

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

MARCOS ROBERTO MARTINS VIEIRA

ANÁLISE DE TRINCAS EM JUNTAS SOLDADAS DE HASTES DE PERFURAÇÃO  
DE POÇOS ARTESIANOS

Xanxerê

2023

MARCOS ROBERTO MARTINS VIEIRA

ANÁLISE DE TRINCAS EM JUNTAS SOLDADAS DE HASTES DE PERFURAÇÃO  
DE POÇOS ARTESIANOS

Monografia apresentada ao  
curso de Engenharia  
Mecânica do Câmpus  
Xanxerê do Instituto  
Federal de Santa Catarina  
para obtenção do diploma  
de Engenheiro Mecânico

Orientadora: Vanessa  
Milhomem Schmitt

Xanxerê  
2023

V658a	<p>Vieira, Marcos Roberto Martins. Análise de trincas em juntas soldadas de hastes de perfuração de poços artesianos / Marcos Roberto Martins Vieira. — 2023. 56 p. : il., color.</p> <p>Trabalho de conclusão de curso (graduação). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - Câmpus Xanxerê. Coordenação: Vanessa Milhomem Schmitt. Inclui referências.</p> <p>1. Poços artesianos. 2. Hastes. 3. Junta Soldada. I. Schmitt, Vanessa Milhomem. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - Câmpus Xanxerê. III. Título.</p>
-------	---

Ficha catalográfica elaborada pelo Bibliotecário  
Jaison Muniz – CRB-14/1852

MARCOS ROBERTO MARTINS VIEIRA

ANÁLISE DE TRINCAS EM JUNTAS SOLDADAS DE HASTES DE PERFURAÇÃO  
DE POÇOS ARTESIANOS

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Engenharia Mecânica, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Xanxerê, 22 de novembro de 2023.



Documento assinado digitalmente

VANESSA MILHOMEM SCHMITT

Data: 11/12/2023 16:18:39-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Profa. Vanessa Milhomem Schmitt, Me.

Orientadora

Instituto Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente

FILIFE GOMES FAGUNDES

Data: 11/12/2023 18:06:29-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Filipe Gomes Fagundes , Me.



Documento assinado digitalmente

ROMULO SILVA KUNZLER

Data: 11/12/2023 16:34:53-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Rômulo Silva Kunzler

Tecnólogo em Gestão da Produção Industrial

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por me manter com saúde até esse momento.

Agradeço aos meus pais Sueli e Pedro, por sempre me apoiarem em todos os momentos, por todo empenho e dedicação em proporcionar sempre o melhor possível para que eu pudesse chegar nessa conquista.

Agradeço às minhas irmãs Ana Paula e Juliana Tais, por toda ajuda e torcida para que esse momento se tornasse possível.

Agradeço à minha namorada Marcela, pelo companheirismo, paciência e apoio nos momentos complicados.

Um agradecimento especial à minha orientadora, professora Me. Vanessa Milhomem Schmitt, por aceitar me orientar nesse trabalho tão importante da minha caminhada acadêmica, por todas as dicas, ajuda e por disponibilizar do seu tempo para contribuir com o sucesso dessa etapa.

Agradeço também ao professor Me. Filipe Gomes Fagundes e ao Tecnólogo em Gestão da Produção Industrial Rômulo Silva Kunzler, por aceitarem avaliar meu trabalho e também por apresentarem dicas importantes que certamente contribuíram para o sucesso desse trabalho.

Agradeço ao Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), em especial aos professores e demais colaboradores por toda ajuda e conhecimento repassados nesta etapa e por não medirem esforços para atender da melhor maneira possível as demandas do dia a dia dos docentes.

Agradeço meus colegas pela parceria, por toda ajuda e por estarem presentes nesse momento.

Agradeço a empresa Leão Poços Artesianos e seus proprietários, por todo apoio, entendimento da necessidade de ausência em algum momentos e por permitirem a elaboração desse estudo nas dependências da empresa.

Por fim a todos que direta ou indiretamente contribuíram para o sucesso dessa caminhada.

“Na minha vida nem tudo acontece, mas quanto  
mais a gente rala, mais a gente cresce.  
A vida me ensinou a nunca desistir,  
nem ganhar, nem perder, mas  
procurar evoluir.”  
(Thiago Castanho/ Chorão)

## RESUMO

O abastecimento de água potável é um dos serviços fundamentais para o desenvolvimento socioeconômico de uma região, e dada a sua importância o seu acesso seguro é um dos itens da lista de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas, a ser cumprido até o ano de 2030. Um dos meios de prover este abastecimento é através da perfuração de poços artesianos. Esse tipo de perfuração visa principalmente alcançar lençóis freáticos capazes de fornecer água potável, com o propósito de atender as demandas individuais ou coletivas dos seres vivos. Esse processo não sofreu grandes alterações ao longo do tempo, basicamente é utilizada uma máquina rotopneumática, em que são acopladas hastes e uma broca, sendo que o conjunto formado entre broca e haste é chamado de coluna de perfuração. A haste de perfuração é formada por um tubo que nele são encaixadas ponteiros roscados, unidas através do processo de soldagem, onde foram verificadas trincas. Neste contexto, o presente trabalho objetivou o estudo e a análise da ocorrência de trincas na junta soldada dessas hastes, identificando possíveis causas desta falha que compromete a segurança estrutural desses equipamentos. Para tanto, foram realizados ensaios não destrutivos de ultrassom nas hastes e a caracterização microestrutural dos componentes dela. No ensaio de ultrassom foram verificadas a ocorrência de trincas na região soldada, realizadas pelo processo MIG/MAG e na caracterização microestrutural foram identificadas uma microestrutura martensítica na ponteira da rosca e uma ferrítica-perlítica no tubo como recebido e aquecido. Os resultados mostraram que a soldagem de materiais com microestruturas dissimilares geram tensões residuais que acarretam no surgimento das trincas.

Palavras-Chave: Poços Artesianos, Hastes, Junta Soldada

## ABSTRACT

The supply of drinking water is one of the fundamental services for the socioeconomic development of a region, and given its importance, its safe access is one of the items on the United Nations Sustainable Development list, to be fulfilled by the year 2030. One of the ways to provide this supply is through the drilling of artesian wells. This kind of drilling aims mainly to reach groundwater capable of providing drinking water, with the purpose of meeting the individual or collective demands of living beings. This process didn't suffer big changes over time, basically a roto pneumatic machine is used, in which rods and a drill are coupled, the assembly between the drill and the rod's is called a drilling column. The drilling rod consists of a tube with threaded ends inserted into it, joined through the welding process, where cracks were verified. In this context, the present work had the objective to study and analyze the occurrence of cracks in the welded joints of these rod's, identifying possible causes of this failure that compromises the structural safety of this equipment. For this purpose, non-destructive ultrasound tests were conducted on the rods and in the microstructural characterization of its components. In the ultrasound test, the occurrence of cracks in the welded region was verified, that were done by the MIG/MAG process and in the microstructural characterization were identified a martensitic microstructure in the thread tip and a ferritic-pearlitic microstructure in the tube as received and heated. The results showed that welding materials with dissimilar microstructures generate residual stresses that result in the appearance of cracks.

Key-words: Artesian Wells, Rods, Welded Joint

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Poço artesiano instalado .....	17
Figura 2 - Desenho esquemático de uma haste de perfuração (drill pipe). .....	18
Figura 3 - Máquina perfuratriz roto- pneumática.....	19
Figura 4 - Diagrama Fe- Fe <sub>3</sub> C.....	22
Figura 5 - Exemplificação de um aço hipoeutetóide.....	23
Figura 6 - Exemplificação de aço eutetóide.....	24
Figura 7 - Exemplificação de um aço hipereutetóide .....	24
Figura 8 - Exemplificação de um aço martensítico.....	25
Figura 9 - Fluxograma da metodologia utilizada.....	34
Figura 10 - Comparação do protótipo com as hastes normais.....	35
Figura 11 - Ponteiros roscadas e tubo.....	35
Figura 12 - Temperatura de aquecimento .....	36
Figura 13 - Abertura de chanfro em V.....	37
Figura 14 - Temperatura de pré-aquecimento no chanfro.....	38
Figura 15 - Temperatura no primeiro passe.....	39
Figura 16 - Temperatura no segundo passe.....	39
Figura 17 - Ensaio por ultrassom .....	40
Figura 18 - Amostras cortadas.....	41
Figura 19 - Amostras após o processo de embutimento.....	42
Figura 20 - Processo de lixamento na politriz .....	43
Figura 23 - Tubo como recebido.....	46
Figura 24 - Microestrutura do Aço baixo carbono AISI 1015.....	47
Figura 25 - Tubo aquecido.....	48
Figura 26 - Microestrutura da ponteira rosca, posterior submetida ao processo de soldagem MIG .....	49
Figura 27 - Rosca soldada com arame tubular .....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Grupos de aços segundo as classificações AISI e SAE.....	21
---	----

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AFN – Amplitude de Faixa Nominal

A/US – Acoplante para Ultrassom

CFC – Cúbica de Face Centrada

CREA – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia

ER – Eletrodo Revestido

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

MAG – Metal Ativo Gás

MHZ - Megahertz

MIG – Metal Inerte Gás

NBR – Norma Brasileira

TR – Transdutor e Receptor

ZTA – Zona Termicamente Afetada

## LISTA DE SÍMBOLOS

Ar - Argônio

C – Carbono

°C – Graus Celsius

CO<sub>2</sub> – Gás Carbônico

He – Hélio

Kgf/cm<sup>2</sup> - Quilograma Força por Centímetro Quadrado

mm - milímetros

Mn – Manganês

nm - nanômetro

P – Fósforo

S - Enxofre

Si – Silício

µm - micrômetro

## SUMÁRIO

<b>SUMÁRIO</b> .....	<b>13</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1 Objetivos</b> .....	<b>16</b>
1.1.1 Objetivo geral.....	16
1.1.2 Objetivo específico.....	16
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1 Poço artesiano</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2 Perfuração de poços artesianos</b> .....	<b>18</b>
<b>2.3 Aços</b> .....	<b>19</b>
2.3.1 Metalurgia dos aços carbono .....	21
<b>2.4 Processos de soldagem</b> .....	<b>26</b>
2.4.1 Soldagem MIG - MAG .....	26
2.4.2 Soldagem com arame sólido.....	27
2.4.3 Soldagem com arame tubular .....	27
2.4.4 Tensões Residuais na soldagem.....	28
<b>2.5 Métodos de análise de descontinuidades na soldagem</b> .....	<b>28</b>
2.5.1 Ensaio por ultrassom.....	30
<b>2.6 Metalografia</b> .....	<b>31</b>
2.6.1 Corte.....	31
2.6.2 Embutimento.....	31
2.6.3 Lixamento .....	32
2.6.4 Polimento.....	32
2.6.5 Ataque químico.....	32
2.6.6 Análise microscópica .....	33
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>33</b>
<b>3.1 Fabricação do protótipo</b> .....	<b>34</b>
<b>3.2 Ensaio não destrutivo</b> .....	<b>39</b>
<b>3.3 Metalografia</b> .....	<b>40</b>

3.3.1 Preparação metalográfica.....	41
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>44</b>
<b>4.1 Ensaio por ultrassom .....</b>	<b>44</b>
<b>4.2 Micrografia .....</b>	<b>45</b>
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>51</b>
<b>6 RECOMENDAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>53</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O saneamento básico engloba o abastecimento de água potável, o esgotamento sanitário, o manejo e destinação adequada do lixo e o manejo das águas pluviais, considerado o conjunto de serviços fundamentais para o desenvolvimento socioeconômico de uma região, sendo um direito garantido pela Constituição Federal e instituído pela Lei nº. 11.445/2007. O abastecimento de água potável como explicitado é uma necessidade básica para a população e existem diversos meios de realizá-lo, um deles é através da perfuração de poços artesianos. O processo de perfuração é feito através de um equipamento roto-pneumático, que utiliza pressão de ar comprimido para acionar o martelo pneumático, a fim de quebrar a rocha e abrir uma cavidade no solo, na tentativa de encontrar o lençol freático que possa fornecer água potável.

Segundo, Fagundes e Andrade (2015), em áreas onde o abastecimento de água é precário, o poço artesiano pode ser uma solução viável para o problema. Quando construído de acordo com as normas e requisitos básicos, ele pode oferecer água potável para uso doméstico, agrícola ou industrial. A norma que regulamenta a construção de um poço artesiano é a NBR 12244.

O equipamento de perfuração é composto por diversos componentes, incluindo uma máquina de perfuração com acionamento hidráulico. Essa máquina é responsável pelo fornecimento do torque e do avanço na coluna de perfuração, que é a estrutura responsável por fazer o furo no solo. A coluna de perfuração geralmente é construída a partir de tubos de aço com juntas soldadas, que são chamadas de hastes de perfuração.

As hastes de perfuração são componentes cruciais no processo de perfuração, pois elas são responsáveis por transmitir a força de rotação e de avanço da perfuratriz para a broca, além de serem responsáveis por retirar o material perfurado da rocha. Sua fabricação é realizada a partir de tubos e roscas que são unidos pelo processo de soldagem, em alguns casos essa união é feita com materiais diferentes.

A união de materiais dissimilares pode causar problemas na qualidade final da solda, especialmente quando esses possuem propriedades distintas, como coeficiente de expansão térmica, dureza, ponto de fusão, entre outros. Essas diferenças podem resultar em tensões residuais na junta soldada, trincas,

porosidades, falta de fusão ou outros defeitos, Vieira (2018) corrobora dizendo que, existem diversos materiais, e que cada um deles demanda de cuidados específicos durante o processo de soldagem.

O estudo quanto ao aparecimento de trincas em juntas soldadas nas hastes de perfuração de poços artesianos, se torna plausível pela necessidade de minimizar as perdas de ferramentas, levando em consideração o alto custo do ferramental e o custo do retrabalho no conserto das hastes.

O presente trabalho tem o intuito de avaliar o aparecimento de trincas em juntas soldadas, a fim de identificar o desencadeamento das mesmas durante o processo de soldagem.

## **1.1 Objetivos**

### 1.1.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é analisar o surgimento de trincas em juntas soldadas nas hastes de perfuração de uma empresa de perfuração de poços artesianos, com o intuito de apresentar as prováveis causas do aparecimento do defeito citado.

### 1.1.2 Objetivo específico

- 1 Analisar o processo de soldagem da empresa;
- 2 Identificar os materiais utilizados na produção das hastes de perfuração;
- 3 Verificar tipos de esforços mecânicos e a contribuição para as falhas;
- 4 Verificar se a diferença entre os materiais resulta no surgimento de trincas;

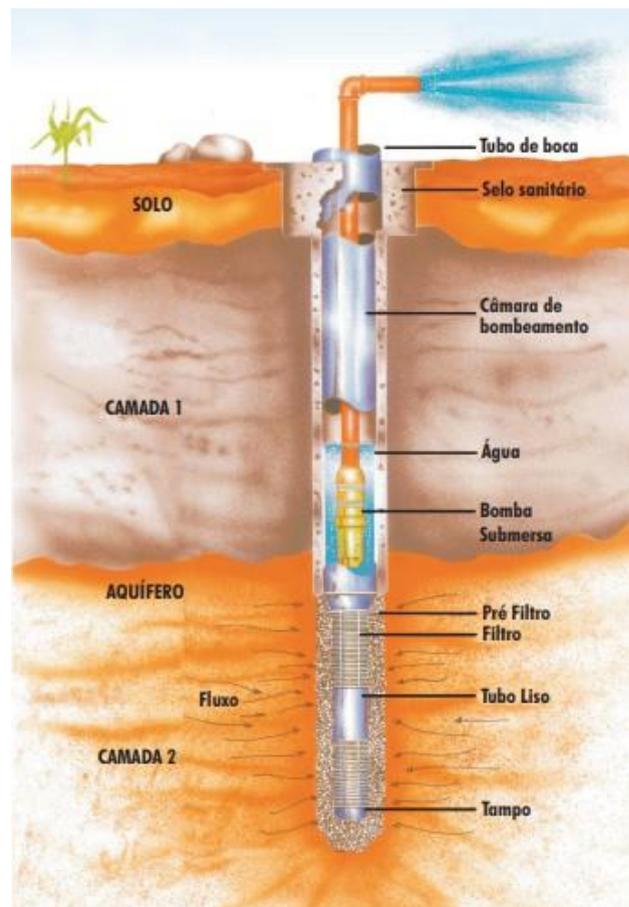
## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Poço artesiano

Segundo Vasconcelos (2014), poço artesiano é um poço que capta água de aquíferos confinados, podendo ser diferenciado em dois tipos: poço jorrante e poço não jorrante. O poço jorrante é aquele cuja a pressão da água do aquífero excede a superfície do solo, já o não jorrante necessita de equipamentos para a extração do recurso.

Hirata (2002), corrobora dizendo que um poço artesiano é um poço com diâmetro pequeno e com grande profundidade, e que a escavação é feita utilizando furadeiras gigantes, operando com ferramentas desenvolvidas para a indústria petrolífera. A Figura 1 ilustra um poço perfurado e instalado.

Figura 1 - Poço artesiano instalado



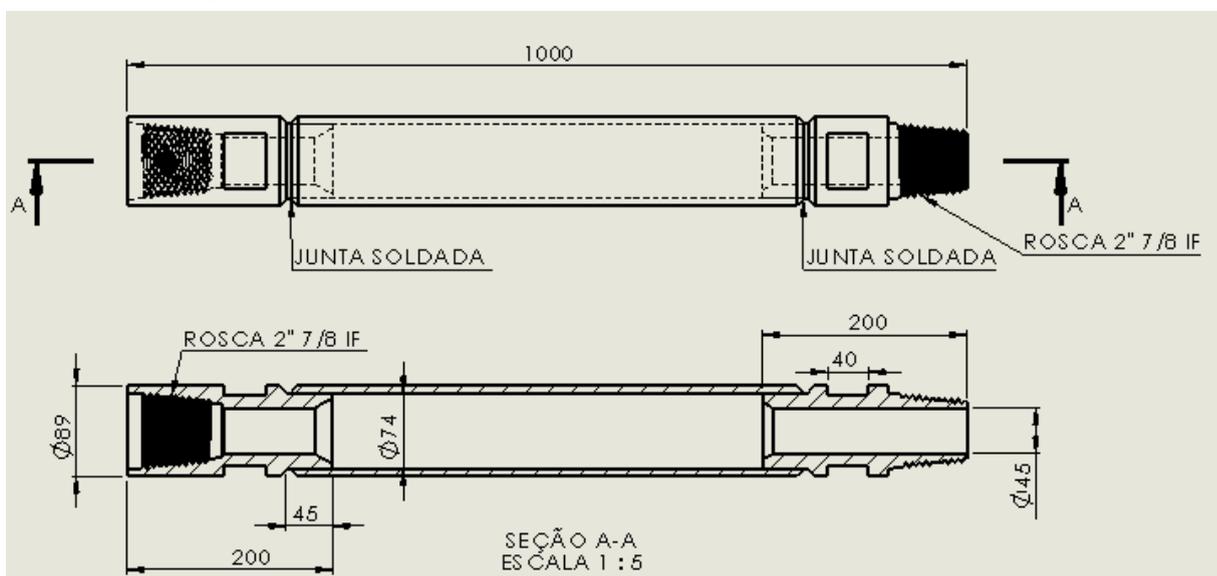
Fonte: CREA- RS

## 2.2 Perfuração de poços artesianos

A perfuração de um poço artesiano envolve o uso de equipamentos específicos, como perfuratrizes e brocas, para criar uma cavidade no solo até atingir o lençol freático, que é a camada de água subterrânea. Para que a broca de perfuração consiga alcançar o lençol freático, hastes de perfuração são unidas umas nas outras formando uma coluna de perfuração. Uma vez atingido o lençol freático, a água é bombeada para a superfície através de uma tubulação.

Hastes de perfuração (*drill pipe*), são amplamente utilizadas em escavações de poços de petróleo, porém, foram adaptadas para a perfuração de poços artesianos, e são a mais longa seção da coluna de perfuração, cada haste (*drill pipe*) consiste em um tubo, cujo comprimento e resistência variam com a necessidade e também de duas roscas denominadas (*tool joint*), roscas cônicas com alta resistência, que são responsáveis pela união da tubulação constituindo a coluna de perfuração (CARVALHO, 2018). Para melhor compreensão da construção de uma haste (*drill pipe*), a Figura 2 ilustra o desenho da mesma.

Figura 2 - Desenho esquemático de uma haste de perfuração (*drill pipe*).



Fonte: Do autor (2023)

A coluna de perfuração é composta por uma série de tubos unidos através de roscas cônicas, sendo que o diâmetro dos tubos varia dependendo da profundidade do poço, a principal função da coluna de perfuração é transmitir

energia para a broca de perfuração (MONTEIRO, 2012). Todo o processo de perfuração é feito por uma máquina perfuratriz roto-pneumática.

A perfuração roto-pneumática é uma técnica de perfuração de solo que utiliza um sistema de martelo pneumático para quebrar a rocha e abrir uma fenda no solo. Esse método é comumente usado na busca de água subterrânea, já que o lençol freático muitas vezes se encontra abaixo da superfície do solo (BORN et al, 2021). A Figura 2 mostra um exemplo de uma perfuratriz roto-pneumática.

Figura 3 - Máquina perfuratriz roto- pneumática



Fonte: Do autor (2023)

### 2.3 Aços

Os aços são ligas de ferro contendo carbono como elemento de liga principal e com teor deste até 2,1%, são um dos materiais mais importantes, versáteis e utilizados em diversas aplicações industriais. Existem diversos tipos, cada um com suas características e propriedades próprias, que são provenientes da composição química e processamento do material. Além disso, ele pode ser submetido a tratamentos térmicos e termoquímicos para melhoria das suas propriedades mecânicas, como dureza, resistência e tenacidade. (ASKLAND, 2008).

De acordo com Askland (2008), os aços são produzidos basicamente de duas maneiras: pela redução do minério de ferro ou pela reciclagem de sucata de aço. A primeira forma consiste em concentrar o minério de ferro para conter de 50 a 70% de óxido de ferro e em seguida aquecê-lo em um alto forno contendo oxigênio e coque. E então o óxido de ferro é reduzido a ferro metálico conhecido como ferro-gusa, o qual é líquido a aproximadamente 1600 °C. O ferro - gusa contém uma grande quantidade de carbono, logo é injetado gás oxigênio no conversor básico para eliminar o excesso de carbono e assim produzir o aço líquido.

Conforme Souza (1989), eles podem ser classificados de acordo com o uso, pela composição química, microestrutura ou algum tipo de propriedade. Sendo uma classificação aquela que divide os aços em: aços ao carbono e aços liga, cujas subdivisões são para aços ao carbono: baixo carbono ( $\%C < 0,30\%$ ); médio carbono ( $0,30\% \leq \%C < 0,60\%$ ); alto carbono ( $\%C \geq 0,60\%$ ). Já com relação aos aços liga seguem a seguinte subdivisão: baixa liga ( $\%$  elementos de liga  $< 5\%$ ); média liga ( $5\% \leq \%$  elementos de liga  $< 10\%$ ); alta liga ( $\%$  elementos de liga  $\geq 10\%$ ). No entanto, é importante destacar que os aços-carbono podem conter traços residuais de impurezas, que resultam do processo de obtenção do aço. Para um aço ser considerado como aço-carbono, ele não pode conter mais de 1,65% de manganês (Mn), 0,30% de silício (Si), 0,040% de fósforo (P) e 0,050% de enxofre (S) em sua composição química. Essas especificações são importantes para garantir que o aço tenha as propriedades desejadas para determinadas aplicações.

Os aços liga contém quantidades significativas de elementos de liga, como cromo, níquel, tungstênio, molibdênio, silício e cobre, em sua composição. Esses elementos de liga podem melhorar as propriedades mecânicas de aço, como resistência à tração, dureza, tenacidade e resistência à fadiga. Além disso, outros elementos de liga, como boro, titânio, vanádio e nióbio, também podem ser adicionados em pequenas quantidades para melhorar ainda mais as propriedades do aço. (SOUZA, 1989).

Souza (1989), completa dizendo que, cada elemento de liga tem uma função específica, podendo conferir ao aço propriedades como: resistência à corrosão, resistência à abrasão, resistência à oxidação, entre outras. Porém, é importante ressaltar que a adição de elementos de liga em excesso pode prejudicar as propriedades do aço, tornando-o mais difícil de ser trabalhado e podendo

comprometer sua qualidade. Por isso, a escolha dos elementos de liga e a sua quantidade devem ser cuidadosamente calculadas para obter o aço com as propriedades desejadas. A Tabela 1 exibe os grupos de aço conforme as classificações AISI.

Tabela 1 - Grupos de aços segundo as classificações AISI e SAE

<b>Grupo</b>	<b>Subgrupo ou família</b>
Aços ao Carbono	-
Aços Alta Resistência Baixa Liga	-
Aços para construção mecânica	Aços para beneficiamento; Aços para mola; Aços para cementação; Aços para rolamento; Aços para nitretação; Aços de corte livre ou usinagem fácil
Aços Ferramenta	Aços para trabalho a quente (AISI H); Aços resistentes ao choque (AISI S); Aços para trabalho a frio (AISI A, D, O, ou W)
Aços Inoxidáveis	Ferríticos; Martensíticos; Austeníticos; Duplex; Superduplex; Endurecíveis por precipitação

Fonte: Apostila de Engenharia dos materiais I professor Sérgio Souto Maior Tavares

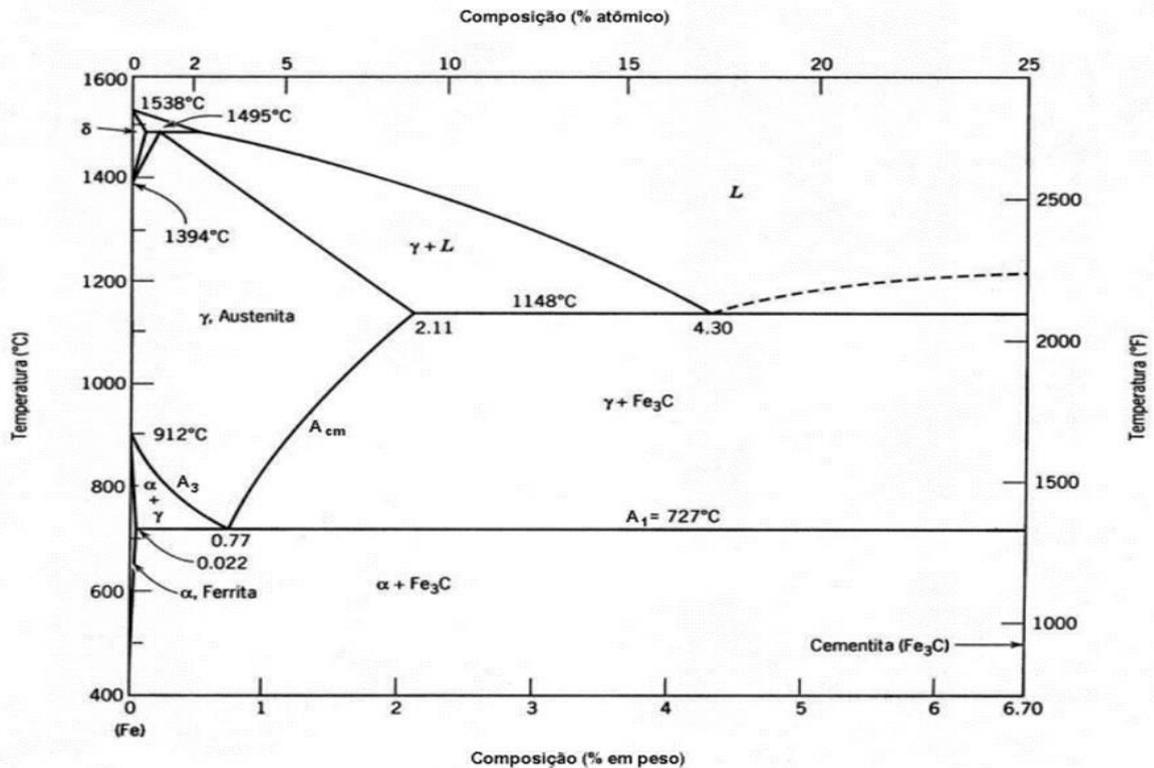
### 2.3.1 Metalurgia dos aços carbono

Segundo Tavares (2003), os diagramas de fase são gráficos que apresentam no eixo das ordenadas a temperatura e no eixo das abscissas a composição química e conforme a sua interpretação observam-se as transformações de fases, ponto de fusão, solubilidades entre outras características.

Para o estudo dos aços carbono o diagrama de fases Fe- Fe<sub>3</sub>C é o mais indicado, pois não ocorre a grafitação no estudo dos tratamentos térmicos dos aços e é na forma de cementsita que o carbono se precipita nessas ligas. A Figura 3

ilustra o diagrama Fe- Fe<sub>3</sub>C.

Figura 4 - Diagrama Fe- Fe<sub>3</sub>C



Fonte: Apostila de Engenharia dos materiais I professor Sérgio Souto Maior Tavares

Os constituintes presentes nesse diagrama de equilíbrio são: ferrita α; austenita γ; ferrita δ; cementita (Fe<sub>3</sub>C).

A ferrita α é uma solução sólida de carbono no ferro com estrutura cristalina CCC (cúbica de corpo centrado), sua solubilidade máxima ocorre na temperatura de 727°C a uma porcentagem de 0,022 de carbono, principais propriedades mecânicas baixa dureza e boa ductilidade. A austenita também é uma solução sólida de carbono no ferro, porém em uma estrutura cristalina CFC (cúbica de face centrada), e devido a essa alotropia do ferro apresenta uma solubilidade maior e a sua máxima ocorre a 1148°C com 2,11% de carbono. A ferrita delta ocorre em temperaturas mais elevadas e o carbono está em solução sólida com o ferro na estrutura cristalina CCC, sendo estável até 1538°C (ponto de fusão do ferro), e sua solubilidade máxima ocorre de 0,09% de C a 1495°C. A cementita é um carboneto de ferro de estrutura

ortorrômbica, muito dura e muito frágil. (TAVARES, 2003).

Os aços podem apresentar diversos microconstituintes dependendo da composição química e tratamentos térmicos, aos quais são submetidos. De acordo, com a porcentagem de carbono e resfriamentos lentos, oriundos da difusão eles são chamados de hipoeutetóides, quando têm menos de 0,77% de carbono, eutetóides quando possuem 0,77% de carbono (C), e hipereutetóides quando detêm mais de 0,77% de C em sua composição. Os aços hipoeutetóides apresentam como microconstituintes a ferrita e a perlita; o eutetóide 100% perlita e o hipereutetóide cementita e perlita. A perlita, que apresenta morfologia lamelar, não é uma fase, mas um constituinte formado pelas fases cementita e ferrita. (TAVARES, 2003).

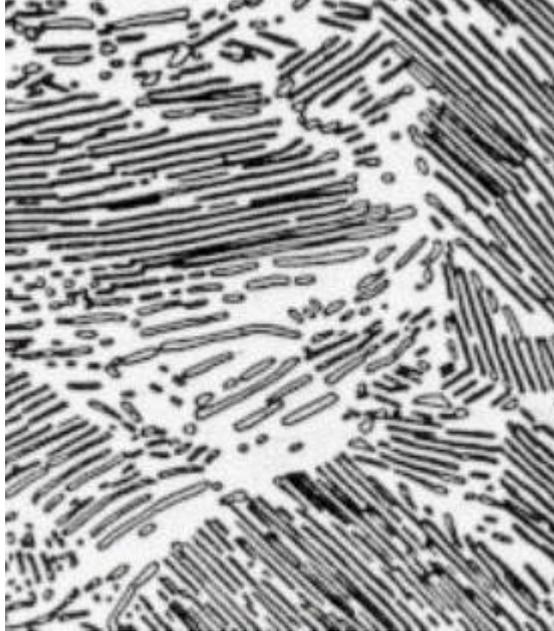
As Figuras 4, 5 e 6 apresentam as microestruturas de aços hipoeutetóides, eutetóides e hipereutetóides, respectivamente.

Figura 5 - Exemplificação de um aço hipoeutetóide



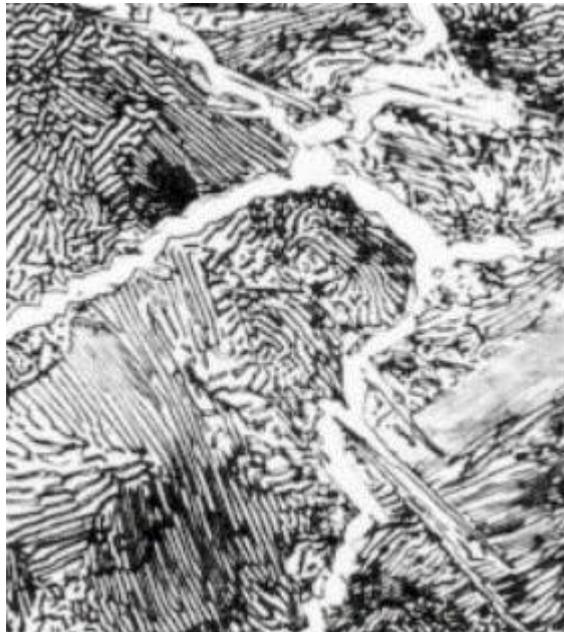
Fonte: Apostila de Engenharia dos Materiais I - Sérgio Souto Maior tavares

Figura 6 - Exemplificação de aço eutetóide



Fonte: Apostila de Engenharia dos Materiais I - Sérgio Souto Maior tavares

Figura 7 - Exemplificação de um aço hipereutetóide



Fonte: Apostila de Engenharia dos Materiais I - Sérgio Souto Maior tavares

Ainda de acordo com Tavares (2003), a martensita é um outro microconstituente encontrado nos aços, porém não é visualizada no diagrama de equilíbrio por se tratar de uma fase metaestável, oriunda de uma reação adifusional, a partir de um resfriamento rápido. Sua estrutura cristalina é tetragonal de corpo

centrado. Em sua transformação há uma expansão de 2 a 3% do volume. Quanto à morfologia a martensita apresenta-se na forma de ripas nos aços de baixo carbono e baixa liga e na forma de agulhas nos aços de alto carbono. As principais propriedades mecânicas verificadas por essa microestrutura são: elevada resistência mecânica, baixa ductilidade e alta dureza. A Figura 7 ilustra a micrografia de um aço martensítico.

Figura 8 - Exemplificação de um aço martensítico



Fonte: Apostila de Engenharia dos Materiais I - Sérgio Souto Maior tavares

Também, existe o constituinte denominado bainita, formado a partir do tratamento isotérmico austêmpera. Ela é classificada como superior e inferior conforme a temperatura na qual é formada. Tem propriedades mecânicas intermediárias entre a martensítica e a ferrítica- perlítica (TAVARES, 2003).

## 2.4 Processos de soldagem

Para Santos (2015), soldagem é o processo de união de duas ou mais peças através de calor, pressão ou ambos, e a solda é o resultado final dessa operação, onde o metal fundido é solidificado e se mistura com as peças originais, criando um cordão de solda. Os processos de soldagem variam dependendo dos materiais a serem unidos, para isso a escolha das fontes de calor varia conforme o processo a ser realizado.

Santos (2015), explica que, o metal base é geralmente o material principal que constitui a peça a ser soldada, enquanto o metal de adição é adicionado para preencher uma lacuna entre as peças, para reforçar a junta, ou até mesmo adicionar elementos de liga. O metal de adição pode apresentar a mesma composição química do metal de base ou ser similar, dependendo da aplicação específica do material.

A escolha correta da técnica de soldagem é um aspecto crucial em qualquer operação de união de materiais. Marques e Modenesi (2009), enfatizam a importância de selecionar o processo de soldagem adequado com base na aplicação e nas necessidades específicas da operação. A seguir são mostrados os tipos de processos que foram analisados neste trabalho:

### 2.4.1 Soldagem MIG - MAG

O processo de soldagem MIG - MAG, é um processo em que a união de peças metálicas é produzida pelo aquecimento destas com um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo nu, consumível, e a peça de trabalho. Este processo normalmente é semiautomático, em que a alimentação do arame eletrodo é feita mecanicamente, através de um alimentador motorizado, e o soldador é responsável pela iniciação e interrupção da soldagem, além de mover a tocha ao longo da junta. (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2009).

Almeida (2015), trata da soldagem MIG - MAG, como um processo versátil, que proporciona solda de qualidade e com alta produtividade, diferenciando dos processos manuais como eletrodo revestido. A proteção do arco e da região da solda contra contaminação atmosférica é feita por um gás ou mistura de gases, que

podem ser inertes ou ativos, sendo MIG (*metal inert gás*), quando a proteção usada é inerte (Ar ou He) e MAG (*metal active gas*), quando o gás usado é ativo ou contém misturas ricas em gases ativos (CO<sub>2</sub>), os gases também proporcionam maior estabilidade do arco elétrico e um melhor aporte térmico.

#### 2.4.2 Soldagem com arame sólido

Os arames sólidos tem como características uma fina camada cobreada, que serve para a proteção do arame contra a oxidação, e também para melhorar as condições de condutividade elétrica do processo, a qualidade da solda vai depender de vários fatores, sendo que as boas condições do arame estão entre as principais (SANTOS, 2015).

Segundo Santos (2015), existem dois tipos de arames sólidos mais utilizados comercialmente, o ER 70 S-3 e o ER70 S-6. O arame ER 70 S-3, utiliza como proteção os gases (CO<sub>2</sub>) e misturas como (Argônio + CO<sub>2</sub>), sendo bastante usado em solda em que o metal de base está livre de oxidação, já o ER70 S-6, que utiliza os mesmos gases de proteção, é amplamente usado em soldas com alta velocidade, alta corrente e é empregado na maioria dos aços.

#### 2.4.3 Soldagem com arame tubular

Segundo Joaquim (2009), soldagem com arame tubular, é um processo de fusão no qual um arame tubular é alimentado continuamente na área da solda. O calor necessário para derreter o metal de base e o arame é gerado por um arco elétrico estabelecido entre o arame e a peça a ser soldada. Durante a compressão, um fluxo é liberado do núcleo do arame para proteger o metal fundido da apresentação e outros contaminantes.

A utilização do arame tubular permite uma maior precisão e controle no processo de aderência, o que resulta em um metal depositado de alta qualidade e excelente aparência no cordão de solda. Além disso, a técnica permite uma redução significativa no número de respingos durante a soldagem, o que facilita a limpeza e manutenção da área de trabalho (JOAQUIM, 2009).

Para Joaquim (2009), os gases utilizados para a soldagem com arame tubular são geralmente os mesmos que os utilizados na MIG/MAG com arame

sólido. Os gases mais comumente utilizados na condução com arame tubular são o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) como gás ativo e argônio (Ar) e/ou hélio (He) como gases inertes. Além disso, também é possível utilizar misturas desses gases, de acordo com as especificações do fabricante do consumível.

#### 2.4.4 Tensões Residuais na soldagem

A soldagem, devido ao aquecimento localizado, provoca tensões residuais e deformações que devem ser levadas em conta no projeto e fabricação das peças. São tensões de contração devido à dilatação térmica, tensões devido às transformações alotrópicas e tensões devido às diferenças de resfriamento.

O nível de tensões depende do grau de restrição da estrutura, na direção considerada. Na maioria dos casos, a restrição é total na direção longitudinal do cordão de solda. Verificações experimentais confirmam que nessa direção as tensões estão muito próximas do limite de escoamento. (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2009)

Uma maneira eficaz de aliviar as tensões residuais é realizar um tratamento alívio de tensões, promovendo o aquecimento da região em temperaturas superiores a 500°C, para aços. É executado através do aquecimento da peça à temperatura apropriada e pela manutenção nesta temperatura por um determinado tempo, seguida de um resfriamento uniforme de modo a impedir a introdução de novas tensões. Para impedir mudanças na microestrutura ou dimensões da peça, a temperatura é mantida abaixo da temperatura crítica. (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2009)

#### 2.5 Métodos de análise de descontinuidades na soldagem

Descontinuidade em uma junta soldada refere-se a qualquer interrupção na estrutura típica da solda que pode ser causada por uma série de fatores, incluindo problemas na preparação da junta, na seleção de materiais, no processo de tratamento e na técnica utilizada pelo soldador. São consideradas três categorias básicas de descontinuidades, cabendo citar: descontinuidades dimensionais (distorção, dimensões incorretas da solda, perfil incorreto da solda);

descontinuidades estruturais (porosidades, inclusões de tungstênio, falta de fusão, falta de penetração, mordedura, trincas); e propriedades inadequadas (propriedades mecânicas, propriedades químicas). Sendo as descontinuidades estruturais, mais especificamente as trincas o objetivo do presente estudo. (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2009).

Segundo, Marques, Modenesi e Bracarense (2009), as trincas são as descontinuidades mais graves na soldagem. São fortes concentradores de tensão, podendo favorecer o início de fratura frágil na estrutura soldada. A aplicação de calor localizada, acarretando expansões e contrações localizadas no material, causa o aparecimento de tensões de tração bi e triaxiais na região da solda. Este estado de tensões, juntamente com a fragilização associada às mudanças microestruturais durante a soldagem e ou a presença de certos elementos, pode resultar na formação de trincas.

Ainda, segundo os autores acima mencionados, os dois mecanismos mais comuns de formação de trincas em soldas são: a fissuração na solidificação e a fissuração por hidrogênio.

A fissuração na solidificação, também denominada de fissuração a quente, está associada com a formação de filmes de material líquido segregado entre os contornos de grão do material nos estágios finais de sua solidificação e com a incapacidade desta estrutura resistir aos esforços decorrentes da contração do material. A formação destes filmes é promovida por certos elementos químicos capazes de sofrer forte segregação, como o enxofre e o fósforo, em ligas ferrosas e é facilitada em materiais que se solidificam com estrutura cristalina FCC. Frequentemente, este tipo de trinca aparece no centro do cordão de solda, mas pode aparecer em diferentes localizações e orientações, inclusive como micro trincas (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2009).

A fissuração pelo hidrogênio, também denominada de trinca a frio, é considerada como um dos mecanismos de formação de trincas mais comuns em aços carbono e de baixa e média liga, principalmente aqueles que são temperáveis durante a soldagem. Este tipo de trinca ocorre principalmente na ZTA, podendo ocorrer na zona fundida de aços de maior resistência mecânica. A trinca aparece certo tempo após a soldagem e cresce lentamente, podendo levar cerca de dois dias para o seu completo desenvolvimento. Quatro fatores são considerados como fundamentais para o aparecimento desta forma de fissuração: presença de

hidrogênio; microestrutura sensível (material martensítico), elevada solicitação mecânica, temperatura (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2009).

Conforme observado o processo de fabricação por soldagem pode apresentar descontinuidades e ou imperfeições, que comprometam a integridade das estruturas. Nesse contexto, métodos de análise de falhas em soldagem têm se mostrado cada vez mais importantes para identificar as causas dessas falhas e, assim, tomar as medidas necessárias para evitar problemas futuros (BASTOS; SILVA, 2018).

A seguir apresenta-se o subcapítulo ensaio por ultrassom.

### 2.5.1 Ensaio por ultrassom

Conforme Andreucci (2011), o ensaio por ultrassom é uma técnica não destrutiva amplamente utilizada para detectar defeitos ou descontinuidades internas em diversos materiais, tanto ferrosos quanto não ferrosos. Ele se baseia na emissão de ondas sonoras de alta frequência que são direcionadas para o material a ser examinado.

As ondas ultra sônicas são geradas ou introduzidas através de um elemento emissor com uma determinada dimensão e que vibra com uma certa frequência. Este emissor pode se apresentar com determinadas formas, circular ou retangular. tanto o elemento emissor e receptor, são denominados transdutores. Ao acoplar o transdutor sobre a peça é formada uma camada de ar que impede que as vibrações mecânicas produzidas pelo transdutor se propaguem, para minimizar este efeito é um usado um acoplante. O acoplante deve ser selecionado em função da rugosidade da superfície da área de varredura, o tipo de material, forma da peça, dimensões da área de varredura e posição para inspeção.

As técnicas de ultrassom empregadas são de dois tipos: impulso - eco ou pulso - eco e transparência.

A que será utilizada no presente trabalho é a pulso-eco, que consiste em utilizar somente um transdutor responsável por emitir e receber as ondas ultrassônicas que se propagam no material. Para isso, o transdutor é acoplado em somente um lado do material, podendo ser verificada a profundidade da descontinuidade, suas dimensões e localização da peça.

Para realização do ensaio é usado o aparelho de ultrassom que contém circuitos eletrônicos especiais, que permitem transmitir ao cristal piezoelétrico, através do cabo coaxial, uma série de pulsos elétricos controlados, transformados pelo mesmo em ondas ultrassônicas. Os sinais captados no cristal são mostrados na tela em forma de pulsos luminosos denominados ecos, que podem ser regulados tanto na amplitude, como posição na tela graduada e se constituem no registro das descontinuidades encontradas no interior do material. O aparelho de ultrassom é basicamente um osciloscópio projetado para medir o tempo de percurso do som na peça ensaiada, onde o espaço percorrido é proporcional ao tempo e a velocidade de propagação (ANDREUCCI, 2011).

## **2.6 Metalografia**

Para Rohde (2010), o ensaio metalográfico é uma técnica de análise microestrutural que permite estudar a microestrutura de um material metálico. Essa técnica permite a observação de diferentes fases do aço, analisar o teor de carbono, analisar o tamanho do grão do aço, a natureza entre outros constituintes. Para que o ensaio seja realizado corretamente, é necessário seguir algumas etapas.

A seguir apresentam-se os subcapítulos corte, embutimento, lixamento, polimento, ataque químico e análise microscópica.

### **2.6.1 Corte**

Conforme Rohde (2010), o corte consiste na primeira etapa do processo metalográfico para reduzir as dimensões do material. Para que ele conserve suas características originais, o processo de corte precisa ser em um equipamento que tenha lubrificação, pois o aumento de temperatura em aços pode ocasionar a mudança de sua microestrutura, o que é um problema para análise do material.

### **2.6.2 Embutimento**

O embutimento é o processo onde os corpos de prova serão incorporados a uma resina, onde a superfície de interesse do material ficará exposta para que as etapas seguintes possam ser executadas e garantir facilidade no manuseio e

segurança para o operador. Existem dois tipos de embutimento: a frio e a quente. O a frio utiliza uma mistura de resina acrílica e um catalisador e a mesma é despejada em moldes, geralmente de silicone. É um processo mais simples, mais rápido, porém não garante a planicidade do conjunto amostra + embutimento. Já a quente utiliza uma máquina de embutir que através de calor e pressão realiza a sinterização da resina e assim gera o embutimento. É um processo mais demorado, não pode ser usado para todos os tipos de materiais, porém apresenta uma superfície mais plana, garantindo melhor qualidade, (ROHDE 2010).

### 2.6.3 Lixamento

Segundo Rohde (2010), o lixamento das amostras é uma etapa importante e também delicada do processo, que envolve a remoção gradual de camadas finas de material da superfície da amostra, com o objetivo de obter uma superfície plana e polida para que possa ser observada em um microscópio.

### 2.6.4 Polimento

Após a etapa de lixamento, a amostra é polida usando um disco de polimento com uma massa abrasiva. A massa abrasiva é geralmente uma mistura de água e pó abrasivo, como óxido de alumínio ou diamante, que é aplicada no disco de polimento. A amostra é mantida em contato com o disco de polimento enquanto gira, de forma a produzir uma superfície brilhante e uniforme, (ROHDE 2010).

### 2.6.5 Ataque químico

De acordo com Rohde (2010), o ataque químico é a etapa em que a superfície é exposta a um reagente por um determinado período de tempo, geralmente variando de alguns segundos a minutos. O reagente irá reagir com os componentes químicos da superfície da amostra, criando produtos de reação que tem diferentes propriedades ópticas e eletroquímicas, causados por uma mudança de contraste na superfície.

### 2.6.6 Análise microscópica

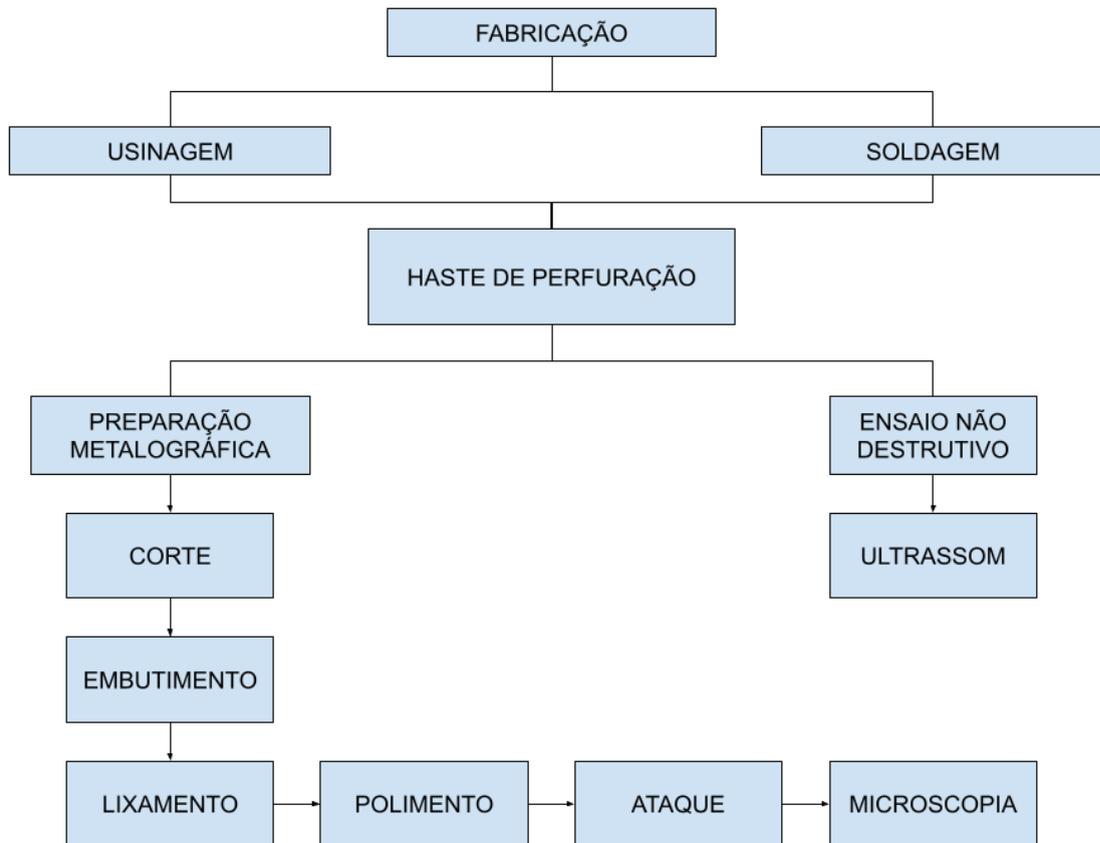
A microscopia no processo metalográfico consiste em analisar a estrutura dos metais e ligas metálicas por meio de um microscópio óptico ou eletrônico. Através da análise microscópica, é possível identificar as características dos materiais tais como, a estrutura cristalina, a presença de inclusões, trincas, poros e outras imperfeições, (ROHDE 2010).

## 3 METODOLOGIA

No presente trabalho realizou-se uma abordagem de pesquisa aplicada experimental, buscando resultados qualitativos de análise de juntas soldadas em hastes de perfuração de poços artesianos. Este tipo de abordagem de pesquisa científica envolve a aplicação de técnicas e métodos experimentais para testar hipóteses e validar teorias.

Para realizar a pesquisa de maneira mais clara e organizada, desenvolveu-se um fluxograma, seguindo uma sequência de etapas que tornaram possível a visualização dos objetivos alcançados, conforme a Figura 8.

Figura 9 - Fluxograma da metodologia utilizada



Fonte: Do autor (2023)

### 3.1 Fabricação do protótipo

A fim de compreender melhor as reações nas juntas soldadas, fabricou-se um protótipo de haste de perfuração, em conformidade com as etapas de fabricação da empresa utilizando análise por semelhança geométrica, ao construir um modelo em escala reduzida 6:1.

A haste do protótipo é formada por um tubo com dimensões de 89 mm de diâmetro externo e parede de 8 mm, também conta com duas ponteiros roscadas em cada uma das extremidades, sendo que o diâmetro externo é igual ao diâmetro do tubo e o furo possui um diâmetro de 45 mm, e as roscas que fazem a união das hastes são roscas cônicas de 2" 7/8 IF, (descarga interna) e para uni-las ao tubo é utilizado o processo de soldagem. Em uma união tubo e ponteira foi realizado o processo de soldagem MIG e na outra extremidade para unir os componentes o foi feito processo de soldagem por arame tubular.

A Figura 9 ilustra a proporcionalidade entre as hastes e o protótipo, além de identificar qual extremidade foi soldada com cada processo especificado anteriormente.

Figura 10 - Comparação do protótipo com as hastes normais



Fonte: Do autor (2023)

O processo de fabricação iniciou-se pela usinagem em torno convencional das ponteiros roscadas (*tool joint*), deixando uma medida com interferência, que pode variar de 1 a 2 décimos de milímetro. A Figura 10 ilustra as ponteiros roscadas.

Figura 11 - Ponteiros roscadas e tubo



Fonte: Do autor (2023)

Na sequência do processo foi feito o aquecimento do tubo para o encaixe da ponteira, através da união por interferência mecânica, o aquecimento foi realizado utilizando um maçarico, sendo que a temperatura de aquecimento pode variar de 700°C a 800°C, de acordo com as normas e procedimentos da empresa. A Figura 11 exibe a aferição de temperatura do tubo que foi realizada de forma manual, utilizando um pirômetro da marca Minipa modelo MT-350A.

Figura 12 - Temperatura de aquecimento

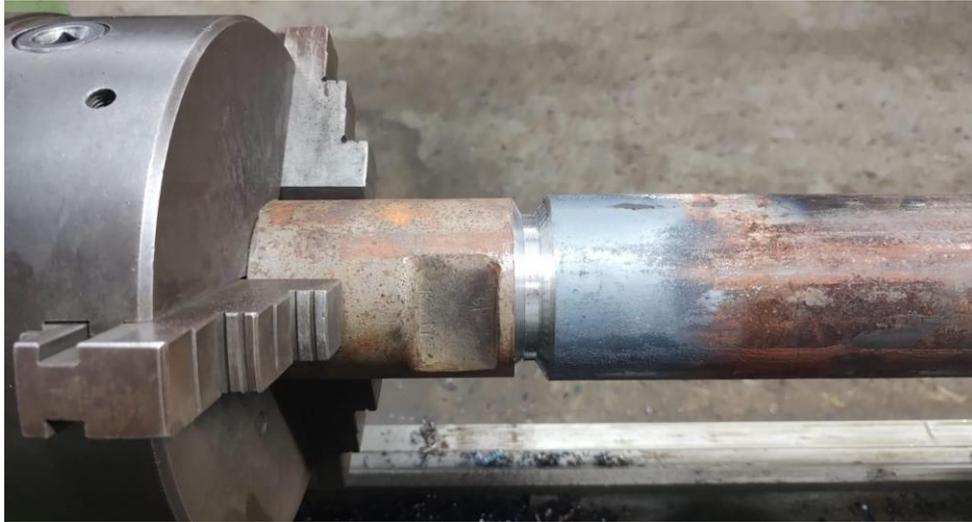


Fonte: Do autor (2023)

O aquecimento foi necessário para dilatar o tubo antes de fazer o encaixe das ponteiros roscadas. Quando o material é aquecido, ele tende a se expandir devido ao aumento da energia térmica das partículas que o compõem.

Após o aquecimento e o encaixe das ponteiros roscadas, a haste foi levada para o torno convencional para realizar o ajuste dos centros e também usinar a abertura de um chanfro em V, para que posteriormente fosse realizado o processo de soldagem. A Figura 12 ilustra a haste pronta para ser soldada.

Figura 13 - Abertura de chanfro em V



Fonte: Do autor (2023)

Anteriormente aos processos de soldagem no protótipo, foi realizado o pré-aquecimento a uma temperatura que variou de 200°C a 300°C, sendo que o tempo estimado para alcançar essa temperatura foi em torno de 2 minutos conforme ilustrado pela Figura 13. O pré-aquecimento reduz a tensão residual na junta soldada, diminuindo assim a probabilidade de imperfeições e descontinuidades.

Para soldagem com processo MIG/MAG foi utilizado o arame sólido ER 70s-6, o qual é comum na operação da empresa, e mistura dos gases de proteção argônio e dióxido de carbono, sendo que 85% de argônio e 15% de dióxido de carbono. Na outra extremidade da haste onde foi realizado o processo por arame tubular, foi utilizado o arame E71T-1, recomendado pelo fornecedor, com gás de proteção dióxido de carbono.

Figura 14 - Temperatura de pré-aquecimento no chanfro



Fonte: Do autor (2023)

Para união de uma extremidade do tubo com uma ponteira roscada, a soldagem foi executada em dois passes, sendo comum em situações em que a profundidade do chanfro é relativamente grande e a qualidade da solda final é uma preocupação. O primeiro passe de solda foi feito para preencher a parte maior do chanfro, enquanto o segundo passe foi realizado para preencher a parte restante e garantir uma solda mais uniforme e de melhor qualidade, cabe destacar que os mesmos procedimentos foram realizados para outra extremidade do tubo com a outra ponteira roscada.

Após o primeiro passe da solda a temperatura medida sofreu uma elevação substancial, passando de 500°C. A Figura 14 mostra a temperatura logo após o primeiro passe de solda, fato que não se constatou após o segundo passe de solda, onde a temperatura se manteve praticamente a mesma que do primeiro passe, conforme ilustra a Figura 15.

Figura 15 - Temperatura no primeiro passe



Fonte: Do autor (2023)

Figura 16 - Temperatura no segundo passe



Fonte: Do autor (2023)

### 3.2 Ensaio não destrutivo

Os ensaios não destrutivos são técnicas utilizadas para avaliar a integridade de uma solda sem danificá-la. Esses ensaios são importantes para garantir a qualidade e segurança de uma estrutura soldada. Existem diferentes tipos de ensaios não destrutivos que podem ser aplicados. No presente trabalho foi utilizada a técnica de ensaio por ultrassom.

O ensaio por ultrassom é uma técnica de certificação não destrutiva amplamente utilizada em soldas para detectar defeitos internos, como inclusões, trincas, porosidades, falta de fusão e descontinuidades que podem comprometer a integridade de uma junta soldada.

Durante o ensaio por ultrassom, as ondas sonoras de alta frequência, que penetram no material, são transmitidas pelo transdutor. Quando essas ondas encontram uma descontinuidade, parte delas é refletida de volta para o transdutor, que converte o sinal em uma imagem visual ou em um registro sonoro.

As ondas sonoras são capazes de detectar defeitos tanto na superfície quanto no interior da solda, permitindo que sejam detectadas falhas que não sejam visíveis a olho nu. Além disso, o ensaio por ultrassom é capaz de medir a profundidade e o tamanho das descontinuidades encontradas, fornecendo

informações importantes para a avaliação da qualidade da solda.

A fim de analisar a solda realizada no protótipo da haste, foi executado o ensaio de ultrassom, utilizando três modelos de transdutores, sendo eles: transdutor angular 60° AFN 4 4MHZ, transdutor angular 70° AFN 4 4MHZ e transdutor duplo cristal 0° TR4-10L. Com o intuito de analisar a solda em sua profundidade total. O ensaio foi realizado em toda a região da solda, a fim de ter uma análise mais cuidadosa. Para que o transdutor pudesse identificar quaisquer ruídos ou interferências, foi necessário o uso de um gel acoplante. Neste ensaio o gel utilizado foi da marca CARBOXIMETILCELULOSE- super magma 2000 A/US- Metal-chek. Desta forma, o gel foi aplicado sobre a superfície a ser analisada, em seguida o transdutor ligado ao osciloscópio foi friccionado nesta superfície e os ruídos ou interferências detectadas pelos transdutores foram mostrados nele. A Figura 16 ilustra a realização do ensaio de ultrassom feito no protótipo.

Figura 17 - Ensaio por ultrassom



Fonte: Do autor (2023)

### 3.3 Metalografia

A fim de identificar os tipos de aços e seus tratamentos, assim como as transformações sofridas durante o processo de soldagem, foi utilizada a técnica denominada metalografia, que consiste na análise da microestrutura de metais e ligas, por meio da observação e caracterização das diferentes fases e estruturas

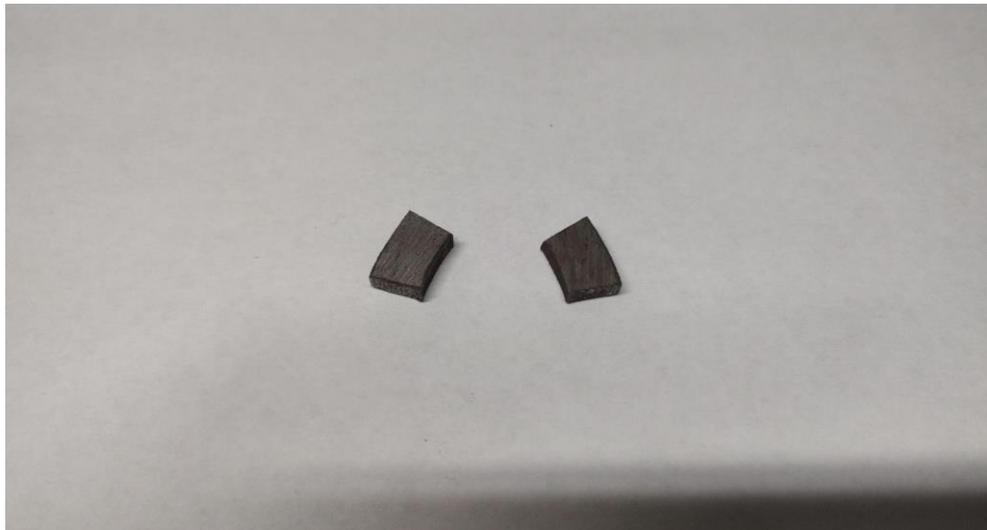
presentes em sua superfície ou seção transversal.

A metalografia é uma ferramenta importante na caracterização de aços, identifica os constituintes presentes, tratamentos térmicos, deformação mecânica, precipitação de compostos intermetálicos, carbonetos, entre outros.

### 3.3.1 Preparação metalográfica

. A preparação metalográfica foi realizada conforme as etapas descritas a seguir. Em um primeiro momento foram confeccionadas seis amostras para análise. Duas amostras foram obtidas a partir do tubo como recebido; duas a partir do tubo após o aquecimento para dilatação, uma a partir da ponteira roscada, que posteriormente foi soldada por arame tubular e por fim uma a partir da ponteira roscada, que posteriormente foi soldada pelo processo MIG/MAG. O corte para confecção das amostras foi realizado na serra de fita, com utilização de fluido de corte. Após a sua execução, as dimensões das amostras ficaram com aproximadamente 12mm de comprimento por 8mm de largura. A Figura 17 exibe as amostras cortadas.

Figura 18 - Amostras cortadas



Fonte: Do autor (2023)

A etapa seguinte consistiu no embutimento a quente utilizando a máquina embutidora Arotec PRE 30Mi. Nesse procedimento utilizou-se a resina fenólica com os seguintes parâmetros de sinterização: pressão de 125 kgf/cm<sup>2</sup>; temperatura de

cozimento de 175°C, manutenção nesta temperatura por três minutos, seguido de resfriamento em água. A Figura 18 exibe as amostras embutidas.

Figura 19 - Amostras após o processo de embutimento



Fonte: Do autor (2023)

Logo após as amostras foram lixadas em uma máquina lixadeira, denominada politriz, foram utilizadas lixas com granulações variadas de 80 a 1200, sequencialmente, ou seja, com lixas mais grossas até as mais finas, cabe ressaltar que a cada mudança de lixa a amostra foi rotacionada em 90°, essa rotação auxilia no processo de verificação dos riscos. A Figura 19 mostra o processo de lixamento sendo feito.

Figura 20 - Processo de lixamento na politriz



Fonte: Do autor (2023)

Posteriormente, ao lixamento da amostra, foi realizado o processo de polimento com o intuito de remover quaisquer marcas de lixamento, que possam interferir na análise microestrutural, e deixar a superfície espelhada. Essa etapa foi realizada com material abrasivo denominado pasta de diamante, no uso sequencial das pastas nas seguintes granulometrias: 9  $\mu\text{m}$ , 6  $\mu\text{m}$ , 3  $\mu\text{m}$ , 1  $\mu\text{m}$  e 1/4  $\mu\text{m}$ . Um disco de veludo foi usado em conjunto com cada pasta e acoplado a politriz, para realizar o polimento. Vale salientar, que após o uso de cada pasta de diamante, procedeu-se à limpeza da amostra com sabão neutro, água, algodão, e posterior uso de álcool e soprador térmico.

A etapa seguinte foi a do ataque químico utilizando o reagente Nital 5%, composto por 5% de ácido nítrico e 95 % de álcool. Este reagente foi colocado em uma placa de petri e por imersão a amostra foi submetida a ele por um tempo médio de 5 segundos. Após verificar que a superfície da amostra estava fosca, procedeu-se à limpeza da amostra para então seguir ao próximo processo.

A visualização microscópica foi feita com o uso do microscópio óptico da marca Olympus que apresenta as seguintes objetivas: 4x; 10x; 40x; 100x. A este microscópio é acoplada uma câmera OLYMPUS SOFT IMAGING SOLUTIONS GMBH, modelo LC20 vinculada ao computador, para com o auxílio do programa

Analysis tirar fotografias das imagens obtidas pelo microscópio, além de acrescentar a escala.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos através da pesquisa experimental, com o propósito de investigar o surgimento de trincas nas hastes de perfuração de poços artesianos.

### 4.1 Ensaio por ultrassom

O ensaio de ultrassom inspecionou toda a região da solda, tanto a realizada pelo processo MIG/MAG quanto a fabricada pelo processo de arame tubular. E proporcionou os seguintes resultados: a detecção de uma trinca longitudinal na junta soldada pelo processo MIG/MAG com comprimento de 5 mm e uma profundidade de 6,0 mm; e ausência de trincas na região soldada pelo processo de arame tubular.

A Figura 20, ilustra a tela do osciloscópio no momento da varredura do transdutor na junta soldada pelo processo MIG/MAG, nela pode-se verificar um pico de onda sonora indicando a presença da trinca citada.

Figura 21 - Interface do aparelho de ultrassom



Fonte: Do autor (2023)

Após a realização do ensaio não destrutivo foi emitido um relatório técnico com todas as informações necessárias para localização e tipos de discontinuidades, conforme exibido na Figura 21. Nesta Figura observa-se a imagem do protótipo e

suas respectivas juntas soldadas, denominadas JT - 01 (Junta 01) e JT - 02 (Junta 02). Na junta soldada JT - 01 realizou-se solda com arame tubular, na qual não apresentou defeitos e teve aprovação perante o ensaio de ultrassom. A junta JT - 02 na qual foi soldada com processo MIG/MAG, apresentou uma trinca longitudinal (TL) identificada com os transdutores de 60° e 70°, na superfície A do protótipo, dessa forma foi reprovada.

Figura 22 - Resultado laudo ensaio de ultrassom

Descontinuidades										
Junta/POS.	Nº	Cabeçote	Amplitude	Comp.	Dist.Ref.	Percurso Sônico	Prof.	Tipo de desc.	Sup.	Laudo
JT/POS	1	-	-	-	-	-	-	-	-	A
JT/POS	2	70/60	-4	5mm	12	13	6mm	TL	A	R

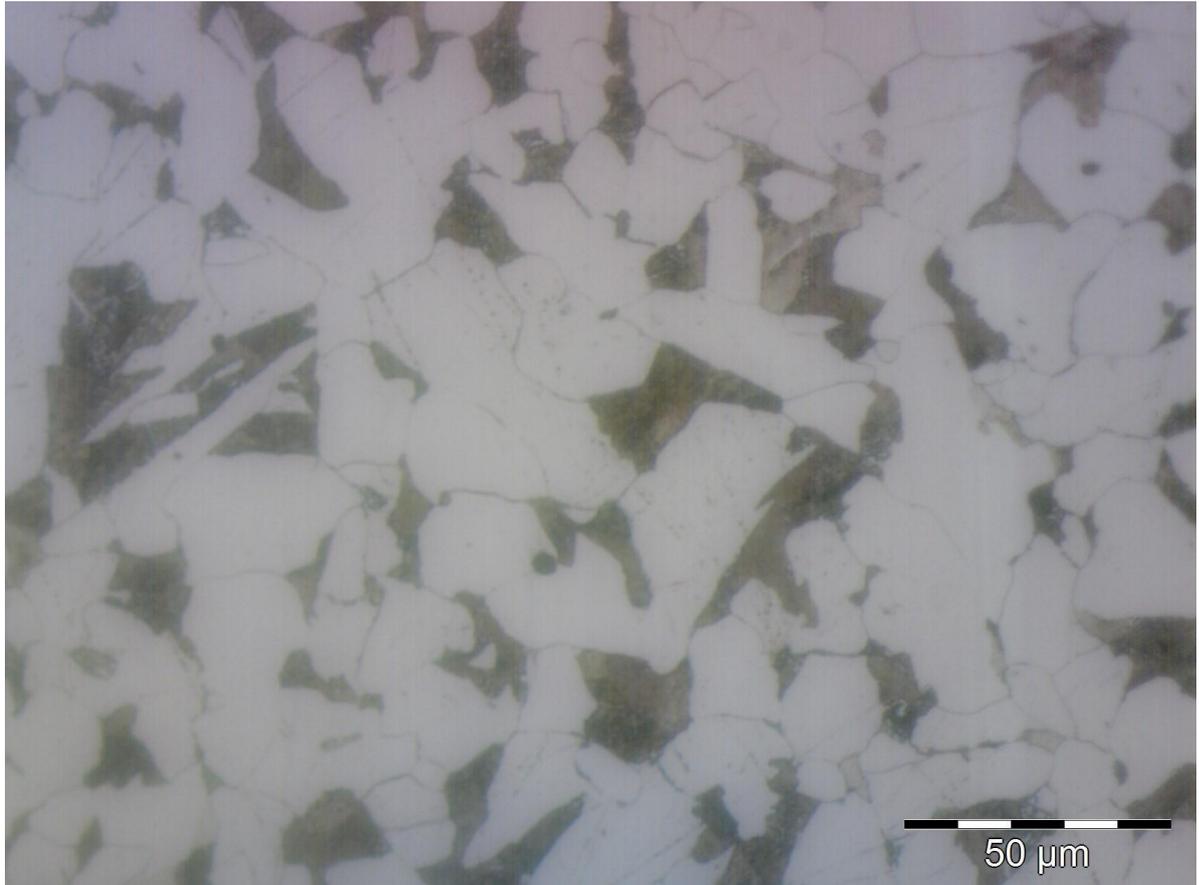
Fonte: Laudo ensaio de ultrassom

## 4.2 Micrografia

As figuras contidas neste sub-capítulo mostram as características microestruturais das amostras do tubo como recebido, do tubo aquecido e das ponteiros roscadas.

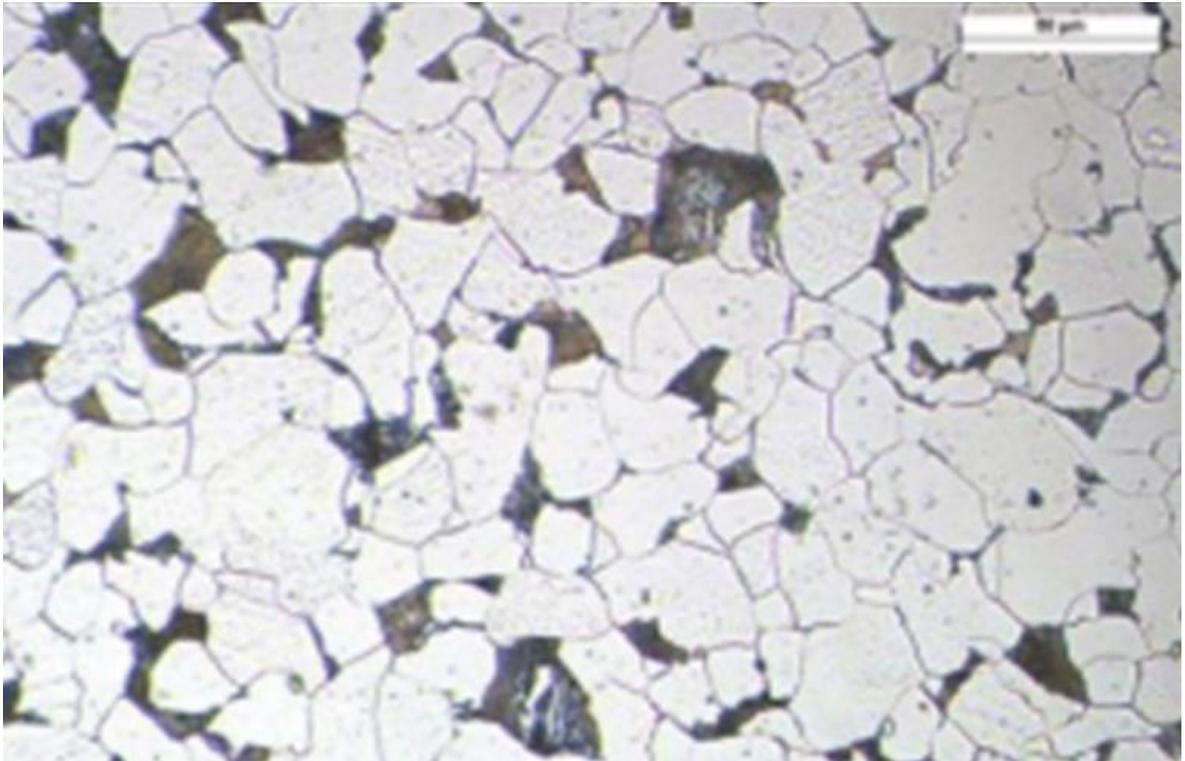
Na figura 22, correspondente à amostra do tubo como recebido com um aumento de 400 vezes, observa-se uma presença predominante de fase ferrítica (região clara) na microestrutura e a presença do microconstituente perlita (região escura), caracterizando um aço hipoeutetóide. Além disso, através da análise comparativa com a Figura 23, a qual exibe a microestrutura de um aço baixo carbono AISI 1015, verificou-se que a da amostra do tubo recebido também é de aço baixo carbono.

Figura 23 - Tubo como recebido



Fonte: Do autor (2023)

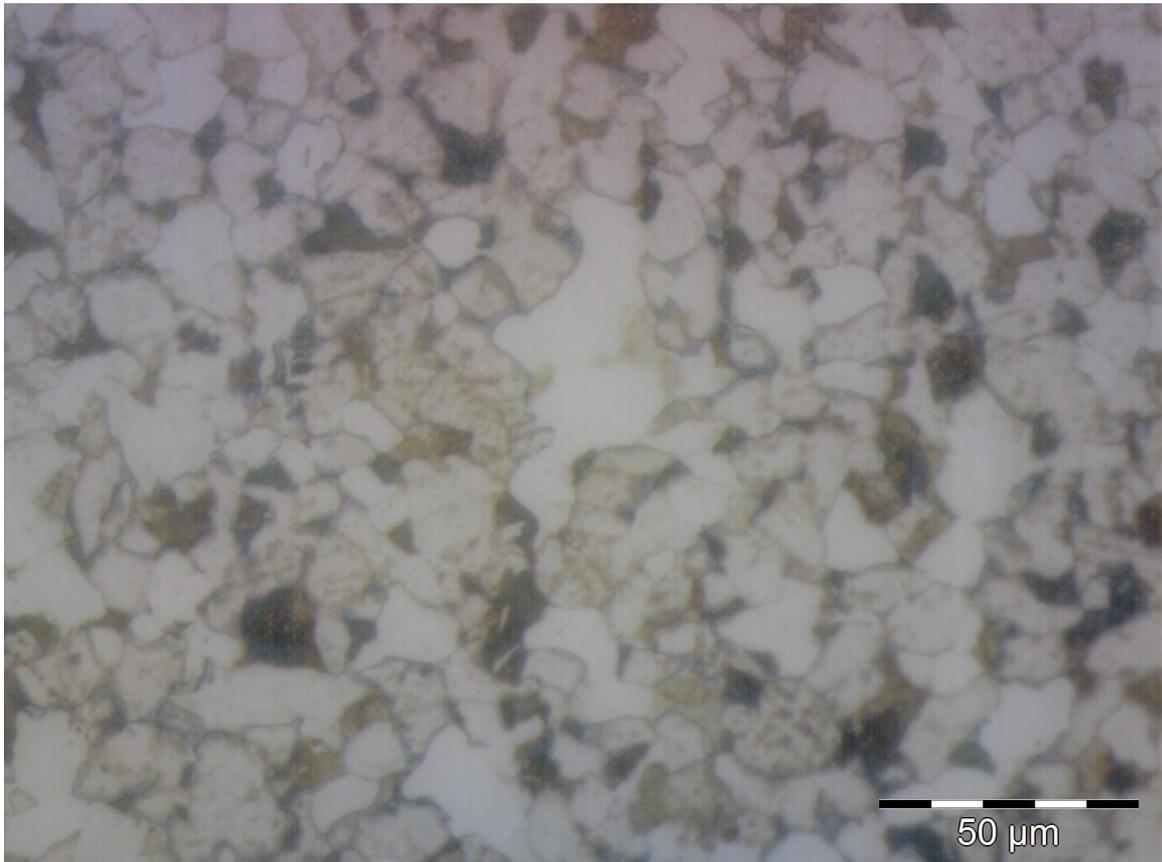
Figura 24 - Microestrutura do Aço baixo carbono AISI 1015



Fonte: Alvim, 2017

A figura 24 exibe a microestrutura do tubo após o aquecimento para dilatação, com um aumento de 400x. Percebe-se que não houve grandes alterações microestruturais em relação ao tubo como recebido, permanecendo com uma microestrutura ferrítica- perlítica. Porém verifica-se a ocorrência de regiões mais amareladas que podem indicar o surgimento de fases finas causadas pelo resfriamento, após o aquecimento, que pode corresponder a perlita ou bainita muito fina. Em ambos os casos, o constituinte formado cresceu a partir de austenita resfriada.

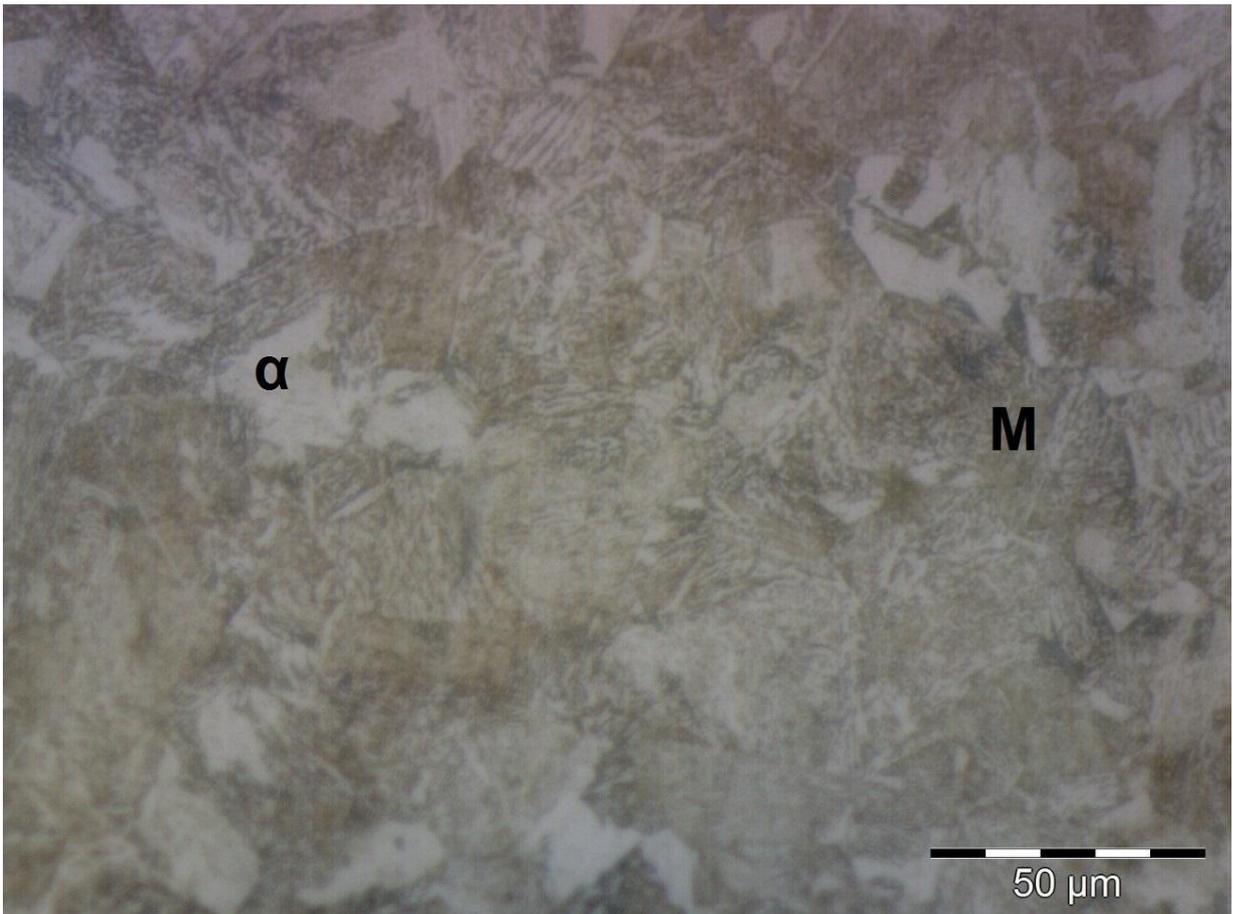
Figura 25 - Tubo aquecido



Fonte: Do autor (2023)

A figura 25 ilustra a microestrutura da ponteira roscada, com um aumento de 400x, que posteriormente foi soldada com o processo MIG/MAG. Nela observa-se a estrutura martensítica, evidenciada pela morfologia em ripas e a estrutura de ferrita poligonal. A presença desta última fase na microestrutura, caracteriza que houve apenas uma transformação parcial da austenita em martensita após tratamento térmico de têmpera.

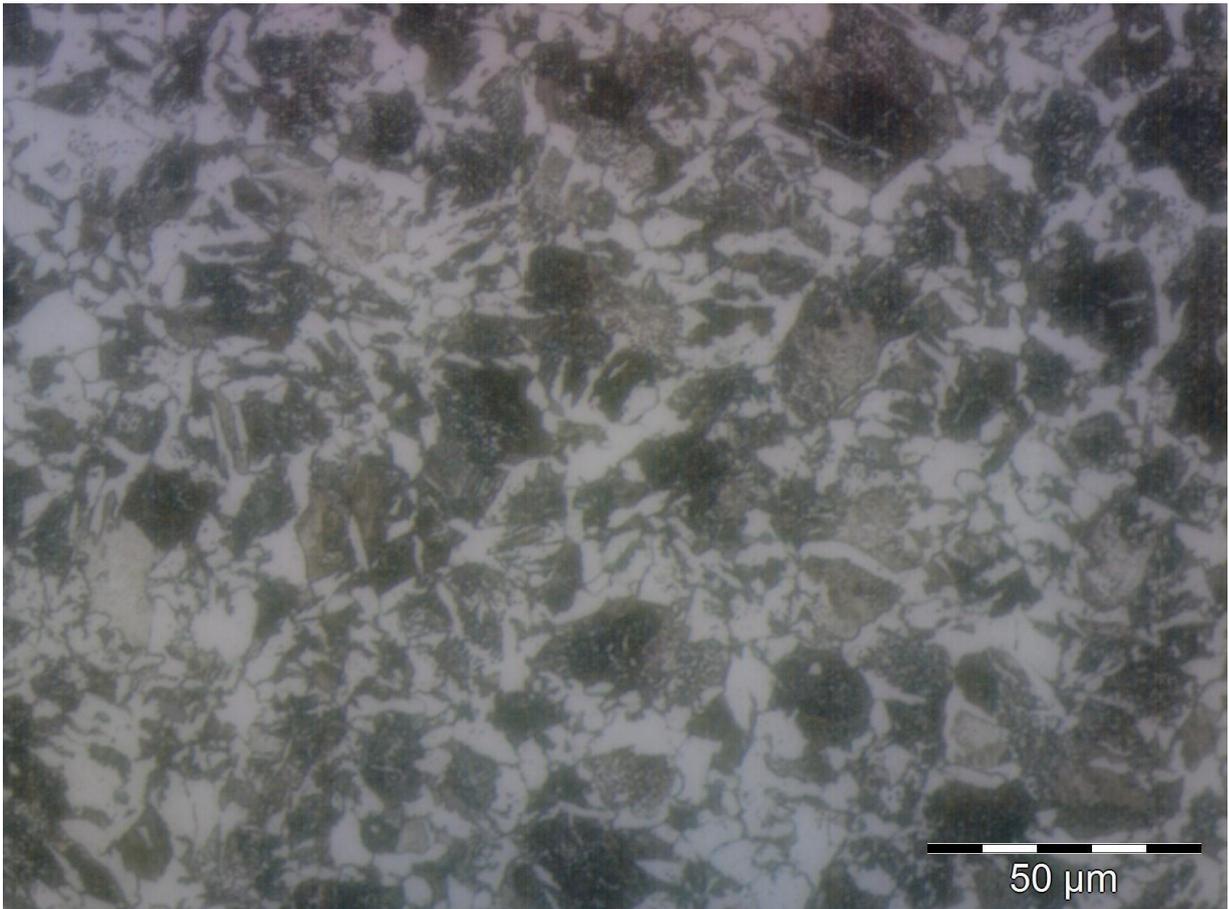
Figura 26 - Microestrutura da ponteira roscada, posterior submetida ao processo de soldagem MIG



Fonte: Do autor (2023)

A figura 26 mostra a microestrutura da ponteira roscada, posteriormente soldada com o processo de arame tubular. Nela observa-se a microestrutura de ferrita e perlita, porém com uma quantidade maior de perlita.

Figura 27 - Rosca soldada com arame tubular



Fonte: Do autor (2023)

Ao analisar as Figuras 22, 24, 25 e 26, verificou-se que a soldagem realizada pelo processo MIG/MAG fez a união de materiais com microestruturas diferentes, o que resulta uma maior quantidade de tensões residuais, tempos de resfriamento e solidificação diferentes. E a soldagem realizada pelo processo de arame tubular fez a união de materiais com microestruturas similares.

## 5 CONCLUSÕES

Neste estudo, em que foi conduzida uma pesquisa experimental a fim de analisar o surgimento de trincas em juntas soldadas nas hastes de uma empresa de perfuração de poços artesianos, pode-se concluir que:

O ensaio não destrutivo de ultrassom identificou na junta soldada pelo processo MIG/MAG uma trinca de solidificação com comprimento de 5,0 mm e uma profundidade de 6,0 mm.

O tubo como recebido é fabricado de aço baixo carbono e apresenta estrutura ferrítica perlítica.

O aquecimento para dilatação do tubo, não gerou mudanças significativas microestruturais, mantendo em ferrítica- perlítica e não causou a fragilidade da junta soldada, ao verificar a integridade da junta soldada pelo processo de soldagem por arame tubular.

A soldagem de microestruturas distintas a saber: martensita com ferrita e perlita ocasionou as trincas de solidificação na junta soldada. Essas microestruturas apresentam diferentes tempos de resfriamento e com isso contraem em momentos diversos, o que gera um acúmulo de tensões residuais que formam as trincas.

Há uma diversidade de materiais para as ponteiros roscadas conforme cada fornecedor.

Entretanto, deixa claro que o ensaio metalográfico utilizando microscópio óptico, restringe-se à revelação da microestrutura dos materiais, não sendo capaz de fornecer informações sobre o tipo de material empregado na fabricação dos tubos e das ponteiros, bem como o tratamento térmico aplicado nas ponteiros. Estes aspectos seriam pertinentes para uma investigação mais aprofundada e resultados mais exatos.

Portanto, os ensaios realizados neste estudo incluem contribuições significativas para a compreensão da falha observada nas hastes de análise. Contudo, para obter resultados mais específicos, é necessário aprimorar os estudos relacionados às questões apresentadas nas juntas soldadas. Destaca-se, além disso, que a análise de materiais constitui um tema complexo que deixa diversas lacunas para estudos futuros.

## 6 RECOMENDAÇÕES FINAIS

Através da análise realizada neste estudo e dos resultados obtidos na elaboração, recomenda-se para estudos posteriores os seguintes aperfeiçoamentos:

- Realizar a microscopia eletrônica de varredura para a análise dos materiais empregados;
- Averiguar a resistência mecânica das ponteiras roscadas;
- Realizar um estudo quanto ao custo de retrabalho e perdas de materiais;
- Estudar possíveis melhorias no processo de fabricação das hastes;
- Elaborar um estudo para determinar requisitos mínimos para compra dos materiais;
- Obter as especificações dos materiais obtidos.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Paulo Samuel de. **Manutenção Mecânica Industrial – Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada**. São Paulo: Saraiva, 2015.
- ALVIM, M. B. , CARDOSO R. A., FARIA G. L., MOREIRA. P. S.. **Estudo comparativo das características do tratamento termiquímico de cementação sólida de aço baixo carbono realizado com carvão vegetal e coque de baixa qualidade metalúrgica**. Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas ISSN 2594-4711 vol. 17, num. 1 (2017)
- ANDREUCCI, Ricardo. **Ensaio por ultrassom: Aplicação Industrial**. São Paulo Abendi, 2011.
- ASKELAND, D. R.; PHULÉ, P. P. **Ciência e Engenharia dos Materiais**. Cengage Learning. 1ª ed., 2008.
- BARRA, Sérgio Rodrigues; PEREIRA, Aldo Santos. **Descontinuidades em soldagem**. Trabalho de Pesquisa para pós-graduação. Florianópolis: UFSC, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12244**: Poço tubular-Construção de poço tubular para captação de água subterrânea. 2 ed. Rio de Janeiro, 2006. 10 p.
- BASTOS, Gilberto de Figueiredo Schitine; SILVA, Lycia Paiva Noronha da. **Importância do ensaio por ultrassom para garantia da qualidade da solda**. 2018. 38 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.
- BORN, Cristiano Rocha *et al.* **Hidrogeologia**. Porto Alegre: Sagah, 2021. (BARBOSA, Nazaré A.; STEIN, Ronei T.; et al. [Porto Alegre]: Grupo A, 2021. E-book. ISBN 9786556902449. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786556902449/>. Acesso em: 20 fev. 2023.).
- CARVALHO, Michel Angelo Oliveira Werneck de. **Fadiga em tubos de perfuração de poços de petróleo**. 2018. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.
- CHIAVERINI, Vicente. **Aços e ferros fundidos**. Abm, 1977.
- DE SOUZA, Sérgio Augusto. **Composição química dos aços**. Editora Blucher, 1989.
- FAGUNDES, João Paulo Rocha; ANDRADE, A. L. A. Poços artesianos: uma reflexão na perspectiva da sustentabilidade. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, 2015**.
- GARCIA, Amauri; SPIM, Jaime A.; SANTOS, Carlos Alexandre dos. **Ensaio dos Materiais**, 2ª edição. Grupo GEN, 2012. E-book. ISBN 978-85-216-2114-0.

Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2114-0/>. Acesso em: 31 mai. 2023.

HIRATA, Ricardo. O que é um poço artesiano. **Revista Superinteressante**, São Paulo, set. 2002.

JOAQUIM, Roberto. Processo de soldagem por arame tubular. **Artigo publicado em INFOSOLDA**, 2009.

KEJELIN, Norton Zanette. **Influencia dos parâmetros de soldagem na formação de zonas parcialmente diluídas em soldas de metais dissimilares**. 2006. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

MACHADO, Isabel. **Tratamentos térmicos e de superfície**. Prof. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Depto. de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos PMR, 2002.

MARQUES, Paulo Villani; MODENESI, Paulo José; BRACARENSE, Alexandre Queiroz. **Soldagem: fundamentos e tecnologia**. 3. ed. Belo Horizonte: Ufmg, 2014. 362 p.

MODENESI, Paulo José. **Descontinuidade e inspeção em juntas soldadas**. Belo Horizonte: UFMG, 2001. 16 p. Apostila.

MODENESI, Paulo J.; MARQUES, Paulo Villani. **Soldagem i introdução aos processos de soldagem**. Belo Horizonte, 2000.

MODENESI, Paulo José. **Técnica operatória da soldagem SAW**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2012.

MONTEIRO, Hugo Leonardo Salomão. **Análise de desempenho de diferentes leis de controle de vibrações torcionais em colunas de perfuração de poços de petróleo**. 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012. Acesso em: 25 fev. 2023.

PINEDO, Carlos Eduardo. **Tratamento térmico e superficial do aço inoxidável martensítico AISI 420 destinado a moldes para injeção de polímeros parte II: tratamento térmico**. 2º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes-ABM, v. 21, p. 261-291, 2004.]

PONTES, Mariana Karla Gurjão. **Estudo da compatibilidade metalúrgica de juntas soldadas de metais dissimilares utilizados no setor de petróleo e gás**. 2012. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.

RIO GRANDE DO SUL. CREA-RS. **Poço tubular para captação de água subterrânea: Poço Artesiano**. Disponível em: <https://www.crea-rs.org.br/>. Acesso

em: 28 out. 2023.

ROHDE, Regis Almir. **Metalografia preparação de amostras**. Laboratório de ensaios mecânicos. Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e Missões, 3ª Edição, Rio Grande do Sul, 2010.

SANTOS, Carlos Eduardo Figueiredo dos. **Processos de Soldagem - Conceitos, Equipamentos e Normas de Segurança**. São Paulo: Editora Saraiva, 2015. E-book. ISBN 9788536520063. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536520063/>. Acesso em: 27 fev. 2023.).

SOARES, Cristiane Maciel. **Desenvolvimento de metodologia para inspeção de soldas MAG em componentes automotivos por imagens de raio X industrial**. 2021. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Física e Astronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2021.

TAVARES, S. S. M. , **Apostila de Engenharia dos Materiais 1**. UFF, 2003.

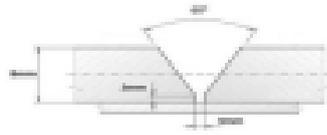
TURIBUS, Sergio Nolêto I. **Análise de tensões residuais pela técnica de difração de raios X em processos de soldagem MIG**. 2011.

VASCONCELOS, Mickaelon Belchior. Poços para captação de águas subterrâneas: revisão de conceitos e proposta de nomenclatura. **Águas Subterrâneas**, 2014.

VIEIRA, Natália Jéssica. **Melhoria de falhas em solda ponto identificadas por ultrassom utilizando seis sigma**. 2018. 85 f. Monografia (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté, 2018.

## Anexo A

### Laudo do Ensaio de Ultrassom

		<b>Relatório de Ensaio Não Destrutivo</b> <b>ULTRASSOM</b>						Relatório Nº <b>01/2023</b>		
Folha Nº <b>01/01</b>		Cliente: <b>MARCOS ROBERTO</b>		Contrato / Obra: --						
Local do Ensaio: <b>IFSC - CAMPUS XANXERÊ</b>		Descrição: <b>TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO</b>								
Norma de Referência: <b>ASME VIII DIV 1 UW 53(a)</b>		Critério de aceitação: <b>ASME VIII-Apêndice 12</b>		Procedimento Nº.: <b>01-UCM-US-10100-001</b>		Rev.: <b>1</b>				
Metal Base: --		Metal Adição: <b>AWS A-5.18/A-5.20</b>		Diâmetro: <b>73mm</b>		Espessura: <b>8mm</b>				
Aparelho / Nº Série: <b>SIUI SMATOR-M06320190111R</b>		Bloco de Referência: <b>ASME "T" 20mm</b>		Acoplante: <b>Metil Celulose</b>						
<b>Cabeçotes Utilizados</b>										
Superfície	Normal	Duplo Cristal	45°	60°	70°					
AsB		X		X	X					
<b>Cabeçotes</b>										
Fabricante	Modelo	Tipo	Dimensão	Frequência	Ângulo	GP	PT	GV	Observações	
SIUI	A/N4	Angular	8x9mm	4MHz	60°	40	-3	43	+6dB	
SIUI	A/N4	Angular	8x9mm	4MHz	70°	43,5	-3	46,5	+6dB	
SIUI	TR4	Duplo Cristal	Ø10mm	4MHz	0°	56,5	-3	59,5	+6dB	
<b>Descontinuidades</b>										
Junta/POD.	Nº	Cabeçote	Amplitude	Comp.	Dist. Ref.	Percursos Sônicos	Prof.	Tipo de desc.	Sup.	Laudo
JT/POD	1	-	-	-	-	-	-	-	-	A
JT/POD	2	70/60	-4	5mm	12	13	6mm	TL	A	R
										
<p><b>OBSERVAÇÃO:</b> O ensaio de ultrassom foi realizado em juntas soldadas no processo mig/mag, arame sólido (A-5.18) e arame tubular (A-5.20). Na junta 02 a soldagem foi executada com arame sólido, no qual foi identificado uma trinca longitudinal, com 5mm de comprimento e 6mm de profundidade, entre a zona de ligação do metal de base e o metal de solda. Conforme procedimento de ultrassom, trincas de qualquer amplitude são inaceitáveis. <b>RESULTADO:</b> Processo de soldagem com arame sólido reprovado.</p>										
<p><b>Legenda:</b> RC=Recomendação de exame Complementar          A = Aprovado      PO=Porosidade      FP=Falta de Penetração      TR=Trinca na Raiz      TM=Trinca na Margem          R = Reprovado      IE=Inclusão de Escória      FF=Falta de Fusão      TT=Trinca Transversal      TL=Trinca Longitudinal</p>										
INSPECTOR NÍVEL II			CONTROLE DA QUALIDADE				CLIENTE			
<i>Alison Rissi</i> Inspetor de ultrassom III US-ASNT-TC1A-Nº JMS-086 GRUPO UCM										
DATA: 13/08/2023			DATA:				DATA:			