

INSTITUTO VALE DO CRICARÉ
FACULDADE VALE DO CRICARÉ
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ADEMILSON GARCIA TIGRE JÚNIOR
MARLAN DOS SANTOS FOLHA

**ANÁLISE DE JUNTAS SOLDADAS POR PROCESSOS DE SOLDAGEM TIG E
ELETRODO REVESTIDO ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE INSPEÇÃO NÃO
DESTRUTIVAS**

SÃO MATEUS
2020

ADEMILSON GARCIA TIGRE JÚNIOR
MARLAN DOS SANTOS FOLHA

**ANÁLISE DE JUNTAS SOLDADAS POR PROCESSOS DE SOLDAGEM TIG E
ELETRODO REVESTIDO ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE INSPEÇÃO NÃO
DESTRUTIVAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Vale do Cricaré, apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Vinicius Augusto Da Silva

SÃO MATEUS

2020

ADEMILSON GARCIA TIGRE JÚNIOR
MARLAN DOS SANTOS FOLHA

**ANÁLISE DE JUNTAS SOLDADAS POR PROCESSOS DE SOLDAGEM TIG E
ELETRODO REVESTIDO ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE INSPEÇÃO NÃO
DESTRUTIVAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Vale do Cricaré, apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em ____ de _____ de ____

BANCA EXAMINADORA

Prof. XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
FACULDADE VALE DO
CRICARÉ
ORIENTADOR

Prof. XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
FACULDADE VALE DO
CRICARÉ
ORIENTADOR

Prof. XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
FACULDADE VALE DO
CRICARÉ
ORIENTADOR

SÃO MATEUS
2020

DEDICATÓRIA

Aos nossos Familiares, que sempre compreenderam nossas ausências em função dos estudos, e que de alguma forma estão próximos fazendo essa vida valer cada vez mais a pena.

Á nosso orientador Vinicius Augusto Da Silva, que demonstrou comprometimento, direcionamento, orientação e que sem ele não obteríamos os objetivos aqui então alcançados.

Aos nossos professores da faculdade Vale do Cricaré que sempre buscaram o melhor para nosso aprendizado.

AGRADECIMENTO

Agradecemos a Deus por ter nos capacitado e dado forças para cada etapa concluída do nosso Trabalho de conclusão de curso.

À nosso orientador Vinicius Augusto Da Silva pelo excelente trabalho, pela paciência, disponibilização, motivação e comprometimento em nos orientar da melhor forma possível.

Aos inspetores de qualidade Roni Cesar Rodrigues e Enilson Ber pelo apoio nos ensaios utilizados no nosso Trabalho de conclusão de curso.

Agradecemos à Faculdade Vale do Cricaré, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela para que hoje possamos vislumbrar um horizonte de oportunidades com confiança no mérito e ética aqui presentes.

E, finalmente, a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

EPÍGRAFE

“A persistência é o caminho do êxito”.

Charles Chaplin

RESUMO

O processo de soldagem é uma atividade essencial para o desenvolvimento de várias atividades mecânicas, seja na fabricação de peças como também na manutenção de componentes. Porém, esse processo, se não executado adequadamente pode gerar defeitos nas juntas soldadas, tais como porosidade, inclusão, trincas, dentre outros defeitos. Diante disso, este trabalho objetivou analisar juntas soldadas pelos processos de Eletrodo Revestido e Tungstênio Inerte em Gás (TIG) através de ensaios não destrutivos a fim de verificar as características das soldas e identificar possíveis discontinuidades nos cordões de solda. Para isto foi realizada uma pesquisa de campo a fim de comparar os impactos dos processos de soldagem Eletrodo Revestido e Tungstênio Inerte em Gás (TIG) na qualidade de cordões de solda. Os resultados mostraram que ambos os cordões de solda apresentaram boa qualidade, no qual através de ensaios não destrutivos não foram identificadas discontinuidades em suas regiões soldadas.

Palavras-Chave: Soldagem. Eletrodo Revestido. Ensaio Não Destrutivo. Tungstênio Inerte em Gás.

ABSTRACT

The welding process is an essential activity for the development of various mechanical activities, both in the manufacture of parts and also in the maintenance of components. However, this process, if not performed properly, can generate defects in welded joints, such as porosity, inclusion, cracks, among other defects. Therefore, this work aimed to analyze joints welded by the Coated Electrode and Gas Inert Tungsten (TIG) processes through non-destructive tests in order to verify the characteristics of the welds and identify possible discontinuities in the weld beads. For this, a field research was carried out in order to compare the impacts of the Welded Electrode and Gas Inert Tungsten (TIG) welding processes on the quality of weld beads. The results showed that both weld beads presented good quality, in which non-destructive tests did not identify discontinuities in their welded regions.

Keywords: Welding. Coated electrode. Non-destructive testing. Gas inert Tungsten electrode.

LISTA DE SIGLAS

ASME	American Society of Mechanical Engineers (Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos)
ED	Ensaio Destrutivo
END	Ensaio Não Destrutivo
ER	Eletrodo Revestido
LP	Líquido Penetrante
TIG	Tungstênio Inerte em Gás

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de soldagem com eletrodo revestido.....	14
Figura 2 – Processo de soldagem com TIG.....	16
Figura 3 – Falta de penetração em uma junta soldada.....	18
Figura 4 – Trinca em uma junta soldada.....	18
Figura 5 – Inclusões em cordões de solda.....	19
Figura 6 – Ensaio visual.....	21
Figura 7 – Ensaio por LP.....	22
Figura 8 – Ensaio de ultrassom.....	24
Figura 9 - Metal de adição TIG.....	26
Figura 10 - Metal de adição ER.....	26
Figura 11 – Corpos de Provas (Processo ER tubo lado esquerdo e TIG tubo lado direito).....	27
Figura 12 – Relatório de soldagem.....	29
Figura 13 – Inspeção Visual.....	30
Figura 14 – Relatório de inspeção do ensaio visual.....	31
Figura 15 – Inspeção por LP.....	32
Figura 16 – Relatório da inspeção por LP.....	33
Figura 17 – Inspeção por ultrassom.....	34
Figura 18 – Relatório do Ultrassom ER.....	35
Figura 19 – Relatório do Ultrassom TIG.....	36
Figura 20 – Corpos de Provas soldados pelo processo TIG (tubo lado esquerdo) e processo ER (tubo lado direito)	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	SOLDAGEM	13
2.1.1	Soldagem com eletrodo revestido	13
2.1.2	Soldagem TIG	15
2.2	DESCONTINUIDADES EM SOLDAS	17
2.3	ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS	19
2.3.1	Ensaio visual	20
2.3.2	Ensaio por líquidos penetrantes	22
2.3.3	Ensaio por ultrassom	23
3	METODOLOGIA	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1	CORPO DE PROVA	27
4.2	ANÁLISE OPERACIONAL DOS PROCESSOS DE SOLDAGEM	28
4.3	INSPEÇÃO VISUAL	30
4.4	INSPEÇÃO POR LÍQUIDO PENETRANTE	31
4.5	INSPEÇÃO POR ULTRASSOM	33
5	CONCLUSÕES	38
	REFERÊNCIAS	40
	ANEXO 1 – RELATÓRIO DE SOLDAGEM	42

1 INTRODUÇÃO

A soldagem é um processo de fabricação amplamente utilizada em todo o mundo, no qual, por meio dessa técnica consegue-se fabricar peças, unir componentes, reparar elementos, entre outras aplicações. Com isso, essa tarefa tem grande versatilidade, uma vez que pode ser integrada a várias áreas de trabalho. Portanto, os profissionais precisam conhecer um pouco do assunto para que seja possível escolher as estruturas adequadas, dimensionar corretamente equipamentos, entre outras coisas (VILLANI et al., 2017).

O processo de soldagem tem grande utilidade em quaisquer atividades que utilizam aço. Na construção civil, por exemplo, tal atividade é empregada para unir elementos estruturais como coberturas, galpões, entre outros dispositivos. Essas estruturas, normalmente são de grande responsabilidade, requerendo a realização de inspeções nas juntas soldadas a fim de atestar a qualidade e os requisitos mínimos para garantir o perfeito funcionamento dos componentes (GEARY; MILLER, 2013).

Uma maneira de se assegurar isso é por meio dos Ensaios Não Destrutivos (END), que consistem em analisar de modo relativamente rápido a junta soldada a custos menores quando comparado com outras técnicas. Vale mencionar ainda que esses testes têm a vantagem de não inutilizar os componentes após o ensaio como ocorre nos Ensaios Destrutivos (ED). Diante do exposto, os END podem ser aplicados em campo, dispensando o deslocamento da peça para laboratórios e reduzindo custos com transportes, acondicionamento, entre outros (SCHNAID; ODEBRECCHT, 2012).

As hipóteses estão relacionadas com ideias associadas ao tema, diante disso, é importante destacar que as hipóteses não precisam ser comprovadas no projeto, dessa forma, as hipóteses testadas no Trabalho de Conclusão de Curso foram se é possível identificar um processo de Soldagem, Eletrodo revestido ou Eletrodo de Tungstênio inerte em gás, que apresente mais defeitos na junta soldada e se é possível por meio de técnicas END comparar juntas soldadas de processos distintos, ER ou TIG.

Desse modo, este trabalho se justifica, pois, os ENDS tendem a ser processos relativamente simples e executados por profissionais qualificados que apresentam excelentes resultados quando realizados em juntas soldadas. Por meio de suas técnicas consegue-se detectar discontinuidades e defeitos que impactam na

qualidade das peças e afetam toda a estrutura, além de atestar a qualidade dos cordões de solda.

A aplicação de tais ensaios não destrutivos após as operações de soldagem traz inúmeros benefícios, tanto para as empresas, como para os contratantes e os executores da soldagem, pois, permite apontar qual o melhor processo para soldar um componente de aço carbono. Os ENDS mais utilizados são correntes parasitas, visual, emissão acústica, radiografia, partículas magnéticas, estanqueidade, Líquidos Penetrantes (LP) e ultrassom.

Tais testes culminam ainda, de forma indireta, na redução de custos, uma vez que falhas provenientes da soldagem tendem a ter custos mais elevados quando comparado com os investimentos realizados na execução dos ensaios.

Diante da exposição acima, o objetivo geral do trabalho consiste em avaliar os aspectos de juntas soldadas através dos processos de soldagem por Eletrodo Revestido e pelo processo TIG, utilizando para isto ensaios não destrutivos. Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Caracterizar os processos de soldagem por ER e TIG;
- Entender o que são defeitos em soldas;
- Descrever o que são ENDS e suas aplicações na soldagem;
- Avaliar as particularidades de ENDS para detecção de defeitos em soldas;
- Realizar experimentos em campo, coletar imagens e gerar relatórios de inspeção de soldas;
- Analisar os resultados dos relatórios de inspeção das soldas.

A estruturação do TCC se deu da seguinte forma: introdução, contendo a contextualização do tema; na sequência a justificativa para a realização do trabalho; os objetivos (objetivo geral e objetivos específicos); as hipóteses e a pergunta problema; outro capítulo aborda o desenvolvimento, apresentando a revisão bibliográfica, a metodologia, os resultados e discussão; em seguida, apresentaram-se as principais conclusões obtidas após a execução das atividades propostas; por fim, as referências bibliográficas que fundamentaram o trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica é a parte do trabalho que serve para fundamentar a pesquisa, apontando os principais trabalhos e autores que serviram de base para o desenvolvimento da pesquisa. Diante do exposto, a seguir são apresentados os processos de soldagem (ER e TIG), as descontinuidades em solda e os ensaios não destrutivos (END) que serão utilizados para a realização deste trabalho.

2.1 SOLDAGEM

A soldagem é definida classicamente como sendo um processo destinado a unir peças, no entanto, com essa atividade consegue-se depositar material em uma superfície a fim de recuperar superfícies desgastadas, para revestimentos, entre outras coisas. Esse processo pode ser definido ainda como sendo a operação que tem o intuito de unir peças, garantindo que as juntas soldadas apresentem continuidade de propriedades metalúrgicas, químicas e físicas (GEARY; MILLER, 2013).

A soldagem pode ser considerada ainda como sendo as operações que buscam assegurar a coalescência localizada, gerada por meio de aquecimento até temperaturas determinadas com ou sem a aplicação de metal de adição e de calor (VILLANI et al., 2017). Já Groover (2017) afirma que a soldagem consiste em juntar materiais em que as forças de união criadas entre as partes a serem unidas apresentam natureza parecida àquela existente dentro das partes e que são responsáveis pela existência própria destas como materiais sólidos. Diante do exposto, a seguir são apresentados os processos de soldagem por ER e TIG, que serão utilizados para o desenvolvimento da metodologia neste trabalho.

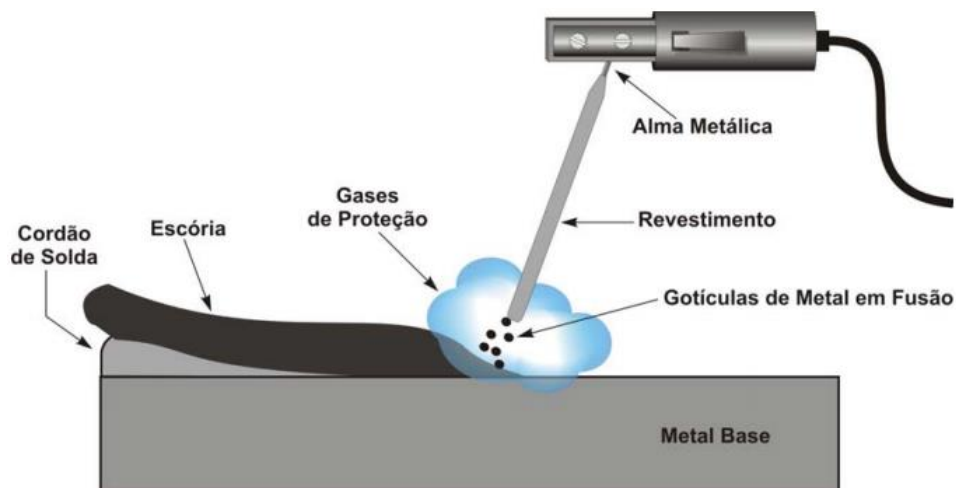
2.1.1 Soldagem com eletrodo revestido

O Processo ER (Eletrodo revestido) teve início no princípio do século XX, com a utilização de arames nus para cercas, ligados à rede elétrica. O resultado dessa prática era geralmente pobre, com sérios problemas de instabilidade de arco e depósitos de solda contaminados. Observou-se que arames enferrujados, ou cobertos com cal, proporcionavam melhor estabilidade de arco, tendo-se adotado o eletrodo

com revestimento ácido ainda no começo da primeira década. Observou-se também que, revestindo o arame com asbestos, o depósito era protegido da contaminação enquanto o que o algodão aumentava a penetração do arco. Esses fatos marcaram, nos primeiros anos do século XX o advento do revestimento celulósico. Desde esses estágios iniciais, o desenvolvimento tem sido contínuo, podendo-se mencionar o advento dos eletrodos rúfílicos, em meados da década de 1930; do revestimento básico, no início da década seguinte; e da adição de pó de ferro, em meados da década de 1950 (WAINER, et al., 2004, p.31).

A soldagem utilizando eletrodo revestido promove a união de metais por meio de um arco elétrico que se forma entre o metal de base da junta a ser soldada e o eletrodo revestido. Desse modo, o metal do eletrodo se funde e é transferido para a poça de fusão por meio do arco elétrico até se depositar na junta soldada, originando assim o cordão de solda, conforme mostra a figura 1. Vale mencionar que o arco elétrico tem a capacidade de proteger o metal de solda de contaminações atmosféricas, bem como controlar a taxa de resfriamento no processo (MARTIM; VILARINHO, 2018).

Figura 1 – Processo de soldagem com eletrodo revestido



Fonte: Groover (2017)

Para que ocorra a fusão é necessário calor, nesse caso, sua origem se dá através da passagem da corrente elétrica do eletrodo para a peça. O calor gerado é intenso, se concentrando na extremidade do eletrodo, que se funde com o metal de base, resultando na poça de fusão, que depois de ser resfriada culmina na solda. É importante mencionar que, normalmente, os eletrodos são revestidos e isso faz com

que se tenha a adição de elementos de liga e a formação de gases de proteção. Desse modo, promove-se a absorção de impurezas, o refinamento do metal da solda e o isolamento do cordão da presença de gases indesejáveis (SOUZA, 2018).

Diante do exposto, esse tipo de soldagem é o mais empregado, sendo que as causas disso estão associadas com a qualidade e a resistência das soldas a custos menores, bem como a simplicidade do equipamento quando comparado com outros processos. A soldagem por ER solda grande parte de metais com as variadas espessuras, fazendo com que este seja considerado flexível. Outro ponto que merece destaque é que esse processo pode ser executado em condições adversas e em vários locais, o que favorece a sua utilização (BASTOS et al., 2020).

Com isso, a soldagem com ER pode ser empregada em vários campos como a fabricação de comportas hidroelétricas, locomotivas, automóveis, navios, caminhões, entre outras coisas (GEARY; MILLER, 2013). O quadro 1 apresenta as aplicações, as limitações e as vantagens desse processo.

Quadro 1 – Vantagens, limitações e aplicações da soldagem com ER

Vantagens	Limitações	Aplicações
<ul style="list-style-type: none"> ● Pode atingir áreas com acesso restrito facilmente. ● Tem grande versatilidade no que tange aos materiais soldáveis. ● Baixa sensibilidade à corrente de ar. ● Não requer gases ou fluxos externos. ● Equipamento barato, simples e portátil. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Requer limpeza depois de cada passe de soldagem. ● Tem baixa produtividade. ● É difícil de ser executada em materiais reativos. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Soldagem de alumínio, níquel e as suas ligas. ● Soldagem de ferro fundido. ● Soldagem de aços ao carbono, alta e baixa liga. ● Soldagem de manutenção, de produção e de montagem em campo.

Fonte: Villani *et al.* (2017)

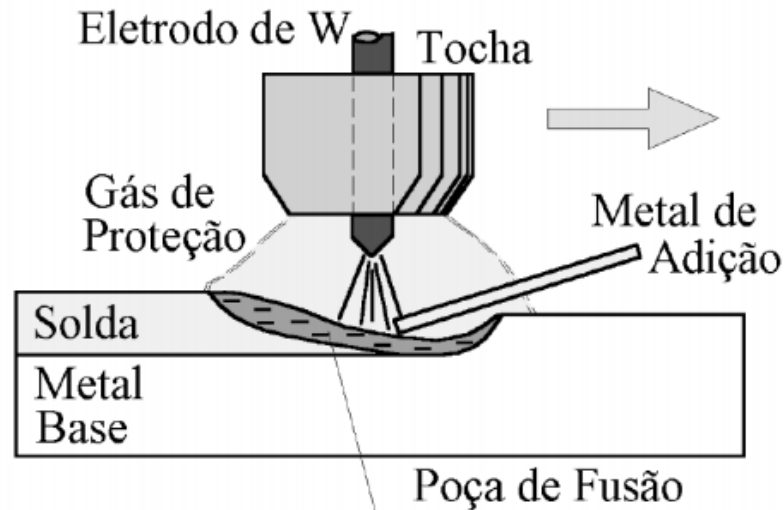
2.1.2 Soldagem TIG

O Processo TIG (tungstênio inerte em gás) foi patenteado no fim do ano 1920, porém só foi comercialmente utilizado em 1942, nos Estados Unidos, para a soldagem em liga magnésio de assentos de aviões. A princípio utilizou-se o gás hélio e a corrente contínua, devido à dificuldade em estabilizar o arco, posteriormente superada (WAINER, et al, 2004., p. 60).

A soldagem TIG ocorre com o uso de proteções gasosas com gases inertes, sendo que se pode utilizar material de adição ou não. Como no processo de ER, a

soldagem TIG promove a união de metais através do aquecimento e da fusão destes elementos por meio de um arco elétrico. A diferença é que nesse caso o arco é aberto entre o eletrodo de tungstênio não consumível e a peça (SOUZA et al., 2019). A figura 2 mostra a soldagem TIG.

Figura 2 – Processo de soldagem com TIG



Fonte: Villani et al. (2017)

Desse modo, durante a realização da soldagem consegue-se a proteção da poça de fusão com o auxílio de gases inertes ou a mistura deles, que tem ainda como função realizar a transmissão de corrente elétrica na ionização que ocorre durante a execução. Como citado anteriormente, pode-se ou não utilizar metal de adição. No primeiro caso, este é fundido pelo arco e não transferido por meio do aço, não integrando assim o circuito elétrico de soldagem (GEARY; MILLER, 2013).

Vale mencionar que o gás de proteção sai do bico da pistola, protegendo a área do arco de contaminação atmosférica. Além disso, na soldagem TIG há pouca fumaça e salpico, sendo que a camada de solda é uniforme e suave, dispensando, em muitos casos, o acabamento posterior. Com isso, pode-se utilizá-la em processos em que se deseja elevada qualidade para grande parte dos metais e suas ligas (MARTIM; VILARINHO, 2018).

Esse processo pode ser empregado em todas as posições, além de não gerar escórias, fazendo com que o processo seja mais limpo quando comparado com o eletrodo revestido. Outra vantagem desse tipo de soldagem diz respeito ao excelente controle da poça de fusão, o que favorece a soldagem de peças com espessuras finas.

É importante destacar que, inicialmente, o processo TIG tem alto custo e uma menor produtividade comparado ao processo de soldagem MIG/MAG, no entanto, isso é facilmente compensado pela possibilidade de soldar várias espessuras, em várias posições e vários tipos de metais com resistência e qualidade (MERLO, 2016). O quadro 2 apresenta as aplicações, as limitações e as vantagens desse processo.

Quadro 2 – Vantagens, limitações e aplicações da soldagem TIG

Vantagens	Limitações	Aplicações
<ul style="list-style-type: none"> • A soldagem pode ser executada em qualquer posição. • A quantidade de respingos geradas é mínima. • As soldas apresentam excelente qualidade e bom acabamento superficial. • Empregado para soldar grande parte dos metais. • A soldagem se dá sem o uso de metal de adição. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto custo dos equipamentos e dos consumíveis. • Tem baixa produtividade comparado com MIG/MAG. 	<ul style="list-style-type: none"> • Soldagem de materiais exóticos, ligas não ferrosas e ligas especiais. • Realização de passe raiz em tubulações. • Soldagem de tubulações com pequeno diâmetro e peças com espessura reduzida. • Soldagem de elevada qualidade ou de precisão.

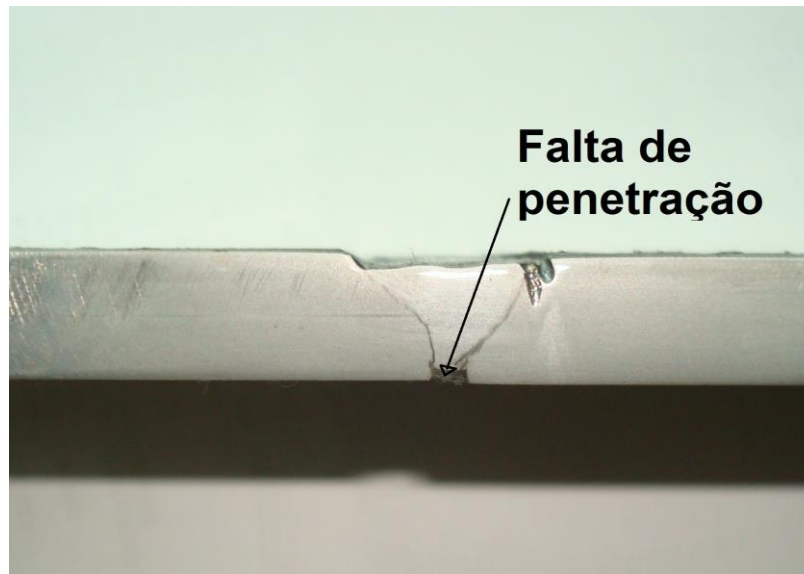
Fonte: Adaptado de Villani *et al.* (2017)

2.2 DESCONTINUIDADES EM SOLDAS

As descontinuidades consistem na interrupção da estrutura típica de um material, sendo um exemplo disso a falta de homogeneidade em propriedades mecânicas, metalúrgicas e físicas da junta soldada ou do material. Dependendo do grau de severidade considera-se como um defeito, com isso é preciso rejeitar a peça. Vale mencionar que as descontinuidades são divididas em três grupos, as planares, as geométricas e as volumétricas (GEARY; MILLER, 2013).

As descontinuidades planares tem como característica principal o efeito de entalhe na peça, além disso, pode ocorrer o afloramento à superfície ou não, causando concentração de tensão. Os exemplos mais comuns desse tipo de descontinuidade são a falta de fusão, a falta de penetração e as trincas (VILLANI *et al.*, 2017). A figura 3 mostra a falta de fusão em uma junta soldada.

Figura 3 – Falta de penetração em uma junta soldada



Fonte: Jacob (2017)

Groover (2017) afirma que as descontinuidades geométricas apresentam tensões elevadas em sua ponta, além disso, pode-se gerar falhas catastróficas na junta soldada. A figura 4 mostra uma trinca na junta soldada. Tal evento tende a ocorrer ao longo ou depois do resfriamento do material, sendo classificado em dois grupos:

- a) As trincas a quente: aparecem durante ou após a soldagem.
- b) As trincas a frio: ocorrem após o processo ou ainda dias após a realização da soldagem.

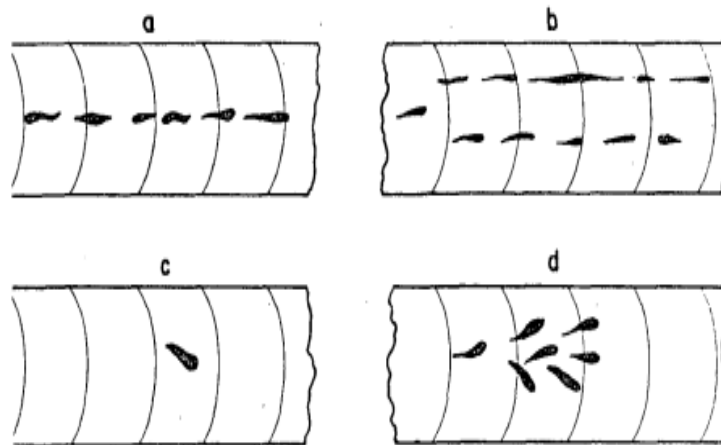
Figura 4 – Trinca em uma junta soldada



Fonte: Jacob (2017)

As discontinuidades volumétricas são aquelas em que se tem a interrupção física do material devido ao aparecimento de trincas, inclusões, entre outros. Sua ocorrência se dá em três dimensões, além disso, recomenda-se reparar a peça quando as discontinuidades atingem um dado tamanho ou ainda quando há extensões acumuladas entre esses elementos (SCHNAID; ODEBRECCHT, 2012). A figura 5 mostra inclusões em cordões de solda.

Figura 5 – Inclusões em cordões de solda



Fonte: (WAINER, et al., 2004, p.466).

2.3 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Ensaio não destrutivo (END) consiste em técnicas para inspecionar máquinas e equipamentos sem lhes causar danos. Por meio desses testes consegue-se detectar falta de homogeneidade ou falhas por meio de princípios físicos e ainda testar peças semiacabadas, ou acabadas para avaliar sua qualidade sem impactar o uso posterior dos itens inspecionados (LEITE et al., 2017).

Nesse cenário emerge um conceito relevante, os defeitos, que são definidos como sendo discontinuidades que apresentam localização, dimensões, tipo e natureza que podem inutilizar os materiais caso estes não satisfaçam os requisitos mínimos estipulados. A discontinuidade, por sua vez, consiste na interrupção da microestrutura característica da peça, impactando sua homogeneidade e suas propriedades metalúrgicas, mecânicas ou físicas. Com isso, uma discontinuidade nem sempre é um defeito (SILVA et al., 2017).

Dessa forma, os ENDS englobam métodos que auxiliam a levantar informações sobre as descontinuidades e/ou defeitos de produtos, ou monitorar a degradação de estruturas, equipamentos e componentes em serviço. Com esses ensaios consegue-se atestar a qualidade de elementos soldados, sendo, em muitos casos, um diferencial competitivo para as empresas que os utilizam (BALDIM et al., 2017).

Entre os testes mais comuns podem-se mencionar correntes parasitas, emissão acústica, radiografia, partículas magnéticas, estanqueidade, líquido penetrante e ultrassom (VICENTE, 2019). É importante apontar que os ensaios de líquidos penetrantes e ultrassom serão utilizados para avaliar os cordões de solda pelo processo de eletrodo revestido e TIG, portanto, estes serão descritos a seguir.

2.3.1 Ensaio visual

Os ensaios visuais são considerados como sendo uma das mais antigas atividades de inspeção, sendo este o primeiro tipo de ensaio empregado para avaliar falhas ou anomalias em componentes. Esse tipo de ensaio se direciona diretamente a outros tipos de uma vez que por meio da visão o ser humano consegue observar e interpretar outros ensaios. Com isso, através da inspeção visual consegue-se detectar corrosão, cavidades, trincas, entre outros problemas que afetam a integridade de máquinas, equipamentos e seus componentes (GROOVER, 2017). A figura 6 mostra o ensaio visual, que foi um dos ensaios utilizados para a realização deste trabalho.

Figura 6 – Ensaio visual



Fonte: Autores (2020)

A realização dessa técnica é relativamente simples, basta o operador limpar a superfície, caso necessário e analisá-la, observando-a e comparando-a com padrões predeterminados em normas específicas. O uso desse procedimento traz vários benefícios, sendo a detecção de defeitos superficiais o principal deles. Ao se realizar o jateamento de peças, por exemplo, normalmente a superfície pode ser afetada dependendo do nível de corrosão, isto é, mais material é perdido em relação à espessura da peça nessa condição. Desse modo, ao se analisar visualmente uma superfície consegue-se detectar falhas e pontos críticos em solda, com isso evita-se

que os componentes entrem em serviço e, conseqüentemente, sua falha (SCHNAID; ODEBRECCHT, 2012).

2.3.2 Ensaio por líquidos penetrantes

O ensaio por líquido penetrante (LP) é empregado quando se deseja detectar descontinuidades superficiais nos materiais de modo geral. O teste parte da ação da capilaridade, que consiste na capacidade que o líquido apresenta de penetrar em regiões extremamente pequenas devido às suas características químicas e físicas como a tensão superficial. Vale apontar que o poder de penetração é algo importante em LP, pois, a sensibilidade do ensaio tem relação direta com esse elemento (SOARES et al., 2017). A figura 7 mostra o ensaio por LP.

Figura 7 – Ensaio por LP



Fonte: Santos (2015)

Dessa forma, Vicente (2019) afirma que o ensaio por LP visa garantir a qualidade das peças através da geração de imagens visuais que tem a capacidade de revelar descontinuidades superficiais sem danificá-las. Com isso, o sucesso do teste varia em função da visibilidade da indicação. É preciso mencionar que, inicialmente, aplica-se um líquido com propriedades e características especiais na superfície do componente desejado. Após isso, permite-se que o líquido aja na região, culminando assim na sua penetração em descontinuidades. Em seguida, remove-se

o excesso de material e aplica-se o revelador. De acordo com Santos (2017), o revelador atua retirando o líquido que está na descontinuidade, resultando na imagem deste elemento na superfície da peça, que é avaliada segundo as normas requeridas. Assim, o ensaio consiste em 11 etapas, que são:

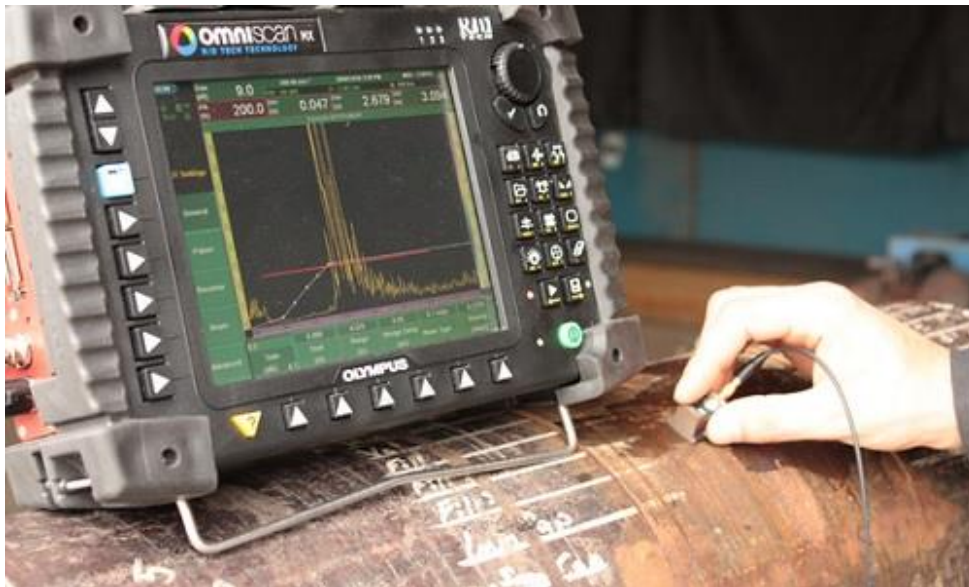
- a) Preparar a superfície ou limpá-la.
- b) Aplicar o penetrante.
- c) Deixar o penetrante agir.
- d) Remover o excesso de penetrante.
- e) Secar a peça caso o revelador seja não aquoso ou seco.
- f) Aplicar o revelador.
- g) Deixar o revelador agir.
- h) Inspecionar o componente e enquadrá-lo nas normas específicas que tratam dos critérios de aceitação e rejeição.
- i) Redigir o relatório com os resultados observados.
- j) Limpar a peça a fim de retirar o penetrante de dentro das descontinuidades, revelador e o penetrante da superfície.
- k) Proteger a superfície, embalar a peça e identificá-la.

2.3.3 Ensaio por ultrassom

No ensaio de ultrassom, introduz-se um feixe sonoro com alta frequência no componente ou no material de interesse a fim de dimensionar, localizar e detectar descontinuidades superficiais ou internas existentes. Com isso, a informação gerada é empregada para determinar a conformidade do item com as especificações de fabricação, por exemplo. Além disso, consegue-se gerar dados acerca dos equipamentos em operação no que se refere à mecânica da fratura (NASCIMENTO et al., 2019).

Diante do exposto, o feixe sonoro é emitido no material, como mencionado anteriormente e durante o seu percurso no interior do componente pode ocorrer reflexões nas interfaces que existem na peça, gerando padrões que afetam o feixe. Desse modo, é possível levantar elementos que atuam como interface, que é o caso da falta de penetração, falta de fusão, dupla laminação, inclusões diversas, trincas e poros, por exemplo (VICENTE, 2019). A figura 8 mostra a realização de um ensaio de ultrassom.

Figura 8 – Ensaio de ultrassom



Fonte: Santos (2015)

Assim, a técnica de ultrassom é aplicável a produtos laminados, fundidos, forjados, juntas soldadas, entre outros. Por meio desse método obtêm-se informações acerca da redução de espessura em componentes por causa de processos como erosão e/ou corrosão, além de auxiliar a determinar o nível de tensão residual e prever o tamanho do grão em peças metálicas (SOARES, 2019).

3 METODOLOGIA

No que se refere aos objetivos, este trabalho pode ser classificado em explicativo, no qual Gil (2008) aponta que esses estudos buscam compreender os fatores associados à ocorrência de eventos. Quanto à natureza do trabalho este é aplicado, no qual os autores constataram, na prática um evento a fim de solucioná-lo. Quanto à forma de abordagem do problema, foi utilizada uma abordagem qualitativa, no qual as pesquisas qualitativas são aquelas que requerem a análise indutiva após a realização das pesquisas. Quanto ao método, escolheu-se uma pesquisa de campo.

Desse modo, esta pesquisa explicou o comportamento dos processos de soldagem por ER e TIG na empresa X, que atua na fabricação e na inspeção de componentes mecânicos utilizando aço carbono. A coleta dos dados se deu inicialmente com um levantamento bibliográfico sobre o tema estudado.

Posteriormente foram selecionados materiais para realização de ensaios de campos de acordo com os objetivos do trabalho de se analisar os cordões de soldas através dos processos de soldagem ER e TIG. Os materiais a serem soldados para análise, são de aço carbono API 5L GR B de 5,5 milímetros de espessura, sendo que ambos os processos de soldagem serão aplicados em 2 tubos de mesmas dimensões e de mesmo material. Este tipo de tubulação é amplamente utilizada nos processos de transporte de óleo, gás, água, ar comprimido e etc.

Após a seleção dos materiais, será realizada a deposição de um cordão de solda utilizando o processo ER e outro empregado o processo TIG. A soldagem TIG utilizará a vareta de adição ER 70S-3 com diâmetro de 2,4 milímetros com a corrente variando de 80 a 110 Amperes e a tensão variando entre 10 e 15 volts. O gás de alimentação é o argônio com a vazão variando entre 10 e 15 litros por minuto.

O processo de eletrodo revestido, por sua vez, será executado com o eletrodo E7018 com diâmetro de 2,5 milímetros com a corrente variando de 80 a 110 Amperes e a tensão variando entre 22 e 28 volts. Vale mencionar que esses parâmetros foram escolhidos devido a estes serem utilizados na empresa para esse material, além disso, são aqueles que apresentam juntas soldadas com boas propriedades mecânicas. O quadro 3 mostra os parâmetros de soldagem empregados no processo de soldagem.

Quadro 3 – Parâmetros de soldagem

PARÂMETROS DE SOLDAGEM								
PASSE	TIPO DE PROCESSO	ESPECIF. NORMA ASME	ESPECIFICAÇÃO DO MATERIAL DE ADIÇÃO	DIÂMETRO DO ELETRODO (mm)	CORRENTE POLARIDADE	CORRENTE (A)	TENSÃO VOLT(V)	GÁS DE PROTEÇÃO TOCHA (l/min) VAZÃO/GÁS
TODOS	TIG	SFA 5.18	ER 70S-3	2,4	CC(-)	80 a 110	10 a 15	10 a 15 ARGÔNIO
TODOS	ER	SFA 5.1	E 7018	2,5	CC(+)	80 a 100	22 a 28	N/A

Fonte: Autores (2020)

As figuras 9 e 10 mostram os consumíveis utilizados para soldagem dos dois processos. Pode-se observar a vareta de adição ER70S-3 de diâmetro de 2,4 mm para soldagem no processo TIG e o eletrodo revestido E 7018 com diâmetro de 2,5 mm para o processo ER.

Figura 9 – Metal de adição TIG



Fonte: Autores (2020)

Figura 10 – Metal de adição ER



Fonte: Autores (2020)

Os ENDS utilizados foram a inspeção visual, os ensaios por líquido penetrante e por ultrassom para avaliar a região soldada em ambos os tubos soldados com os diferentes processos.

O ensaio LP foi realizado com o solvente e o penetrante, fabricados pela Metal-Check, sendo que a referência comercial do primeiro é E-59 e a do segundo é VP-30. O revelador também é fabricado pela Metal Check e sua referência comercial é D-70. O ensaio foi executado em consonância com as etapas descritas na seção 2.3.2, utilizando a luz natural de 1000 lux em que se analisou a região de goivagem e de acabamento.

O ensaio por ultrassom foi realizado com o aparelho USM 35 pela técnica de pulso seco com o acoplante metil. A frequência do ensaio será de 4 Mega-Hertz, sendo que para o ângulo de 0° o transdutor a ser utilizado será o MSEB 4H, enquanto que para 70° o transdutor será o MWB 70 N4 e a 60° o transdutor será o MWB 70. O

ensaio visual foi realizado de acordo com os parâmetros disponíveis na norma Petrobras N-1597 (2013).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, são apresentados os principais resultados da pesquisa a fim de que se possa atingir os objetivos propostos para a pesquisa. São discutidas questões relacionadas aos corpos de provas, os processos de soldagem, o ensaio visual, o ensaio por líquido penetrante e o ensaio por ultrassom.

4.1 CORPO DE PROVA

A figura 11 mostra as juntas preparadas após a soldagem, ou seja, o pós-soldagem. Na sequência realizou-se a limpeza das superfícies a fim de evitar a contaminação do cordão de solda com impurezas, o que afetaria os resultados da pesquisa, não permitindo mensurar adequadamente os resultados e comparar os processos.

Figura 11 – Corpos de Provas (Processo ER tubo lado esquerdo e TIG tubo lado direito)



Fonte: Autores (2020)

4.2 ANÁLISE OPERACIONAL DOS PROCESSOS DE SOLDAGEM

A soldagem realizada nos processos (TIG, ER) foram executadas por um soldador qualificado. O processo de soldagem que apresentou mais facilidade operacional foi o processo TIG, pois é uma soldagem que não existem impurezas, entretanto, a dificuldade nesse processo é a proteção contracorrente de vento evitando ter interferência no gás de proteção (argônio) para que não houvesse descontinuidades na solda. Com relação ao processo de soldagem por eletrodo revestido é necessário um conhecimento técnico melhor do soldador, pois é uma soldagem que exige um controle operacional aprimorado e uma limpeza em cada passe de solda, sendo necessária uma limpeza maior da região soldada, entretanto sendo altamente suscetível à inclusão de escória, mordeduras, dentre outras descontinuidades.

No quadro 4 mostra o registro do tempo executado por minutos para realização das duas juntas de solda.

Quadro 4 – Registro operacional dos tempos de soldagem

REGISTRO OPERACIONAL						
PASSE	TIPO DE PROCESSO	RAIZ (MIN)	REFORÇO (MIN)	ENCHIMENTO (MIN)	ACABAMENTO (MIN)	TEMPO TOTAL DE SOLDAGEM (MIN)
TODOS	TIG	8	6	9	7	30
TODOS	ER	12	9	13	11	45

Com base nos dados verificados no Quadro 4 é possível perceber que o processo TIG apresenta maior produtividade, ou seja, menor tempo necessário para preenchimento completo do cordão de solda, quando comparado com o processo ER. Esta diferença de produtividade se dá principalmente em função da necessidade de limpeza de cada passe de solda no processo ER, enquanto no processo TIG não há esta necessidade.

Os dois processos têm vantagens e desvantagens, sendo a soldagem ER mais utilizada no campo ou em indústrias, bem como em locais abertos que tem corrente de vento, pois, tem o revestimento com a função de proteção contra contaminações atmosféricas. Já a soldagem TIG tem uma desvantagem no que se refere a soldagem em campo ou em locais abertos, pois, nesse processo é necessária uma proteção contracorrente de vento para a execução da soldagem. Com isso, em campo para executar a soldagem TIG é necessário usar barraca para proteção contracorrente de vento, para minimizar as condições do vento. Neste trabalho, as soldas dos corpos de prova foram executadas num local com proteção para o vento e atendendo as exigências de cada processo de soldagem.

Vale mencionar que a soldagem foi realizada na posição plana para ambos os processos ER e TIG. Esta informação e demais detalhes complementares inerentes às especificações de soldagem encontram-se no relatório de soldagem que pode ser observado na figura 12 em que se apresentam os detalhes da soldagem executada.

Figura 12 – Relatório de soldagem

Instrução de Execução e Inspeção de Soldagem										Nº	T 01-001-IV						
SERVIÇO										REV.	1						
MONTAGEM / SUBSTITUIÇÃO DE TUBULAÇÃO DE PROCESSO										DATA	18/2019						
CONTRATO: 5905.0115822.19-2										FOLHA	1/1						
NORMAS DE REFERÊNCIA										CLASSE PRESSÃO	SPEC.						
ASME B 31.3 - 2018 / N 115H / N 133N										600 a 1500#	GLP / GÁS NATURAL (N 115H - ANEXO E)						
NOTA: TODAS										CAT. FLUIDO	PR. PROJETO						
DM: TODAS										1	TEMP. PROJETO						
PAQ: 1										1/2	0 a 150 °C						
G.Nº: 814										1	IV						
CL. INSPEÇÃO: 1										NORMAL	00s 7 kg/cm ²						
SECT	MATERIAL		EPS	ROPS	PROCESSO SOLDAGEM	TIPO DE JUNTA	POSICÃO SOLDAGEM	CROQUI	B. POL.	INSPEÇÃO / TESTE (%)							
	A	B								DMA VA	DMF	VS	FM	RAO US	MF	PMI	TH
A	API 5L Gr. B ASTM A 105 ASTM A 234 Gr. WPB	API 5L Gr. B ASTM A 105 ASTM A 234 Gr. WPB	TXE 01-07	RQPS TXE 01-07	ER	JTPT	TODAS		TODOS	100	100	100 (B)	100 (B)	100 (A/B)	N/A	N/A	100
B	API 5L Gr. B ASTM A 105 ASTM A 234 Gr. WPB	API 5L Gr. B ASTM A 105 ASTM A 234 Gr. WPB	TXE 01-07	RQPS TXE 01-07	TIG	JTPT	TODAS		TODOS	100	100	100 (B)	100 (B)	100 (A/B)	N/A	N/A	100
C	API 5L Gr. B ASTM A 105 ASTM A 234 Gr. WPB	API 5L Gr. B ASTM A 105 ASTM A 234 Gr. WPB	TXE 01-05	RQPS TXE 01-05	TIG	JTPT	TODAS		TODOS	100	100	100 (B)	100 (B)	100 (A/B)	N/A	N/A	100

Fonte: Autores (2020)

4.3 INSPEÇÃO VISUAL

A inspeção visual foi realizada após a soldagem, no qual foram medidas as larguras e alturas dos cordões de solda, além de verificar a possível presença de descontinuidades na superfície das soldas. As ferramentas utilizadas nesse processo foram o paquímetro e o calibre de solda. A figura 13 ilustra a realização desse procedimento usando o paquímetro para medição da largura dos cordões de solda.

Figura 13 – Inspeção Visual



Fonte: Autores (2020)

A figura 14, por sua vez ilustra o relatório de soldagem do processo de inspeção visual, que foi realizado em consonância com a norma N 1597 da Petrobrás.

Figura 14 – Relatório de inspeção do ensaio visual

RELATÓRIO DE INSPEÇÃO VISUAL DE SOLDA										Nº: 001/2020		
CLIENTE: N/A		CONTRATO: N/A		LOCAL: São Mateus			AS: N/A		OM / NOTA: N/A		DATA: 19/08/2020	
IDENTIFICAÇÃO DA PEÇA / TAG LINHA: Corpos de Teste para TCC					DESENHO DE REFERÊNCIA: N/A							
TIPO DE CARREGAMENTO: N/A		NÍVEL DE INSPEÇÃO: CLASSE IV		SOLICITAÇÃO IEIS(SI): N/A			MATERIAL BASE: AÇO CARBONO					
PROCEDIMENTO / REV.: PO 040 / 01				NORMA FABRICAÇÃO / EDIÇÃO: PETROBRAS N-1597 / Ago. 2013				CRITÉRIO ACEITAÇÃO: ASME 31.3				
MÉTODO DE ENSAIO: DIRETO					CONDIÇÕES DA SUPERFÍCIE: ESCOVADA / LIMPA							
JUNTA	Ø	ESPESSURA	SOLDADOR	IEIS	SKT	Processo de Soldagem	Classificação Consumíveis	LAUDO	OBSERVAÇÕES			
1	2	5,54	E-01	T-01-001-IV	A	ER	ER 7018	A				
2	2	5,54	E-01	T-01-001-IV	C	TIG	ER 70S-3	A				
NOTAS: Corpos de Teste para TCC, Soldagem TIG e ER					INSTRUMENTO TAG:		HI-LO CE-05695		CERTIF.: DI 2008/19			
					INSTRUMENTO TAG:		CALIBRE DE SOLDA CE-05706		CERTIF.: DI 12 2012/19			
CÓDIGO DE DESCONTINUIDADES Sobreposição – SP Mordedura – MO Porosidade – PO Trinca – TR							Falta de Fusão – FF Falta de Penetração – FP Reforço Excessivo – RE Respingo – RP			CÓDIGO PARA LAUDO: Aprovado – A Rejeitado – R Necessário Exame Complementar - NEC		
INSPEÇÃO DE SOLDAS N1 Roni Cesar Rodrigues de Oliveira IS N1 - SNQC 9995 LP N2 G - SNQC 25622 CREA: ES-01/7761/TD INSPEÇÃO DE SOLDAS				COORDENADOR CQ ELFE Operação e Manutenção S/A RONI CESAR RODRIGUES DE OLIVEIRA Inspetor de Solda IS-9995 N1 Inspetor LP-N2-G / PM-N2-S-Y SNQC-25622 Inspetor de Dutos ID:2801				CLIENTE / CERTIFICADORA				

Fonte: Autores (2020)

4.4 INSPEÇÃO POR LÍQUIDO PENETRANTE

A inspeção por LP foi feita seguindo os passos descritos no item 2.3.2. A figura 15 ilustra a realização desse procedimento, no qual se nota que após a aplicação do revelador (região branca) nos cordões de solda não foram observadas descontinuidades. Caso houvesse algum defeito como trincas ou porosidades haveria regiões vermelhas no revelador, pois, descontinuidades não são preenchidas com revelador.

Figura 15 – Inspeção por Líquido Penetrante



Fonte: Autores (2020)

A figura 16 mostra o laudo de inspeção por líquido penetrante das juntas soldadas. Como citado anteriormente, não foram constatados defeitos, portanto, ambos os cordões foram aprovados.

Figura 16 – Relatório da inspeção por LP

RELATÓRIO DE INSPEÇÃO LÍQUIDO PENETRANTE				Número:	001/2020	
				Data:	19/08/2020	
				Folha:	1 de 1	
Cliente:	N/A	Contrato:	N/A	Procedimento / Rv.:	PO - 041	
Localização:	São Mateus	Material:	AÇO CARBONO	Descrição:	Corpos de Prova para TCC	
AS:	N/A	OSE:	N/A	Desenho / Isométrico de Referência / Rv.:	N/A	
				Tag / Identificação:	Corpos de Prova para TCC	
				Norma / Rv.:	N-1596 / H	
				Plataforma:	N/A	
NOME	FABRICANTE	REF. COMERCIAL	LOTE	VALIDADE		
SOLVENTE	METAL-CHEK	E-59	LT-19-0060	jan/21		
PENETRANTE:	METAL-CHEK	VP-30	LT-19-0048	jan/21		
REMOVEDOR:	----	-----	-----	-----		
REVELADOR:	METAL-CHEK	D-70	LT-19-0135	jan/21		
TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE:	30 °C		LIMPEZA FINAL:	SUPERFÍCIE ESCOVADA		
EQUIP. DE ILUMINAÇÃO UTILIZADO:	LUZ NATURAL > 1000 lux					
REGIÃO ENSAIO	RAIZ	<input checked="" type="checkbox"/>	GOIVAGEM	PRIMEIRA CAMADA	CADA CAMADA	
					<input checked="" type="checkbox"/>	
					ACABAMENTO	
REGISTRO DE RESULTADOS						
N.º JUNTA	SINETE	PROCESSO SOLDER	TIPO DESCONTINUIDADE	DIMENSÃO DESCONTINUIDADE (mm)	PERCENTUAL ENSAIO	LAUDO
01	E-01	ER	----	----	100% Acabamento	A
02	E-01	TIG	----	----	100% Acabamento	A
OBSERVAÇÕES:						
1) CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO: ASME 31.3						
2) ENSAIO REALIZADO CONFORME ESPECIFICADO NA IEIS's						
LEGENDA:						
A – APROVADO		PO – PORO, POROSIDADE		FF – FALTA DE FUSÃO		
R – REPROVADO		TL – TRINCA LONGITUDINAL		IE - INCLUSÃO DE ESCÓRIA		
REC – RECOMENDAÇÃO DE EXAME COMPLEMENTAR		TT – TRINCA TRANSVERSAL		SP - SOBREPOSIÇÃO		
		TR - TRINCA RAMIFICADA		MO - MORDEDURA		
Inspetor:	Roni Cesar Rodrigues de Oliveira ISN1 - SNQC 9995 LP N-2 - SNQC 25622 CREA: ES-017761/7D	Coordenador CQ:	ELFE Operação e Manutenção S/A RONI CESAR RODRIGUES DE OLIVEIRA Inspetor de Solda IS-9995 N1 Inspetor LP-N2-01, ISN1-S-Y SNQC-25622 Inspetor de Dutos ID:2801	Cliente:		

Fonte: Autores (2020)

4.5 INSPEÇÃO POR ULTRASSOM

A inspeção por ultrassom foi executada depois de ter escovado os cordões de solda para fazer a varredura de toda a espessura do tubo, não foram detectadas descontinuidades tanto na raiz quanto no passe de enchimento e acabamento. Essa inspeção é usada para identificar alguma imperfeição na soldagem, como porosidade, mordeduras, trincas e inclusão de escória. A figura 17 mostra a realização do ensaio.


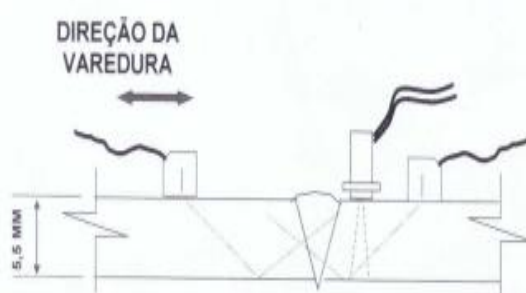


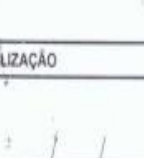
Figura 17 – Inspeção por ultrassom



Fonte: Autores (2020)

Para atestar que não foram encontradas descontinuidades nas juntas soldadas pode-se observar os relatórios gerados no processo, que são apresentados nas figuras 18 e 19.

Figura 18 – Relatório do Ultrassom ER

		RELATÓRIO DE ULTRA - SOM										REL. N.º 002 / 20				
		INTERPRETAÇÃO DE ACORDO COM A NORMA: ASME B 31.3										FOLHA: 01 / 01				
CLIENTE:		N/A			EQUIPAMENTO / OBRA: CORPO DE PROVA PARA TCC				N.º PROCED. RB-USTUB-03 REV. 2			DATA: 19 / 08 / 20				
FABRICANTE:		N/A			LOCAL DO ENSAIO: SÃO MATEUS				O.S. N.º			N/A				
MATERIAL	METAL BASE		API 5L GR B X API 5L GR B		PROC. DE SOLDAGEM				ER		METAL DE ADIÇÃO			R.E.A ER 7018		
	ESPESSURA		5,5 MM		CONDIÇÃO DA SUPERFÍCIE				ESCOVADA		TIPO DA JUNTA			TÓPO		
DADOS TÉCNICOS	APARELHO	USM 35		TRANSDUTOR	ÂNGULO REAL	FREQUÊNCIA	C.T.	GANHO PRIM.	DIR. DA VARREDURA	OBSERVAÇÃO						
	BLOCO PADRÃO	V1 / V2		MSEB 4H	0	4MHZ	0	54 DB	L.S.							
	ACOPLANTE	METIL		MWB 70 N4	70°	4MHZ	0	67 DB	T.S.							
	SENSIBILIDADE	RB 016		MWB 60 N 4	60°	4MHZ	0	76 DB	T.S.							
	TÉCNICA	PULSO ECO		---	---	---	---	---	---							
	ESCALA	0 - 200 mm		---	---	---	---	---	---							
CROQUI	ISOMÉTRICO / DESENHO	JUNTA	DIA-MÉTRIO Ø	ESPESSURA mm	SOLDADOR		DESCONTINUIDADE					TRANSDUTOR		LADO	LAUDO	OBSERVAÇÃO
		2	2"	5,5	R	E/A	N.º	AMP.	COMP.	PROF.	AFST.	ÂNGULO	PERC. SÔNICO	D. V.	---	"A"
																
OBSERVAÇÕES	DIMENÇÕES LINEARES EM MILÍMETROS															
	AFAST - AFASTAMENTO RELATIVO DO CENTRO DA SOLDA C.T. - CORREÇÃO DE TRANSFERÊNCIA AMP - AMPLITUDE DE DESCONTINUIDADE (REFERENCIA + _____ DB) DV - DIREÇÃO DE VARREDURA LAUDO "A" - APROVADO "R" - REPROVADO "REC" - RECOMENDAÇÃO DE EXAME COMPLEMENTAR															
ASSINATURA	INSPECTOR				CONTROLE DA QUALIDADE						FISCALIZAÇÃO					
	 ENILSON BER SNQC END 0886 US. N-2 S-2.1 19/08/2020				 ELFE Operação e Manutenção S/A RONI CESAR RODRIGUES DE OLIVEIRA Inspetor de Solda IS-9995 N1 Inspetor LPN2-7 / PM-N2-S-Y SNQC-2562 Inspetor de Dutos ID:2801 19/08/2020						 _____ _____					

Fonte: Autores (2020)

Figura 19 – Relatório do Ultrassom TIG

RB TEST		RELATÓRIO DE ULTRA - SOM										REL. N.º 001 / 20				
		INTERPRETAÇÃO DE ACORDO COM A NORMA: ASME B 31.3										FOLHA: 01 / 01				
		DATA: 19 / 08 / 20														
CLIENTE:		N/A				EQUIPAMENTO / OBRA: CORPO DE PROVA PARA TCC				N.º PROCED. RB-USTUB-03 REV. 2						
FABRICANTE:		N/A				LOCAL DO ENSAIO: SÃO MATEUS				O.S. N.º N/A						
MATERIAL	METAL BASE		API 5L GR B X API 5L GR B		PROC. DE SOLDAGEM		TIG		METAL DE ADIÇÃO		R.E.A ER70S 3					
	ESPESSURA		5,5 MM		CONDIÇÃO DA SUPERFÍCIE		ESCOVADA		TIPO DA JUNTA		TÔPO					
DADOS TÉCNICOS	APARELHO	USM 35	TRANSDUTOR		ÂNGULO REAL	FREQUÊNCIA	C.T.	GANHO PRIM.	DIR. DA VARREDURA	OBSERVAÇÃO						
	BLOCO PADRÃO	V1 / V2	MSEB 4H		0	4MHZ	0	54 DB	L.S.							
	ACOPLANTE	METIL	MWB 70 N4		70°	4MHZ	0	67 DB	T.S.							
	SENSIBILIDADE	RB 016	MWB 60 N 4		60°	4MHZ	0	76 DB	T.S.							
	TÉCNICA	PULSO ECO	---		---	---	---	---	---							
	ESCALA	0 - 200 mm	---		---	---	---	---	---							
CROQUI	ISOMÉTRICO / DESENHO	JUNTA	DIAM. TRO	ESPESSURA	SOLDADOR		DESCONTINUIDADE				TRANSDUTOR		LADO	LAUDC	OBSERVAÇÃO	
			Ø	mm	R	E/A	N.º	AMP.	COMP.	PROF.	AFST.	ÂNGULO	PERC. SÔNICO	D. V.		
OBSERVAÇÕES	DIMENSÕES LINEARES EM MILÍMETROS															
	AFAST - AFASTAMENTO RELATIVO DO CENTRO DA SOLDA															
	C.T. - CORREÇÃO DE TRANSFERÊNCIA AMP - AMPLITUDE DE DESCONTINUIDADE (REFERENCIA + _____ DB) DV - DIREÇÃO DE VARREDURA LAUDO "A" - APROVADO "R" - REPROVADO "REC" - RECOMENDAÇÃO DE EXAME COMPLEMENTAR															
ASSINATURA	INSPEÇÃO				CONTROLE DA QUALIDADE				FISCALIZAÇÃO							
	 ENILSON BER SNUC ENO 0985 US N-2 S-2.1 19/08/2020				 ELFE Operação e Manutenção S/A RONI CESAR RODRIGUES DE OLIVEIRA Inspetor de Solda 15-9995-01 Inspetor LP-N2-2 / PH-N2-S-Y SNUC 25022 Inspetor de Dutos ID-3801 19/08/2020				 9 / 1							

Fonte: Autores (2020)

Vale mencionar que todos os ensaios aprovaram os cordões de solda, com isso, a aplicação de qualquer um desses processos de soldagem para união de tubos é eficiente, produzindo cordões com qualidade e com baixo índice de descontinuidades. O processo TIG foi o que apresentou cordão de solda de melhor acabamento superficial, quando comparado com o processo de soldagem ER conforme pode ser visualizado na figura 20.

Figura 20 – Corpos de Provas soldados pelo processo TIG (tubo lado esquerdo) e processo ER (tubo lado direito)



Fonte: Autores (2020)

5 CONCLUSÕES

Diante do exposto, o objetivo do trabalho de análise de juntas soldadas por processos de soldagem tungstênio inerte em gás (TIG) e eletrodo revestido (ER) através de técnicas de inspeção não destrutivas foi desenvolvido de maneira satisfatória de acordo com a metodologia de pesquisa proposta.

Os corpos de prova foram feitos de acordo com norma (ASME B 31.3), no qual utilizou-se tubos como corpos de prova para análise, pois, possui características particulares, sendo mais complexa do que a soldagem de outros tipos de estruturas constituídas por chapas, perfis entre outros.

Os processos de soldagem executados nesse trabalho demonstraram que processos distintos podem ter uma boa qualidade. O processo TIG apresentou maior facilidade e produtividade no quesito operacional e qualidade visual superior no acabamento. O processo ER apresentou menor facilidade e produtividade no quesito operacional e qualidade visual inferior no acabamento.

A realização dos ensaios não destrutivos (visual, líquido penetrante e ultrassom), com a emissão de relatórios de inspeção mostraram que são indispensáveis para a garantia da verificação de qualidade das soldas. Através do relatório de inspeção visual não foram detectadas imperfeições externas, como mordeduras, poros e geometria incorreta dos cordões de solda. Através do relatório de inspeção por Líquido Penetrante (LP) não foram detectadas imperfeições externas como trincas, porosidades, mordeduras e falta de fusão. Com relação ao relatório de inspeção por ultrassom não foram detectadas descontinuidades internas e anomalias nas soldas, tais como inclusão de escória, trincas internas, poros internos, dentre outros defeitos. Deste modo pode-se afirmar que tais resultados apontados nos relatórios de inspeção geram respaldo técnico para aprovação da qualidade nos cordões de solda de ambos os processos ER e TIG, propostos neste trabalho.

Este trabalho pode ser aplicado em diversos setores industriais que exigem qualidade em soldagem de tubulações, setores como: usinas de etanol e açúcar, papel e celulose, petróleo e gás entre outros. Como sugestão para trabalhos futuros se faz interessante analisar o comportamento de tais corpos de provas soldados pelos processos TIG e ER analisados através de ensaios destrutivos tais como ensaio de tração, compressão, dobramento e dureza. Deste modo é possível ampliar a

compreensão dos aspectos relacionados à qualidade da solda e investigar possíveis defeitos na sua microestrutura.

REFERÊNCIAS

BASTOS, J. S. et al. **Verificação da influência nas características físicas, mecânica e custo de produção, da aplicação de montagens distintas do sistema de preaquecimento em aço de ARBL SAR 80T pelo processo de soldagem por eletrodo revestido.** Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 6, p. 139-48, 2020.

GEARY, D.; MILLER, R. **Soldagem.** Porto Alegre: Bookman, 2013.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social.** 6. Ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GROOVER, M. P. **Introdução aos Processos de Fabricação.** São Paulo: GEN LTC, 2017.

JACOB, F. **6 Defeitos comuns em soldas de eletrodo revestido e como evitá-los.** 2020. Disponível em: <http://calculistadeaco.com.br/6-defeitos-comuns-em-soldas-de-eletrodo-revestido-e-como-evita-las/>. Acesso em: 15 set. 2020.

LEITE, D. U. et al. **Ensaio para determinação de resistência em juntas soldadas.** Construindo, v. 9, n. 2, p. 51-68, 2017.

MARTIM, H. C.; VILARINHO, L. O. **Estudo de Campos Magnéticos Emitidos em Processos de Soldagem Eletrodo Revestido e TIG.** Soldagem & Inspeção, v. 23, n. 2, p. 240-9, 2018.

MERLO, P. P. **Correlação entre a resistência à corrosão e as tensões residuais de um aço inoxidável lean duplex UNS S32304 submetido à processo de soldagem TIG e diferentes condições de tratamentos térmicos e resfriamento.** 2016. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.

NASCIMENTO, R. A. et al. **A importância do ensaio de ultrassom para a construção de uma linha de tubulação em aço carbono API 5L Gr.B, destinada ao transporte de hidrocarboneto em alta temperatura.** Revista Eletrônica da Estácio de Recife, v. 5, n. 2, p. 171-82, 2019.

PETROBRAS. **Norma técnica N-1597 G – Ensaio não-destrutivo visual,** 2013.

SANTOS, F. **Ensaio por líquidos penetrantes.** 2015. Disponível em: <https://fernandosantos83.wordpress.com/2015/12/01/ensaio-por-liquidos-penetrantes/>. Acesso em: 19 ago. 2020.

SANTOS, B. L. et al. **Substituição do processo de expansão pela soldagem TIG (GTAW) na fixação de tubos em trocadores de calor.** Revista Eniac, v. 9, n. 1, p. 432-44, 2017.

SCHNAID, F.; ODEBRECCHT, E. **Ensaio de Campo: e Suas Aplicações à Engenharia de Fundações.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

SILVA, V. M. C. et al. **Aplicação de ensaios não destrutivos no processo de fabricação de bases metálicas dos elevadores cremalheira.** Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v. 2, n. 4, p. 198-209, 2017.

SOARES, J. F. *et al.* **Efeito do Arrefecimento Causado pelo Fluido Durante a Soldagem em Operação em Tubulações com Espessura de Parede de 6 e 11 mm.** Soldagem & Inspeção, v. 22, n. 3, p. 149-68, 2017.

SOARES, J. C. A. **Estudo e Aplicação do Ensaio não Destrutivo por Ultrassom com a Tecnologia Phased Array.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2018. 195 p.

SOUZA, G. J. S. **Efeito do resfriamento no teor de oxigênio na soldagem com eletrodo revestido E7018 utilizando experimentos fatoriais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. 175 p.

SOUZA, S. S. et al. **Processo de Soldagem:** uma Introdução aos Princípios Básicos do Processo de Soldagem TIG Aplicado na Indústria Mecânica. Revista de Ciências Exatas e Tecnologia, v. 14, n. 14, p. 77-89, 2019.

VICENTE, A. S. F. **Detecção de dano em juntas soldadas por análise de vibrações, correntes induzidas e ultrassons.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2019. 78 p.

VILLANI, P. et al. **Soldagem:** Fundamentos e Tecnologia. 4. ed. São Paulo: GEN LTC, 2017.

WAINER, et al. **Soldagem:** Processos e Metalurgia. 4.ed. São Paulo: EDGARD BLUCHER. 2004.

ANEXO 1 – RELATÓRIO DE SOLDAGEM

Instrução de Execução e Inspeção de Soldagem										Nº	T 01-001-IV																																																
SERVIÇO: MONTAGEM / SUBSTITUIÇÃO DE TUBULAÇÃO DE PROCESSO										REV.	1																																																
NORMAS DE REFERÊNCIA: ASME B 31.3 - 2018 / N 115H / N 133N										DATA:	1/8/2019																																																
CLASSE PRESSÃO: 600 e 1500#										FOLHA:	1/1																																																
SPEIC: GLP / GÁS NATURAL (N 115H - ANEXO E)																																																											
CONTRATO: 5900.0110822-19-2																																																											
NOTA: TODAS																																																											
DM: TODAS																																																											
CROQUI																																																											
INSPEÇÃO / TESTE (%)																																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DMA VA</th> <th>DMF</th> <th>VS</th> <th>FM</th> <th>RAD US</th> <th>MF</th> <th>PM</th> <th>TH</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100</td> <td>100</td> <td>100 (E)</td> <td>100 (E)</td> <td>100 (A/B)</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td colspan="2">PRÉ-AQUECIMENTO: $\geq 15^{\circ}\text{C}$</td> <td colspan="2">MÉTODO APLICAÇÃO</td> <td colspan="4">N/A</td> </tr> <tr> <td colspan="2">INTERPASSO: $\leq 315^{\circ}\text{C}$</td> <td colspan="2">POS AQUECIMENTO</td> <td colspan="2">N/A</td> <td colspan="2">TEMPO: N/A</td> </tr> <tr> <td colspan="2">LIMPEZA INICIAL</td> <td colspan="2">LIMPEZA FINAL</td> <td colspan="2">POSIÇÃO DE SOLDAGEM</td> <td colspan="2">SOLDADEIRO</td> </tr> <tr> <td colspan="2">ESM / ESC</td> <td colspan="2">ESM / ESC</td> <td colspan="2">TODAS / ASC</td> <td colspan="2">N/A</td> </tr> </tbody> </table>										DMA VA	DMF	VS	FM	RAD US	MF	PM	TH	100	100	100 (E)	100 (E)	100 (A/B)	N/A	N/A	100	PRÉ-AQUECIMENTO: $\geq 15^{\circ}\text{C}$		MÉTODO APLICAÇÃO		N/A				INTERPASSO: $\leq 315^{\circ}\text{C}$		POS AQUECIMENTO		N/A		TEMPO: N/A		LIMPEZA INICIAL		LIMPEZA FINAL		POSIÇÃO DE SOLDAGEM		SOLDADEIRO		ESM / ESC		ESM / ESC		TODAS / ASC		N/A			
DMA VA	DMF	VS	FM	RAD US	MF	PM	TH																																																				
100	100	100 (E)	100 (E)	100 (A/B)	N/A	N/A	100																																																				
PRÉ-AQUECIMENTO: $\geq 15^{\circ}\text{C}$		MÉTODO APLICAÇÃO		N/A																																																							
INTERPASSO: $\leq 315^{\circ}\text{C}$		POS AQUECIMENTO		N/A		TEMPO: N/A																																																					
LIMPEZA INICIAL		LIMPEZA FINAL		POSIÇÃO DE SOLDAGEM		SOLDADEIRO																																																					
ESM / ESC		ESM / ESC		TODAS / ASC		N/A																																																					
OBSERVAÇÕES: A) INSPEÇÃO POR US DEVE SER APROVADA PELA BR. UTILIZAR CRITÉRIO DESCRITO ABAIXO.																																																											
B) US DEVE ATENDER OS LIMITES DE DIÂMETRO / ESPESURA DEFINIDOS NO CONTRATO.																																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DMA VA</th> <th>DMF</th> <th>VS</th> <th>FM</th> <th>RAD US</th> <th>MF</th> <th>PM</th> <th>TH</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100</td> <td>100</td> <td>100 (E)</td> <td>100 (E)</td> <td>100 (A/B)</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td colspan="2">PRÉ-AQUECIMENTO: $\geq 15^{\circ}\text{C}$</td> <td colspan="2">MÉTODO APLICAÇÃO</td> <td colspan="4">N/A</td> </tr> <tr> <td colspan="2">INTERPASSO: $\leq 315^{\circ}\text{C}$</td> <td colspan="2">POS AQUECIMENTO</td> <td colspan="2">N/A</td> <td colspan="2">TEMPO: N/A</td> </tr> <tr> <td colspan="2">LIMPEZA INICIAL</td> <td colspan="2">LIMPEZA FINAL</td> <td colspan="2">POSIÇÃO DE SOLDAGEM</td> <td colspan="2">SOLDADEIRO</td> </tr> <tr> <td colspan="2">ESM / ESC</td> <td colspan="2">ESM / ESC</td> <td colspan="2">TODAS / ASC</td> <td colspan="2">N/A</td> </tr> </tbody> </table>										DMA VA	DMF	VS	FM	RAD US	MF	PM	TH	100	100	100 (E)	100 (E)	100 (A/B)	N/A	N/A	100	PRÉ-AQUECIMENTO: $\geq 15^{\circ}\text{C}$		MÉTODO APLICAÇÃO		N/A				INTERPASSO: $\leq 315^{\circ}\text{C}$		POS AQUECIMENTO		N/A		TEMPO: N/A		LIMPEZA INICIAL		LIMPEZA FINAL		POSIÇÃO DE SOLDAGEM		SOLDADEIRO		ESM / ESC		ESM / ESC		TODAS / ASC		N/A			
DMA VA	DMF	VS	FM	RAD US	MF	PM	TH																																																				
100	100	100 (E)	100 (E)	100 (A/B)	N/A	N/A	100																																																				
PRÉ-AQUECIMENTO: $\geq 15^{\circ}\text{C}$		MÉTODO APLICAÇÃO		N/A																																																							
INTERPASSO: $\leq 315^{\circ}\text{C}$		POS AQUECIMENTO		N/A		TEMPO: N/A																																																					
LIMPEZA INICIAL		LIMPEZA FINAL		POSIÇÃO DE SOLDAGEM		SOLDADEIRO																																																					
ESM / ESC		ESM / ESC		TODAS / ASC		N/A																																																					
OBSERVAÇÕES: A) INSPEÇÃO POR US DEVE SER APROVADA PELA BR. UTILIZAR CRITÉRIO DESCRITO ABAIXO.																																																											
B) US DEVE ATENDER OS LIMITES DE DIÂMETRO / ESPESURA DEFINIDOS NO CONTRATO.																																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DMA VA</th> <th>DMF</th> <th>VS</th> <th>FM</th> <th>RAD US</th> <th>MF</th> <th>PM</th> <th>TH</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100</td> <td>100</td> <td>100 (E)</td> <td>100 (E)</td> <td>100 (A/B)</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td colspan="2">PRÉ-AQUECIMENTO: $\geq 15^{\circ}\text{C}$</td> <td colspan="2">MÉTODO APLICAÇÃO</td> <td colspan="4">N/A</td> </tr> <tr> <td colspan="2">INTERPASSO: $\leq 315^{\circ}\text{C}$</td> <td colspan="2">POS AQUECIMENTO</td> <td colspan="2">N/A</td> <td colspan="2">TEMPO: N/A</td> </tr> <tr> <td colspan="2">LIMPEZA INICIAL</td> <td colspan="2">LIMPEZA FINAL</td> <td colspan="2">POSIÇÃO DE SOLDAGEM</td> <td colspan="2">SOLDADEIRO</td> </tr> <tr> <td colspan="2">ESM / ESC</td> <td colspan="2">ESM / ESC</td> <td colspan="2">TODAS / ASC</td> <td colspan="2">N/A</td> </tr> </tbody> </table>										DMA VA	DMF	VS	FM	RAD US	MF	PM	TH	100	100	100 (E)	100 (E)	100 (A/B)	N/A	N/A	100	PRÉ-AQUECIMENTO: $\geq 15^{\circ}\text{C}$		MÉTODO APLICAÇÃO		N/A				INTERPASSO: $\leq 315^{\circ}\text{C}$		POS AQUECIMENTO		N/A		TEMPO: N/A		LIMPEZA INICIAL		LIMPEZA FINAL		POSIÇÃO DE SOLDAGEM		SOLDADEIRO		ESM / ESC		ESM / ESC		TODAS / ASC		N/A			
DMA VA	DMF	VS	FM	RAD US	MF	PM	TH																																																				
100	100	100 (E)	100 (E)	100 (A/B)	N/A	N/A	100																																																				
PRÉ-AQUECIMENTO: $\geq 15^{\circ}\text{C}$		MÉTODO APLICAÇÃO		N/A																																																							
INTERPASSO: $\leq 315^{\circ}\text{C}$		POS AQUECIMENTO		N/A		TEMPO: N/A																																																					
LIMPEZA INICIAL		LIMPEZA FINAL		POSIÇÃO DE SOLDAGEM		SOLDADEIRO																																																					
ESM / ESC		ESM / ESC		TODAS / ASC		N/A																																																					
OBSERVAÇÕES: A) INSPEÇÃO POR US DEVE SER APROVADA PELA BR. UTILIZAR CRITÉRIO DESCRITO ABAIXO.																																																											
B) US DEVE ATENDER OS LIMITES DE DIÂMETRO / ESPESURA DEFINIDOS NO CONTRATO.																																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DMA VA</th> <th>DMF</th> <th>VS</th> <th>FM</th> <th>US</th> <th>MF</th> <th>PM</th> <th>TH</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100</td> <td>100</td> <td>100 (E)</td> <td>100 (E)</td> <td>100 (A/B)</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td colspan="2">PRÉ-AQUECIMENTO: $\geq 15^{\circ}\text{C}$</td> <td colspan="2">MÉTODO APLICAÇÃO</td> <td colspan="4">N/A</td> </tr> <tr> <td colspan="2">INTERPASSO: $\leq 315^{\circ}\text{C}$</td> <td colspan="2">POS AQUECIMENTO</td> <td colspan="2">N/A</td> <td colspan="2">TEMPO: N/A</td> </tr> <tr> <td colspan="2">LIMPEZA INICIAL</td> <td colspan="2">LIMPEZA FINAL</td> <td colspan="2">POSIÇÃO DE SOLDAGEM</td> <td colspan="2">SOLDADEIRO</td> </tr> <tr> <td colspan="2">ESM / ESC</td> <td colspan="2">ESM / ESC</td> <td colspan="2">TODAS / ASC</td> <td colspan="2">N/A</td> </tr> </tbody> </table>										DMA VA	DMF	VS	FM	US	MF	PM	TH	100	100	100 (E)	100 (E)	100 (A/B)	N/A	N/A	100	PRÉ-AQUECIMENTO: $\geq 15^{\circ}\text{C}$		MÉTODO APLICAÇÃO		N/A				INTERPASSO: $\leq 315^{\circ}\text{C}$		POS AQUECIMENTO		N/A		TEMPO: N/A		LIMPEZA INICIAL		LIMPEZA FINAL		POSIÇÃO DE SOLDAGEM		SOLDADEIRO		ESM / ESC		ESM / ESC		TODAS / ASC		N/A			
DMA VA	DMF	VS	FM	US	MF	PM	TH																																																				
100	100	100 (E)	100 (E)	100 (A/B)	N/A	N/A	100																																																				
PRÉ-AQUECIMENTO: $\geq 15^{\circ}\text{C}$		MÉTODO APLICAÇÃO		N/A																																																							
INTERPASSO: $\leq 315^{\circ}\text{C}$		POS AQUECIMENTO		N/A		TEMPO: N/A																																																					
LIMPEZA INICIAL		LIMPEZA FINAL		POSIÇÃO DE SOLDAGEM		SOLDADEIRO																																																					
ESM / ESC		ESM / ESC		TODAS / ASC		N/A																																																					
OBSERVAÇÕES: A) APLICAÇÃO TB. PRINCIPAL X CONEXÃO FOLGADA.																																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DMA VA</th> <th>DMF</th> <th>VS</th> <th>LP</th> <th>RAD US</th> <th>MF</th> <th>PM</th> <th>TH</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100 (A/B)</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td colspan="2">PRÉ-AQUECIMENTO: $\geq 15^{\circ}\text{C}$</td> <td colspan="2">MÉTODO APLICAÇÃO</td> <td colspan="4">N/A</td> </tr> <tr> <td colspan="2">INTERPASSO: $\leq 315^{\circ}\text{C}$</td> <td colspan="2">POS AQUECIMENTO</td> <td colspan="2">N/A</td> <td colspan="2">TEMPO: N/A</td> </tr> <tr> <td colspan="2">LIMPEZA INICIAL</td> <td colspan="2">LIMPEZA FINAL</td> <td colspan="2">POSIÇÃO DE SOLDAGEM</td> <td colspan="2">SOLDADEIRO</td> </tr> <tr> <td colspan="2">ESM / ESC</td> <td colspan="2">ESM / ESC</td> <td colspan="2">TODAS / ASC</td> <td colspan="2">N/A</td> </tr> </tbody> </table>										DMA VA	DMF	VS	LP	RAD US	MF	PM	TH	100	100	100	100 (A/B)	N/A	N/A	N/A	100	PRÉ-AQUECIMENTO: $\geq 15^{\circ}\text{C}$		MÉTODO APLICAÇÃO		N/A				INTERPASSO: $\leq 315^{\circ}\text{C}$		POS AQUECIMENTO		N/A		TEMPO: N/A		LIMPEZA INICIAL		LIMPEZA FINAL		POSIÇÃO DE SOLDAGEM		SOLDADEIRO		ESM / ESC		ESM / ESC		TODAS / ASC		N/A			
DMA VA	DMF	VS	LP	RAD US	MF	PM	TH																																																				
100	100	100	100 (A/B)	N/A	N/A	N/A	100																																																				
PRÉ-AQUECIMENTO: $\geq 15^{\circ}\text{C}$		MÉTODO APLICAÇÃO		N/A																																																							
INTERPASSO: $\leq 315^{\circ}\text{C}$		POS AQUECIMENTO		N/A		TEMPO: N/A																																																					
LIMPEZA INICIAL		LIMPEZA FINAL		POSIÇÃO DE SOLDAGEM		SOLDADEIRO																																																					
ESM / ESC		ESM / ESC		TODAS / ASC		N/A																																																					
OBSERVAÇÕES: A) LP - Abós 1ª e última camadas																																																											
B) Critério de aceitação - Zero indicação																																																											