Eletrodo Revestido, SMAW, também denominada como soldagem manual a arco elétrico, é a mais utilizada e aplicada em vários processos de soldagem. Esta soldagem é realizada usando o calor de um arco elétrico, na qual a corrente é mantida entre a ponta do eletrodo de metal revestido e a peça de trabalho (Figura 2). O calor gerado pelo arco funde o metal base, núcleo do eletrodo, e o revestimento. Assim que as gotas de metais fundidas são transferidas por um arco elétrico para a poça de fusão, são protegidas da atmosfera através da produção de gases no decorrer da decomposição do revestimento. A escória líquida flutua na superfície da poça de fusão, protegendo o metal da atmosfera durante a cura. Outras atribuições do revestimento são assegurar a estabilidade do arco e monitorar a forma do cordão de solda (FORTES, 2005).

Figura 2 - Soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido.



FONTE: Heavy Duty (2018).

3 METODOLOGIA

O desenvolvimento deste estudo é do tipo experimental, no qual foi feita a fabricação de 20 chapas, constituindo 10 conjuntos de corpos de prova, com tamanho de 150x75mm (Figura 3d). Desses, 5 conjuntos foram soldados utilizando eletrodos revestidos colocados de forma uniforme dentro das bandejas do forno, tratado termicamente de forma adequada (Figura 3a), e conforme as orientações técnicas do fabricante de secagem dos eletrodos.

Figura 3 – Peças e equipamentos utilizados no experimento.



(a) Forno com eletrodos



(b) Estufa



(c) Temperatura do forno



(d) Chapa de aço 150mmx75mm

FONTE: próprios autores (2023).

A secagem foi feita a uma temperatura máxima de 300°C (Figura 3c) por 2 horas, após esse tempo os eletrodos foram transferidos para estufa (Figura 3b), com uma temperatura ideal de 150°C, para manter e continuar a secagem do eletrodo, compondo a amostra 1.

Os outros 5 conjuntos foram soldados utilizando eletrodos não tratados, compondo a amostra 2. Seguidamente realizou-se dois tipos de testes de qualidade e resistência do processo de soldagem, mediante os diferentes tipos de soldas, sendo eles: ensaios de ultrassom e o Líquido Penetrante (LP). O ensaio por líquido penetrante tem objetivo de detectar descontinuidade superficiais e que estejam abertas nas superfícies, tais como trincas, poros e dobras. Para o primeiro teste foi feita aplicação do LP VP30 (Figura 4a) e após totalmente seco foi aplicado, sobre a camada de VP30, o LP revelador D70 (Figura 4b). A aplicação do LP D70 deve ser feita pois ela garante uma camada mais fina, mais uniforme e mais absorvente, ou seja, após a aplicação do revelador é possível analisar a olho nu possíveis falhas na solda.

Figura 4 – Líquidos Penetrantes.



FONTE: próprios autores (2023).

Para o segundo teste foi utilizado o aparelho de ultrassom, conforme mostrado na Figura 5. O aparelho é aplicado por cima da solda com o intuito de detectar defeitos ou descontinuidades internas através da emissão de correntes alternadas de alta frequência, que determinam as dimensões dos defeitos em porcentagens, descritas no Quadro 1 a seguir:

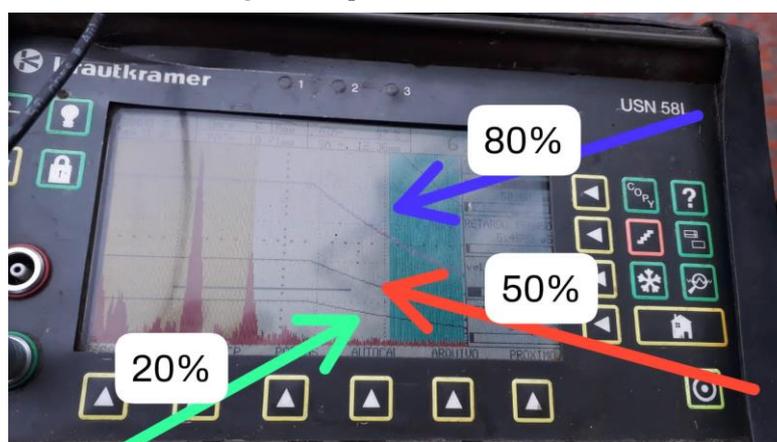
Quadro 1. Porcentagens analisadas durante o uso do ultrassom.

DIMENSÕES DOS DEFEITOS DO ULTRASSOM EM PORCENTAGENS	
ACEITÁVEL	ATÉ 20%
ANALISADO E REGISTRADO	ENTRE 20% E 50%
REPROVADO	> 50%

O aparelho de ultrassom, Figura 5, contém circuitos eletrônicos que permite transmitir ao cristal piezelétrico, através do cabo coaxial uma série de pulsos elétricos, transformado pelo mesmo em ondas ultrassônicas, onde os sinais captados no cristal são mostrados na tela

e se constituem no registro das discontinuidades encontradas no interior do material. É importante mencionar que o som que percorre a espessura do metal analisado se reflete nas interfaces formadas pelo fundo e superfície da peça de forma contínua, ou seja o ultrassom emitido pelo cristal do transdutor realiza no interior da peça um movimento de zigue-zague de ida e volta, neste caso quando há uma incidência do ultrassom na superfície oposta do acoplamento do cristal um sinal é transmitido ao aparelho, ou seja, sinais captados são pelo cristal e mostrados na tela do aparelho em formas de ondas. Todos os materiais e testes realizados foram cedidos por uma empresa do ramo de montagens industriais da cidade de Goianésia GO.

Figura 5. Aparelho de Ultrassom.



FONTE: próprios autores (2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Corpos de prova

Os corpos de provas foram medidos e cortados na máquina de Controle Numérico por Computador (CNC), em chapas de aço A 36 (150 mm x 6,34 mm). Após a confecção das chapas, foi realizado um bisel nas extremidades que receberam o cordão de solda, bem como foi feito um ponteadado na parte posterior para fixar os conjuntos evitando que soltassem durante a soldagem, conforme mostra a Figura 6.

Figura 6. Conjuntos com bisel e ponto de solda.



FONTE: próprios autores (2023).

4.2 Eletrodos tratados e não tratados

A composição química dos eletrodos utilizados estão dispostos na Quadro 2.

Quadro 2. Análise química (%) dos eletrodos.

C	Cr	Si	Ni	Mn	Mo	P	V	S
0,093	0,074	0,390	0,035	1,420	0,008	0,021	0,012	0,009

Fonte: Fabricante ESAB.

Cinco corpos de provas foram soldados utilizando eletrodos com classificação ASME SFA 5.1: E7018 – 2,5mm da fabricante ESAB retirados diretamente da embalagem, e outros 5 com eletrodos tratados. Para o tratamento e melhor eficiência dos eletrodos, eles permaneceram no forno durante 2 horas, à uma temperatura de 300°C, conforme a Figura 7, sendo possível atestar a qualidade dos eletrodos no certificado de qualidade presente no Anexo 1.

Figura 7. Eletrodos retirados do forno após o tratamento.



FONTE: próprios autores (2023).

Assim como, corroborando com o presente estudo, Santos, Eguiluz, Salazar-Banda (2016) afirmam em seu trabalho que eletrodos sujeitos a uma temperatura de 300°C apresentam maior área voltamétrica, sendo está a temperatura para uma condição de mais eficiência na preparação de um eletrodo.

4.3 Processo de soldagem

O processo de soldagem foi dividido em duas partes. Na primeira, os corpos de prova foram soldados com eletrodos tratados. Após a retirada dos eletrodos do forno, foram armazenados na estufa a 150°C até o momento da soldagem. Cada chapa foi posicionada em pares, numeradas e identificadas como E.TT (eletrodos tratados) para diferenciação dos corpos de provas. Depois de posicionadas e soldadas, já foi possível observar a olho nu uma formação uniforme no cordão de solda, sem poros e com poucos respingos, conforme mostra na Figura 8.

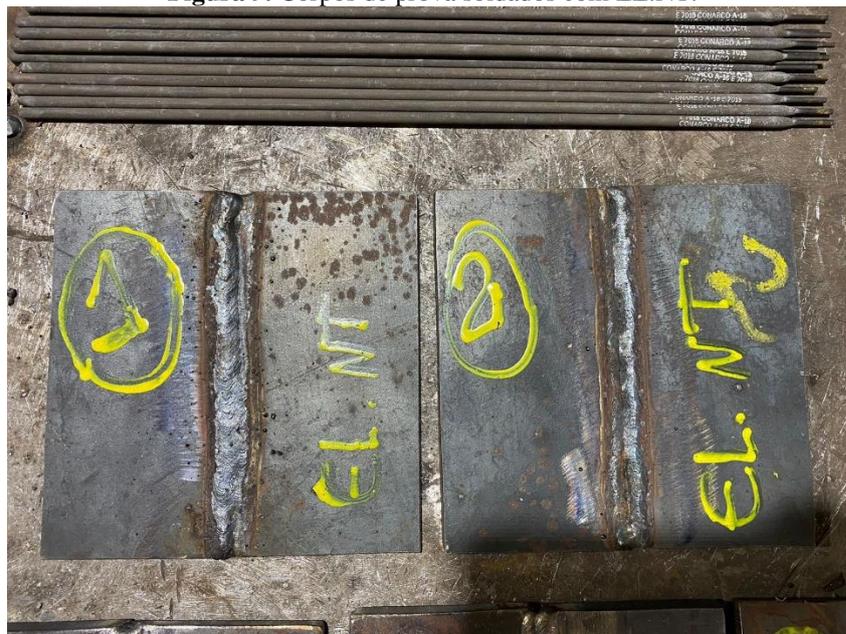
Figura 8. Corpos de prova soldados com E.TT.



FONTE: próprios autores (2023).

A segunda parte do processo foi a soldagem dos corpos de prova com eletrodos não tratados. Nesta etapa as chapas também foram posicionadas em pares e numeradas, sendo estas identificadas como EL.NT (eletrodos não tratados). Os eletrodos nesta parte do processo de soldagem foram os mesmos, porém retirados diretamente da embalagem e utilizados, sendo possível observar de imediato a absorção de umidade pelo eletrodo. A Figura 9 mostra visivelmente que o cordão de solda não saiu uniforme, houve mais respingos e poros.

Figura 9. Corpos de prova soldados com EL.NT.



FONTE: próprios autores (2023).

Ao avaliar os efeitos dos processos de soldagem com eletrodo revestido, arame tubular e arco submerso sobre as juntas soldadas de peças termicamente tratadas e não tratadas de aço carbono, Shibukawa (2009) concluiu em seu estudo que apesar do processo com eletrodo revestido obter um resultado aceitável e cabível de ser utilizado na soldagem de juntas com alta responsabilidade, apontou diante dos ensaios mecânicos uma menor

eficiência, pois as amostras soldadas obtiveram menor valor de resistência a tração e maior a dureza.

No entanto, Gonçalves, Porcaro, Cândido (2019), realizam os mesmos ensaios mecânicos em peças de aço termicamente tratadas e ao aspecto visual não apresentou nenhuma descontinuidade na solda, porém no ensaio de ultrassom foi detectado porosidades, que pode ocasionar na baixa eficiência do processo de soldagem. Logo, o presente estudo justifica a eficiência do tratamento térmico do eletrodo utilizado no processo de soldagem e não da peça soldada.

4.4 Ensaios com o líquido penetrante

Para o ensaio dos corpos de prova soldados com E.TT foi primeiramente aplicado o líquido penetrante VP 30 que agiu por 15 minutos antes da limpeza com água. Em seguida foi aplicado o líquido revelador D70, ambos os líquidos em uma temperatura ambiente de 28°C, que após agir também por 15 minutos revelou o laudo aprovado das peças soldadas. O aspecto visual dos corpos de prova 1 ao 5 teve um nível de qualidade satisfatório durante a realização do ensaio por líquido penetrante, como mostra na Figura 10 (e, f, g e h)

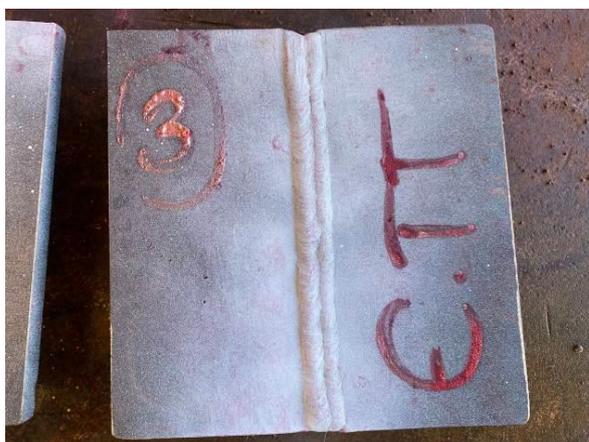
Figura 10. Imagens dos corpos de provas durante o ensaio com líquido VP30 e D70 nas soldas com eletrodos tratados.



(e) corpos de prova



(f) LP VP30 aplicado



(g) LP revelador D70 aplicado



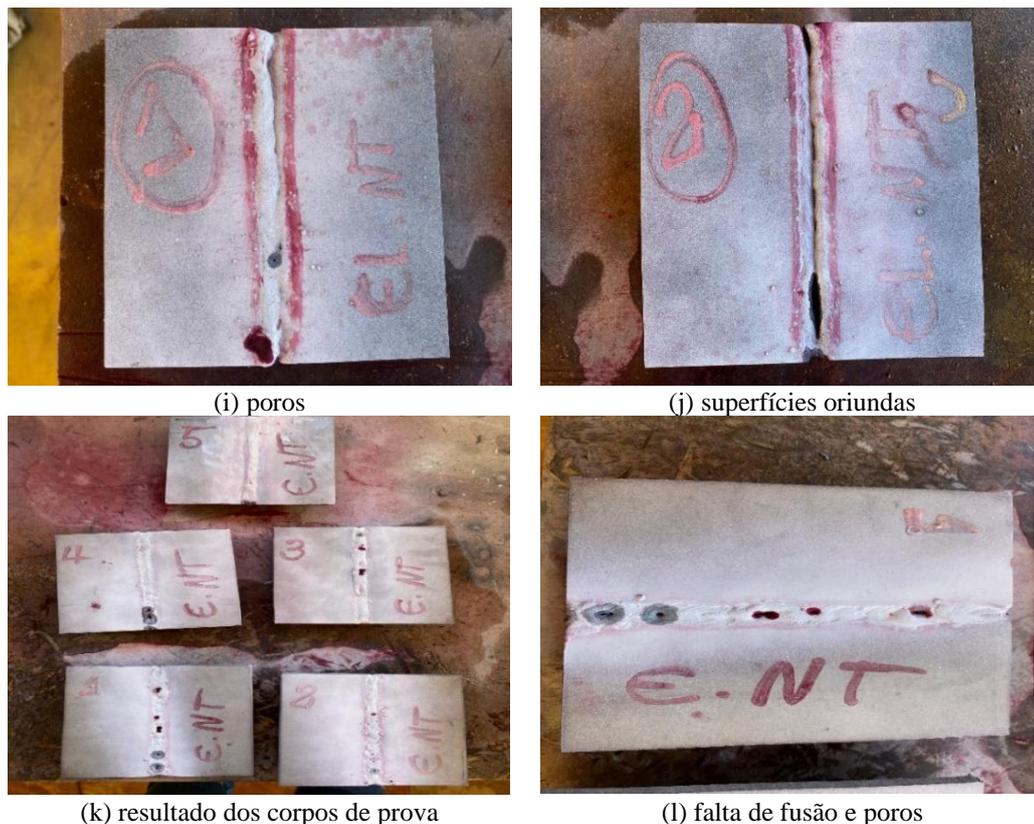
(h) resultado

O Quadro 3 abaixo mostra a análise de descontinuidades com o laudo final dos corpos de prova soldados com eletrodos armazenados e tratados corretamente (secagem/manutenção).

Quadro 3. Análise dos corpos de prova com E.TT.

DESCONTINUIDADES				
Nº	TIPO	POSIÇÃO	TAMANHO	LAUDO
CP 01	-	-	-	A
CP 02	-	-	-	A
CP 03	-	-	-	A
CP 04	-	-	-	A
CP 05	-	-	-	A
LEGENDA				
TL – TRINCA LONGITUDINAL		FF– FALTA DE FUSÃO		
TT – TRINCA TRANSVERSAL		FP– FALTA DE PENETRAÇÃO		
PO – POROSIDADE		A – APROVADO		
MO – MORDEDURA		R – REPROVADO		
SP – SOBREPOSIÇÃO		REC – RECOMENDADO EXAME COMPLEMENTAR		
NA – NÃO APLICÁVEL				

O ensaio dos corpos de prova com EL.NT ocorreu da mesma forma, sendo aplicado primeiro o líquido penetrante VP30 e após o enxague o líquido revelador D70, ambos na temperatura ambiente de 28°C e agindo por 15 minutos cada. O líquido D70 revelou um laudo reprovado nas peças soldadas, pois o aspecto visual dos corpos de prova 1 ao 5 apresentou descontinuidades oriundas do processo de soldagem tais como porosidade, perfuração e respingos, durante a realização do ensaio por líquido penetrante, conforme mostra a Figura 11 (i, j, k e l).

Figura 11. Imagens dos corpos de provas durante o ensaio com líquido VP30 e D70 nas soldas com eletrodos não tratados.

O Quadro 4 indica a análise de descontinuidades com o laudo final dos corpos de prova soldados com eletrodos armazenados incorretamente e sem o devido tratamento

(secagem/manutenção). A utilização do ensaio por líquido penetrante está descrita no Código ASME BPVC Sec. V Artigo 6. Referência para ensaios não destrutivos.

Quadro 4. Análise dos corpos de prova com EL.NT.

DESCONTINUIDADES				
Nº	TIPO	POSIÇÃO	TAMANHO	LAUDO
CP 01	PO	1	80 mm x 20 mm	R
CP 02	PO	2	120 mm x 10 mm	R
CP 03	PO	3	130 mm x 25 mm	R
CP 04	PO	4	75 mm x 25 mm	R
CP 05	PO	5	100 mm x 20 mm	R
LEGENDA				
TL – TRINCA LONGITUDINAL		FF– FALTA DE FUSÃO		
TT– TRINCA TRANSVERSAL		FP– FALTA DE PENETRAÇÃO		
PO– POROSIDADE		A- APROVADO		
MO– MORDEDURA		R – REPROVADO		
SP– SOBREPOSIÇÃO		REC – RECOMENDADO EXAME COMPLEMENTAR		
NA- NÃO APLICÁVEL				

Castro *et al.* (2017) discorre em seu estudo quais os ensaios destrutivos e não destrutivos disponíveis no mercado que permitem determinar a resistências das juntas soldadas, que visam garantir a qualidade das soldas. Dentre os ensaios não destrutivos encontra-se o por líquido penetrante, que revela cavidades e fissuras abertas na superfície do material soldado (SAMPAIO, 2009). Andrade e Dantas (2018) em sua pesquisa utilizaram o processo SMAW em chapas de aço carbono e realizaram o ensaio com líquido penetrante, no qual obtiveram um resultado prático e adequado para a avaliação de descontinuidades dos corpos de provas soldados, em concordância com o presente estudo.

4.5 Ensaios com o aparelho de ultrassom

Para realizar os ensaios com o aparelho de ultrassom foi necessário utilizar sobre as juntas soldadas um gel carboximetilcelulose condutor de ondas ultrassônicas que serve para retirar o ar entre a peça e o transdutor do aparelho, sendo a técnica de ensaio por ondas longitudinais e transversais.

Os Quadros 5 e 6 apresentam o equipamento de ensaio, a descrição dos dados da calibração do aparelho, e o resultado do ensaio descrito em número de corpos de prova (Junta nº), número de descontinuidades (Desc. nº), cabeçote, dimensões (\emptyset x Esp. mm), decibéis (dB), percurso sônico (PS mm), comprimento (C mm), profundidade (P mm), localização (Loc. mm), superfície (Sup) e laudo. Mediante isso e as porcentagens apresentadas no Quadro 1, o laudo final dos corpos de prova soldados com E.TT foram aprovados, como evidenciado no Quadro 5.

Quadro 5. Dados da análise com ultrassom dos E.TT.

EQUIPAMENTO DE ENSAIO											
Fabricante: MITECH			Modelo: MFD 350		Número de Série: FD16110202			Cabo/ Tipo: LEMO 00/01 Nº B0550292			
DADOS DA CALIBRAÇÃO											
Cabeçote	Fabricante	Modelo	Nº série	Dimensões	Angulo Real	Frequência	Bloco	P.S.	Ganhos (dB)		
									GP	PT	GI
MSE 4B	MITECH	SE 4	F10	10 x 3 mm	0°	4MHz	ASME 20	-	48	+0	54
MW B60	MITECH	MWB4	45241	8 x 9 mm	60°	4MHz	ASME 20	-	62	+3	71
MW B70	MITECH	MWB4	45077	8 x 9 mm	70°	4MHz	ASME 20	-	66	+2	74
RESULTADO DO ENSAIO											
Junta Nº	Desc. nº	Cabeçote	Dimensões (\emptyset x Esp. mm)	dB	PS (mm)	C (mm)	P (mm)	Loc. (mm)	Sup.	Laudo	

CP 01	01	70°	-	-	-	-	-	-	PLANA	APROVADO
CP 02	01	70°	-	-	-	-	-	-	PLANA	APROVADO
CP 03	01	70°	-	-	-	-	-	-	PLANA	APROVADO
CP 04	01	70°	-	-	-	-	-	-	PLANA	APROVADO
CP 05	01	70°	-	-	-	-	-	-	PLANA	APROVADO

O laudo final dos corpos de provas soldados com EL.NT foram reprovados, devido descontinuidades encontradas no comprimento (C) e na profundidade (P), como descrito nos dados do Quadro 6. A utilização do ensaio de ultrassom está descrita no Norma ASME Sec. VIII Div. 1 Ap. 12. Critério de aceitação para descontinuidades pelo ensaio por ultrassom.

Quadro 6. Dados da análise com ultrassom dos EL.NT.

EQUIPAMENTO DE ENSAIO											
Fabricante: MITECH		Modelo: MFD 350		Número de Série: FD16110202			Cabo/ Tipo: LEMO 00/01 Nº B0550292				
DADOS DA CALIBRAÇÃO											
Cabeçote	Fabricante	Modelo	Nº série	Dimensões	Angulo Real	Frequência	Bloco	P.S.	Ganhos (dB)		
									GP	PT	GI
MSE 4B	MITECH	SE 4	F10	10 x 3 mm	0°	4MHz	ASME 20	-	48	+0	54
MW B60	MITECH	MWB4	45241	8 x 9 mm	60°	4MHz	ASME 20	-	62	+3	71
MW B70	MITECH	MWB4	45077	8 x 9 mm	70°	4MHz	ASME 20	-	66	+2	74
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RESULTADO DO ENSAIO											
Junta Nº	Desc. nº	Cabeçote	Dimensões (Ø x Esp. mm)	dB	PS (mm)	C (mm)	P (mm)	Lo c. (m m)	Sup.	Laudo	
CP 01	01	70°	-	-	-	120 mm	4 mm	-	-	REPROVADO	
CP 02	01	70°	-	-	-	140 mm	5 mm	-	-	REPROVADO	
CP 03	01	70°	-	-	-	100 mm	3 mm	-	-	REPROVADO	
CP 04	01	70°	-	-	-	130 mm	4,5 mm	-	-	REPROVADO	
CP 05	01	70°	-	-	-	115 mm	4 mm	-	-	REPROVADO	

Morais e Sellitto (2014) em sua pesquisa experimental testou a possibilidade de substituir ensaios destrutivos por ensaio por ultrassom para testificar a qualidade no processo de resistência da solda, e ao analisar a correlação entre os parâmetros do processo de soldagem constatou-se a viabilidade de controlar a qualidade da solda baseado no ensaio por ultrassom. Júnior e Folha (2020) utilizaram em seu estudo os ensaios não obstrutivos de líquido penetrante e de ultrassom sobre soldas feitas com eletrodo revestido, e concluiu que tais ensaios são indispensáveis e eficazes para garantir a qualidade das soldas, bem como no presente estudo no qual os ensaios por ultrassom e líquido penetrante foram essenciais para a análise das soldas.

5 CONCLUSÕES

O presente estudo descartou a hipótese de falha, uma vez que todos os materiais utilizados nos processos estavam nas condições necessárias e não houve erros por parte dos operadores durante os ensaios. Com isso, os resultados obtidos reforçam a necessidade fundamental do tratamento e armazenamento térmico adequado dos eletrodos revestidos para o processo de soldagem à arco elétrico. Pois, de forma eficiente os testes realizados demonstraram a significativa diferença no cordão de solda quando se utiliza eletrodos tratados em comparação com aqueles que não receberam tratamento adequado. Assim, fica evidente que o tratamento correto dos eletrodos antes do processo de soldagem é essencial para aumentar a qualidade das estruturas metálicas produzidas pelas empresas, reduzindo os prejuízos causados por rupturas nas juntas soldadas.

Ao atender aos objetivos estabelecidos, o estudo proporcionou os seguintes resultados:

1. Avaliação do processo de soldagem com eletrodos revestidos: Uma análise abrangente do processo de soldagem com eletrodos revestidos foi conduzida, permitindo compreender a importância do tratamento adequado desses eletrodos.

2. Realização de ensaios para coleta de dados sobre o tratamento dos eletrodos: Ensaios meticulosos foram realizados com o propósito de avaliar o tratamento dos eletrodos e coletar dados relevantes. Esses ensaios possibilitaram a comparação entre o desempenho de eletrodos armazenados de forma irregular e eletrodos armazenados conforme as orientações do fabricante.

Com base nos resultados obtidos, é evidente a viabilidade da utilização de fornos e estufas no tratamento de eletrodos revestidos para o processo de soldagem à arco elétrico. O estudo destacou a importância desse tratamento adequado, o qual exerce influência direta na qualidade das soldas e na integridade das estruturas metálicas resultantes. Portanto, recomenda-se que as empresas adotem procedimentos de tratamento e armazenamento térmico adequados, visando maximizar a eficiência e minimizar os riscos de falhas nas juntas soldadas.

6 REFERÊNCIAS

ADDAN. Técnica operatória: **Entendendo a soldagem SMAW**. São Paulo, nov. 2019. Aluga Solda. Disponível em: <https://www.alugaasolda.com.br/tecnica-operatoria-entendendo-a-soldagem-smaw/>. Acesso em: Dezembro 2022.

AWS, **Welding Handbook, Materials and Applications – Part 2**, American Welding Society, 8ª Edição, Vol. 4, 1998.

AZEVEDO, Murilo Machado Faria de; NUNES, Matheus Henrique. **TESTE COMPARATIVO**: eletrodo revestido e6013 ∅ 2,5mm nacional e importado. 2019. 52 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Mecânica, Eng-Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/34180>. Acesso em: 16 dez. 2022.

CASTRO, Nara Linhares B. *et al.* ENSAIOS PARA DETERMINAÇÃO DE RESISTÊNCIA EM JUNTAS SOLDADAS. **Constuindo**, Belo Horizonte, v. 9, n. 2, p. 57-67, 10 jan. 2018. Disponível em: <file:///C:/Users/Gabri/Downloads/5759-Texto%20do%20Artigo-16417-1-10-20180123.pdf>. Acesso em: 29 maio 2023.

COSTA, Luan Mayk Tôrres. **Influência da adição de recobrimentos a base de PVC e de alumínio no metal depositado com eletrodos revestidos E-7018**. 2019. 136f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

DE ANDRADE, Lucas Astrad Lira; DANTAS, Marcello Araújo. **AVALIAÇÃO DE DESCONTINUIDADES SUPERFICIAIS PELO MÉTODO DE LÍQUIDOS PENETRANTES EM AÇO SAE 1020 SOLDADO POR PROCESSO SMAW**. 2018.

DE SOUZA, Andrey Claudino et al. **AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DA CORRENTE ELÉTRICA NO PROCESSO DE SOLDAGEM POR ELETRODO REVESTIDO (SMAW) NO AÇO ABNT 1020**. Anais do SIMPÓSIO NACIONAL DE CIÊNCIAS E ENGENHARIAS (SINACEN), v. 6, n. 2, p. 173-185, 2021.

DIAS, Leonardo Viana; FAGGIONI, William. **Avaliação das técnicas de soldagem com e sem tectimento aplicadas no reparo de trincas em escavadeiras hidráulicas**. 2018. 67 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Mecânica, Eng-Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/30325?mode=simple>. Acesso em: 16 dez. 2022.

FORTES, Cleber. **Apostila (Eletrodos Revestidos OK) Campina Grande-PB**, 2005.

GONÇALVES, Thais Soares; PORCARO, Rodrigo Rangel; CÂNDIDO, Luiz Cláudio. **ESTUDO DA SOLDABILIDADE DE UM AÇO API 5L X65Q PELO PROCESSO SMAW**. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM – INTERNACIONAL, 74., 2019, São Paulo. Anais [...] . São Paulo: Abm Week, 2019. p. 1-11. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Rodrigo-Porcaro-2/publication/339063594_ESTUDO_DA_SOLDABILIDADE_DE_UM_ACO_API_5L_X65Q_PELO_PROCESSO_SMAW/links/5e739fa8458515350c88dc2f/ESTUDO-DA-

SOLDABILIDADE-DE-UM-ACO-API-5L-X65Q-PELO-PROCESSO-SMAW.pdf. Acesso em: 29 maio 2023.

JÚNIOR, Ademilson Garcia Tigre; FOLHA, Marlan Dos Santos. **ANÁLISE DE JUNTAS SOLDADAS POR PROCESSOS DE SOLDAGEM TIG E ELETRODO REVESTIDO ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE INSPEÇÃO NÃO DESTRUTIVAS**. 2020.

LEONELLO FILHO, Antenor. **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DO PROCESSO DE SOLDAGEM COM ELETRODOS REVESTIDOS NA ESTABILIDADE DO ARCO E CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DO CORDÃO**. 2005. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2005.

MARQUES, Paulo Villani; MODENESI, Paulo José; BRACARENSE, Alexandre Queiroz. **Soldagem: Fundamentação e Tecnologia**. 3. ed. Belo Horizonte: Ufmg, 2011. 182 p.

MENDES, Emanuel Vieira. **Desenvolvimento de forno solar a partir de resíduos cerâmicos para secagem de eletrodos revestidos**. 2021. 63f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

MODENESI, Paulo J.; MARQUES, Paulo V., SANTOS, Dagoberto B. **Introdução à Metalurgia da Soldagem**. 2012. Dissertação (Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

MORAIS, R. A.; SELBITTO, M. A. **Aplicação do ensaio por ultrassom no controle de qualidade de processo de soldagem a ponto em operação industrial**. Revista e-TECH: Tecnologias para Competitividade Industrial - ISSN - 1983-1838, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 45–68, 2014. DOI: 10.18624/e-tech.v7i2.357. Disponível em: <https://etech.emnuvens.com.br/revista-cientifica/article/view/357>. Acesso em: 29 maio. 2023.

NERIS, Manoel Messias. **Soldagem. Apostila (Eixo Tecnológico: Controle e Processos Industriais)** São Paulo-SP, 2012.

SAMPAIO, M. V. C. **Aplicação de inspeção não intrusiva em equipamentos do sistema de dessulfurização de gás natural da plataforma de pampo**. (Dissertação de Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SANTOS, GOS; EGUILUZ, KIB; SALAZAR-BANDA, G. R. **Influência da temperatura de calcinação sobre as propriedades superficiais e eletroquímicas de ânodos dimensionalmente estáveis**. In: CONGRESSO. BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA. 2016.

SHIBUKAWA, Marcio Yukio. **ESTUDO DA INFLUÊNCIA DOS PROCESSOS DE SOLDAGEM SOBRE O COMPORTAMENTO DE JUNTAS SOLDADAS DO AÇO CARBONO A-516 GRAU 60**. 2009. 53 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade São Francisco, Itatiba, 2009. Disponível em: <file:///C:/Users/Gabri/Downloads/1759.pdf>. Acesso em: 25 maio 2023.

VIDOR, Matheus. **AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DO METAL DE ADIÇÃO NO PROCESSO DE SOLDA A ARCO ELÉTRICO SOBRE UM AÇO PATINÁVEL**. 2018. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Processos e Tecnologias, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2018. Disponível em:

<https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/4208/Dissertacao%20Matheus%20Viador.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 16 dez. 2022

WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELLO, F. D. H. **Soldagem: Processos e Metalurgia**. São Paulo: Blucher, 1992 (2013).

GLOSSÁRIO

AWS	American Welding Society. (Sociedade Americana de Soldagem)
ASME	American Society of Mechanical Engineers - ASME. (A Sociedade Norte Americana de Engenheiros Mecânicos)
CNC	Controle Numérico Computadorizado
C	Comprimento
dB	Decibel ou Decibéis
Desc.	Descontinuidade
E.TT	Eletrodo Tratado
E.NT	Eletrodo Não Tratado
LOC.	Localização
LP	Líquido penetrante
P	Profundidade
PS	Percurso Sônico
SMAW	Shielded Metal Arc Welding. (Soldagem a arco de metal blindado)
Ø	Diâmetro

ANEXO 1
Certificado de qualidade dos eletrodos utilizados.



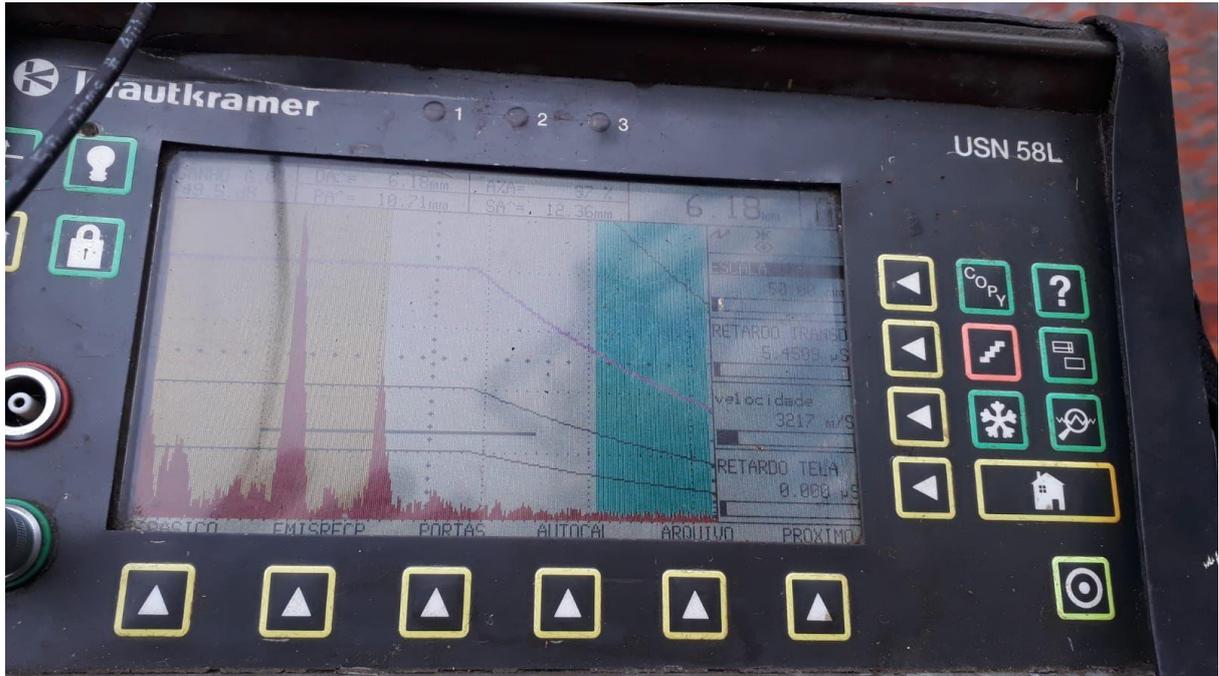
CERTIFICADO DA QUALIDADE
Quality Certificate / Certificado de Calidad
Conforme ASMESFA5.01/2021 Programa(Schedule) G

Produto : CONARCO A 18 2,50 350MM LT 17KG <small>Product/Producto</small>		Data de Produção : 10.03.2023 <small>Date/Fecha de Produccion</small>	
Lote : VTX10E5654 <small>Heat Number/Produccion</small>			
Classificação : <small>Classification/Clasificación</small>			
AWS A5.1-04 ASME SFAS 1/ 2021 E7018 2021			
Corpos de Prova de Metal Depositado <small>All-Weld Metal Test Assemblies/Corpos de Prova del Metal Depositado</small>			
Análise Química (%) <small>Chemical Analysis/Análisis Químico</small>			
C	Si	Mn	P
0,093	0,390	1,420	0,021
	Cr	Ni	Mo
	0,074	0,035	0,008
			V
			0,012
Propriedades Mecânicas Típicas <small>Typical Mechanical Properties / Propiedades Mecánicas Típicas</small>			
Resistência a Tração (MPa)/Tensile Strength/Resistencia a la Tracion			540
Limite de Escoamento (MPa)/Yield Strength/Limite de Fluencia			460
Alongamento (%) /Elongation/Alargamiento			28
Teste de Impacto CHARPY-V (J)/Impact Test/Ensayo de Impacto			80
Temperatura (°C)/Temperature/Temperatura			-30
Teste de Filete <small>Fillet Weld Test / Ensayo de Filete</small>			
ATENDE AOS REQUISITOS SATISFY THE REQUIREMENTS ATIENDE A LOS REQUISITOS			
Qualidade Radiográfica <small>Radiographic Test/Calidad Radiografica</small>			
GRAU 1	GRADE 1	GRADO 1	
Observações <small>Observations/Observaciones</small>			
UMIDADE MOISTURE UMIDAD<0.60%			


RONALD REQUEJO
ESAB Indústria e Comércio Ltda.
Controle de Qualidade Consumíveis
Quality Control / Control de la Calidad

ANEXO 2

Aparelho de ultrassom utilizado durante os ensaios.



Modelo do Equipamento KRAUTKRAMEN USN 58L

