



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA

PRO-REITORIA DE GRADUAÇÃO

ENGENHARIA MECÂNICA

ANNA JULIA MARTINS DOS SANTOS

MATHEUS CONCEIÇÃO GOMES E SILVA

RAQUEL DE JESUS ANDRADE

**APLICAÇÃO DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS NO CONTROLE DE
QUALIDADE EM JUNTAS SOLDADAS**

VOLTA REDONDA (RJ)

2021

ANNA JULIA MARTINS DOS SANTOS
MATHEUS CONCEIÇÃO GOMES E SILVA
RAQUEL DE JESUS ANDRADE

**APLICAÇÃO DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS NO CONTROLE
DE QUALIDADE EM JUNTAS SOLDADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheira Mecânica pelo Curso de Graduação em Engenharia mecânica, do UniFOA.

Orientador: Alexandre Alvarenga Palmeira

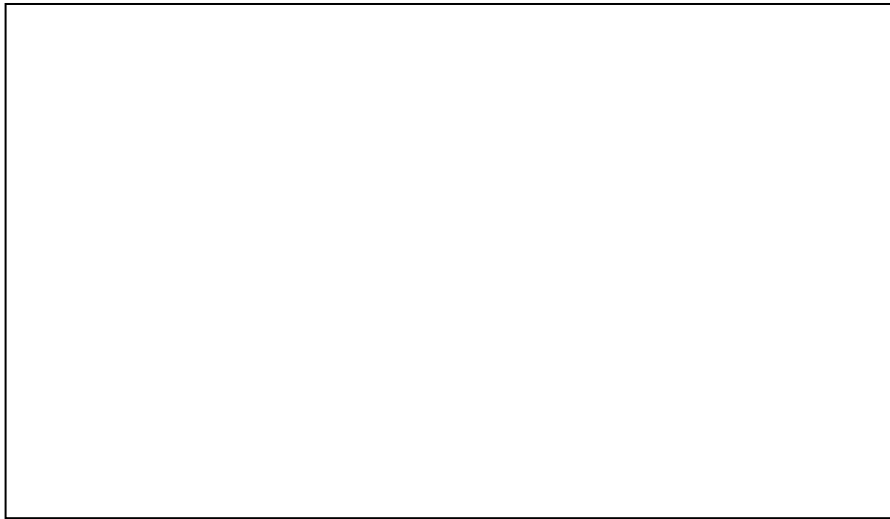
Coorientador:

VOLTA REDONDA (RJ)

2021

FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária: Alice Tacão Wagner - CRB 7/RJ 4316

A large empty rectangular box with a thin black border, occupying the lower half of the page. It is intended for a catalog entry or image.



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA - UniFOA
CURSO DE GRADUAÇÃO ENGENHARIA MECÂNICA



ANNA JULIA MARTINS DOS SANTOS
MATHEUS CONCEIÇÃO GOMES E SILVA
RAQUEL DE JESUS ANDRADE MATHEUS

Aplicação de ensaios não destrutivos no controle de qualidade em juntas soldadas

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“ENGENHEIRO MECÂNICO”**

**APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE ENGENHARIA
MECÂNICA**

Prof. Dr. Sandro Rosa Corrêa
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. ALEXANDRE ALVARENGA PALMEIRA
1º Membro da banca/Orientador/UniFOA

Prof. Dr. ALEXANDRE FERNANDES HABIBE
2º Membro da banca/UniFOA

Prof. MSc. RUI AURELIO BARBOSA
3º Membro da banca/UniFOA

Maio de 2021

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho aos professores e colegas
deste grande centro acadêmico*

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a Deus e à nossa família por tudo de bom (e também às lições) desta vida!

RESUMO

Com muito relevante papel na indústria, a estabilidade de equipamentos e estruturas da mais diversas não pode abrir mão de juntas soldadas de elevada confiabilidade, garantindo que os processos e procedimentos dimanem a suportar os esforços a eles empregados. Afora precisa execução das aludidas soldas, profissionais existem que, habilitados, certificam-se, por diversos meios, se elas permanecem em conformidade com o que os projetos exigem, exurgindo-se como pertinente matéria a compor esta monografia, concentrando-se em explicar as questões envolvidas nos testes de resistência (objetivo geral) e, de modo peculiar, nos caminhos existentes dos testes de tipo não destrutivos a se darem em face das soldas (objetivo específico). Justifica-se o tema pelo seu inerente apelo prático, conquanto de caráter acadêmico, encontrando por metodologia a consistente no reexame qualitativo de bibliografia selecionada, explorando e descrevendo o que for sendo pela pesquisa encontrado.

Palavras-chave: juntas soldadas; testes; não destrutivos.

ABSTRACT

With a very relevant role in the industry, the stability of equipment and structures of the most diverse cannot give up welded joints of high reliability, ensuring that the processes and procedures will support the efforts employed to them. Aside from the precise execution of the aforementioned welds, there are professionals who, qualified, certify themselves, can use different means, if they remain in conformity with what the projects require, showing themselves as a relevant theme to compose this monograph, concentrating on explaining the issues involved in the resistance tests (general objective) and, in a peculiar way, in the existing paths of the non-destructive tests to be carried out in the face of the welds (specific objective). The theme is justified by its inherent practical appeal, albeit of an academic nature, finding by methodology that consistent in the qualitative review of the selected bibliography, exploring and describing whatever is being found by the research found.

Keywords: welded joints; tests; non-destructive.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Alusão a Processo Atual de Soldagem	20
Figura 2 - Referência a Porosidade Encontrada em Solda	24
Figura 3 - Ensaio Visual de Solda com Iluminação Auxiliar	30
Figura 4 - Solda com Porosidade	42
Figura 5 - Aparência Radiográfica de Soldas Contendo Inclusões de Escória	43
Figura 6 - Solda com Falta de Penetração na Raiz	43
Figura 7 - Seção de uma Solda Contendo Poro e uma Trinca Longitudinal no Cordão	44
Figura 8 - Seção de uma Solda Contendo uma Falta de Fusão junto ao Chanfro	44
Figura 9 - Inclusão de Areia	44
Figura 10 - Porosidade	45
Figura 11 - Trincas	45
Figura 12 - Inclusão	46
Figura 13 - Chapas com Chanfro em V	70
Figura 14 - Corpo de Prova com Cordão de Solda	71
Figura 15 - As Tres Etapas do Ensaio por LP	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Norma para Ensaio por Inspeção.....	31
Tabela 2 - Norma para Líquido Penetrante	32
Tabela 3 - Normas Utilizadas em Ensaios Radiográficos.....	47
Tabela 4 - Normas Utilizadas em Ensaios Radiográficos.....	48
Tabela 5 - Norma para Ensaio Corrente Parasita	56
Tabela 6 - Velocidade de Propagação das Ondas Longitudinais.....	63
Tabela 7 - Velocidade de Propagação das Ondas Transversais.....	64
Tabela 9 - Comparativo entre os Ensaios	83

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
END	Ensaio Não Destrutivo
LP	Líquido Penetrante

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1. SOLDAGEM.....	18
2.1.1. Descontinuidade de Solda.....	21
2.2. ENSAIO NÃO DESTRUTIVO.....	27
2.2.1. Ensaio por Inspeção:.....	29
2.3. LÍQUIDO PENETRANTE	31
2.3.1. Norma.....	32
2.4. PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	34
2.5. RADIOGRAFIA	35
2.5.1. Aparência das Descontinuidades	41
2.5.2. Descontinuidades Internas em Juntas Soldadas.....	42
2.5.3. Descontinuidades Internas em Fundidos.....	44
2.5.4. Vantagens	46
2.5.5. Desvantagens.....	46
2.5.6. Norma.....	46
2.6. CORRENTE PARASITA	50
2.6.1. Propriedades que Influenciam no Ensaio de Correntes Parasitas.....	54
2.6.2. Plano de Impedância.....	55
2.6.2. Sondas de Correntes Parasitas	55
2.6.3. Aplicações	55
2.6.4. Normas	56
2.7. ULTRASSOM.....	57
2.7.1. Ondas Transversais (ou Ondas de Cisalhamento).....	63
2.7.2. Onda Transversal	63

2.7.3.	Ondas de Rayleigh ou Ondas Superficiais	64
2.7.3.	Campo de Audibilidade das Vibrações Mecânicas	65
2.7.4.	Transdutores Retos ou Normais	66
2.8.	ESTANQUEIDADE	67
3.	METODOLOGIA	69
4.	RESULTADOS	72
4.1.	ENSAIO VISUAL	72
4.1.1.	Princípio	72
4.1.2.	Aplicações	72
4.1.3.	Técnica de Ensaio	73
4.2.	PARASITAS	73
4.2.1.	Princípio	73
4.2.2.	Aplicações	74
4.2.3.	Técnicas de Ensaio	75
4.3.	LIQUIDO PENETRANTE	75
4.3.1.	Princípio	75
4.3.2.	Aplicabilidade	76
4.3.3.	Vantagem / Desvantagem	77
4.4.	PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	77
4.4.1.	Princípio	77
4.4.2.	Aplicações e Desenvolvimento	78
4.4.3.	Técnicas de Ensaio	78
4.4.4.	Limitações	79
4.5.	ULTRA-SOM	79
4.5.1.	Princípio	79
4.5.2.	Aplicações	79
4.5.3.	Técnicas de Ensaio	80

4.6. ENSAIO RADIOGRÁFICO	81
4.6.1. Princípio.....	81
4.6.2. Aplicações e desenvolvimento.....	81
4.6.3. Técnicas de Ensaio	82
4.6.4. Limitações	82
4.7. Comparativo Simplificado entre os Ensaios	82
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
6. REFERÊNCIAS.....	86

1. INTRODUÇÃO

Muitos acidentes, falhas e até catástrofes podem ser evitadas quando obviamente as estruturas e os equipamentos que integram determinados conjuntos industriais passam por testes com uma regular periodicidade o que verifica muitos itens a compô-las. As juntas soldadas são exemplos tomando lugar neste texto de conclusão de curso, precisa ser, de períodos em períodos, objeto de exame.

Os profissionais habilitados a proceder a tais verificações se valem de ensaios de tipo destrutivos e não destrutivos, métodos que são capazes de definir a resistência das juntas de soldas, importando, neste presente estudo, a pesquisa bibliográfica acerca dos ensaios não destrutivos.

Popularmente, cogita-se que a solda pode ser associada a relativo imprevisto, a situações que dizem respeito somente a um reparo, ou mesmo a não conter ciência em sua execução e inserção em determinado lugar. Ocorre que é algo que merece, deve-se dizer, total seriedade por parte de todos, sendo que, como se disse no primeiro parágrafo, consequências graves podem calhar de uma soldagem mal executada, até porque, enfim, envolve verdadeira engenharia de soldagem e que, quanto mais complexa for a composição a solda receber, mais se requererá de fato da participação de um engenheiro a orientar a execução ou mesmo executar tal atuar correspondente à solda.

Cadeiras, escadas, peças de veículos automotores, máquinas industriais, máquinas de uso doméstico, muitas são as estruturas e equipamentos que demandam o emprego da solda, esta que, a depender da área de utilização, depende de constantes verificações, precisamente com a finalidade de verificar sua confiança, higidez e qualidade, a atingir o propósito que ela ainda precisa, diga-se, dar conta, mantendo as ligações as mais perfeitas possíveis.

O engenheiro responsável, quando for o caso, é aquele que verificará não só a qualidade dos materiais envolvidos ou o tanto de solda a ser demandado, mas, também, os vetores de força relativos ao procedimento, de modo a serem adequadamente harmonizados com a necessidade no momento percebida; é trabalho de inegável responsabilidade e importância.

O mesmo diz respeito às checagens regulares que as soldas merecem receber. Devem ser inspecionadas, algo que pode ser realizado de modos diversos; ou seja, há verdadeira ciência por de trás de cada soldagem e de sua duração e funcionalidade.

A ausência de profissionais qualificados, parâmetros inadequados ou empresas que não contratam profissionais verdadeiramente especialistas em soldagem, o emprego de equipamentos arcaicos e sem manutenção preventiva, aplicações executadas erroneamente, a má escolha dos procedimentos, falta de procedimentos de inspeção para as juntas soldadas, dentre outras causas, promovem descontinuidades aos leigos imperceptíveis, mas que podem danificar todo um projeto. Dentre as verificações de confiabilidade das soldas, neste trabalho há o de se estudar os não destrutivos, adiante já explicados nesta introdução.

Esclarece-se que os ensaios não destrutivos são os realizados em materiais semiacabados ou (mais comum, claro), em materiais acabados, checando a existência ou não existência de defeitos ou descontinuidades, isto a se dar por intermédio de princípios físicos bem definidos, e sem alterar suas características dimensionais, químicas ou físicas, sem interferir quanto ao seu uso posterior. A união de duas ou mais peças, dessarte, dadas pela soldagem, deve passar por tais testes para que as operações e a confiabilidade a elas atribuídas permaneçam de fato íntegras.

A partir de tal inicial debate e contexto é que se apresenta a monografia, tendo por objetivo geral o de explicar as questões envolvidas nas avaliações de resistência em razão das soldas e, por objetivo específico, os detalhes técnicos existentes em face dos testes de tipo não destrutivos a ocorrerem em razão das soldas.

Após a introdução, longo capítulo comporá a revisão bibliográfica para, após a explicação relativa à metodologia aqui adotada, fechar o texto com as considerações finais pertinentes.

E conquanto haverá, como dito, o capítulo metodologia, assinala-se que o método escolhido é o da revisão bibliográfica, explorando, descrevendo e analisando o que qualitativamente for encontrado ao longo do percurso.

Justifica-se o texto pelo seu inerente apelo acadêmico, modestamente contribuindo para os estudos neste campo do saber, além do apelo prático que deve encontrar interesse em face de profissionais diversos, com destaque para os engenheiros mecânicos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. SOLDAGEM

Expressiva quantidade de dessemelhantes processos empregados na recuperação e fabrico de peças, equipamentos e estruturas é abarcado pela terminologia soldagem. Tradicionalmente, a soldagem é tida por um método de união, contudo, muitos processos de soldagem e variações são utilizados para a deposição de materiais por sobre uma superfície, almejando a recuperação de peças desgastadas ou sob o desígnio de se formar um revestimento de peculiares características (como a questão da resistente união) (ALMEIDA; ZARATRUSTA JÚNIOR; GUATARI, 2015).

Os métodos de união que se dão sobre os metais podem ser desmembrados em duas grandes categorias: aqueles abalizados no aparecimento de forças mecânicas macroscópicas dadas por partes a serem juntadas e, de outro modo, a partir das forças microscópicas (intermoleculares ou inter atômicas) (MACHADO; VÁSQUEZ, 2019).

O primeiro sistema a unir os metais é aquele que diz respeito à fixação por parafuso e a rebitagem, com a resistência da junta sendo propiciada pela resistência dada pelo cisalhamento do parafuso ou do rebite, sobreposto pelas forças de atrito dentre as superfícies de contato. Já no segundo caso de caráter inter atômico a união é obtida pela aproximação das moléculas e dos átomos das partes a serem ligadas, ou ainda destas e certo material intermediário. Nesta última categoria incluem-se a brasagem, colagem, soldagem (ALMEIDA; ZARATRUSTA JÚNIOR; GUATARI, 2015).

É preciso considerar que, conceitualmente, a soldagem diz respeito a um processo de junção de metais via fusão, tratando-se de operação que almeja a união de duas ou mais peças desde que, seja claramente assegurado, justamente a partir da junta soldada, a continuação de propriedades químicas, físicas, e metalúrgicas existentes.

De outro modo, pode-se dizer que se cuida de operação que visa impetrar a coalescência devidamente situada e produzida pelo aquecimento até certa temperatura, com ou sem a bom emprego de metal de adição e de pressão (MACHADO; VÁSQUEZ, 2019).

Conquanto a soldagem, na sua configuração atual, mostre-se como processo recente, com pouco mais de cem anos, a brasagem e soldagem via forjamento têm sido utilizadas desde épocas muito remotas. Há, por exemplo, no Museu do Louvre, Paris, na França, pingente de ouro com indicativos de ter sido peça soldada este pingente teria sido fabricado na Pérsia entorno de 4.000 antes de Cristo (ZOLIN, 2016).

O ferro, com a extração e respectiva produção dada por início o ano de 1.500 antes de Cristo, supriu o bronze e o cobre na confecção de múltiplos artefatos (até então, muitos produtos eram feitos de bronze e cobre, dentre outros minérios). O ferro era cunhado pelo sistema da redução direta e conformado pelo martelamento sistemático sob a forma de blocos pesando poucos quilogramas. Acontecendo da necessidade de blocos maiores, estes eram soldados por forjamento, ou seja, o material era esquentado ao rubro, inserindo-se areia dentre as peças para que fossem retiradas as impurezas, martelando-se até a final soldagem (MARQUES; MODENESI; SANTOS, 2012).

Zolin (2016) ensina que, por outras palavras, na Idade Média e na Antiguidade a soldagem foi vastamente utilizada para o fabrico de instrumentos cortantes e armas. Obtido pela redução direta, o ferro detinha teor de carbono assaz baixo (algo inferior a 0,1%), este não podendo ser endurecido pelo sistema de têmpera. De outro modo, o aço, de teor maior em carbono, era material de alto custo e escasso, sendo produzido pela cementação de finas tiras de ferro. De tal modo, ferramentas eram feitas com ferro e com tiras de aço soldadas, isto a se dar nos locais de corte, endurecidas por têmpera.

No Oriente Médio, espadas de elevada resistência mecânica e grande tenacidade foram fabricadas empregando-se um processo análogo, no qual tiras alternadas de aço e ferro eram soldadas entre si e por compressão e torção, a seguir, deformadas. A consequência era o fabrico de uma lâmina com fina alternância de regiões de baixo teor e alto teor em carbono (MACHADO; VÁSQUEZ, 2019).

Portanto, a soldagem foi, ao longo de certo período, um processo muito significativo da tecnologia metalúrgica, especialmente em função de dois fatores: o tamanho diminuído dos blocos de ferro alcançados por redução direta e a escassez do aço e o seu alto custo.

Tal relevância começou a ser amainada ao longo dos séculos XII e XIII, isto a partir do desenvolvimento de nova tecnologia para a obtenção, sob estado líquido, de expressivas quantidades de ferro fundido com o uso da energia gerada por rodas de água, moinhos e outros meios e, nos séculos XIV e XV, a partir do desenvolvimento e uso do alto forno (ALMEIDA; ZARATRUSTA JÚNIOR; GUATARI, 2015).

Assim, a fundição tornou-se um procedimento importante de fabricação, conquanto a soldagem por forjamento foi sendo substituída por outras metodologias de união, em peculiar pela rebitagem e fixação por parafuso muito adequados para a união de muitas peças (ALMEIDA; ZARATRUSTA JÚNIOR; GUATARI, 2015).

Figura 1 - Alusão a Processo Atual de Soldagem



Fonte: ASM Metal Handbook (2019, p. 83)

Antes da tecnologia mudar radicalmente, a soldagem conservou-se como processo secundário de produção até o século XIX, especialmente, a partir das experiências com o arco elétrico, descoberta do acetileno e com o desenvolvimento de fontes energéticas geradoras de energia elétrica que propuseram o surgimento de processos de soldagem via fusão. Simultaneamente, o início da fabricação e uso

do aço sob a forma de chapas tornou imprescindível o desenvolvimento de novos processos a unir estruturas e equipamentos (MACHADO; VÁSQUEZ, 2019).

A soldagem teve, inicialmente, rara utilização, ficando restrita maiormente à execução de reparos de emergência até acontecer a eclosão da 1ª Guerra Mundial, quando a soldagem foi sendo mais fortemente usada como processo de fabricação.

Hoje em dia, cerca de cinquenta processos distintos de soldagem são utilizados, sendo este o mais importante artifício para que se dê a união permanente de certos metais. Esta relevância é ainda mais demonstrada pela presença de processos de solda em atividades dessemelhantes industriais e pela validade e alcance que a necessidade de muito boa soldabilidade tem no incremento de novos tipos de aços e outras tantas ligas metálicas (ZOLIN, 2016).

2.1.1. Descontinuidade de Solda

Atribui-se o nome de descontinuidade à interrupção da estrutura esperada ou típica de junta solda.

Pode-se considerar, nesta direção, como descontinuidade a falta de homogeneidade das características mecânicas metalúrgicas, das características físicas ou de certo outro material ou da solda propriamente, notando que a ocorrência de descontinuidades nas juntas não obrigatoriamente significa que estas sejam defeituosas (MACHADO; VÁSQUEZ, 2019).

Tal condição carece do aproveitamento a que se propõe o componente e é, em linhas gerais, assinalada pela comparação das descontinuidades detectadas ou pelas propriedades verificadas a partir de níveis estabelecidos em um contrato, código ou projeto pertinente.

Portanto, uma junta soldada que apresentar defeitos tudo indica que a propriedade ou descontinuidade não atendam ao exigido. Juntas defeituosas necessitam, em geral, serem substituídas ou reparadas. Há quatro tipos de descontinuidades que os manuais mais costumam apontar: descontinuidades estruturais, descontinuidades dimensionais, descontinuidades que dizem respeito a

propriedades indesejáveis e, por fim, descontinuidades atinentes às propriedades do metal de base.

É cogente, para que se dê a fabricação de estrutura soldada, que tanto a composição como as respectivas soldas tenham formas similares e dimensões em desenhos, projetos ou contrato dentro das tolerâncias exigidas. Uma junta que não acate esta exigência pode ser avaliada defeituosa, sendo necessária à sua correção anteriormente da aceitação final da estrutura (ALMEIDA; ZARATRUSTA JÚNIOR; GUATARI, 2015).

As descontinuidades estruturais mais marcantes são a distorção, esta que é a mudança da configuração da peça soldada em função das deformações térmicas do material ao longo da soldagem. Os problemas dados pela distorção são corrigidos ou controlados pela condução mais cuidadosa dos projetos de solda da estrutura ou da peça, adoção de procedimentos especiais para a deposição da solda, projeto correto do chanfro, plano da sequência da deposição das soldas, desempenho, remoção e correção de soldas etc.

O caminho usado para a correção vai depender do código ou da especificação considerados, isto em conformidade dada entre o fabricante e o cliente ou, quando o caso for dado em face dos equipamentos disponíveis (MARQUES; MODENESI; SANTOS, 2012).

A preparação incorreta da junta, de seu turno, inclui a falha na produção de um chanfro com as dimensões ou formas desejadas, a exemplo de um desenho adequado dado em face do material e para o procedimento de soldagem em si. Falhas deste tipo podem elevar a tendência para a formação de descontinuidades de estrutura na solda, pedindo por correções antes da soldagem (MARQUES; MODENESI; SANTOS, 2012).

A dimensão imperfeita da solda pode ser estimada como um outro problema, uma outra descontinuidade, uma vez que deixa de atender a certos requisitos ou cujas dimensões se mostram maiores do que as especificadas, conduzindo ao desperdício de material ou ao aumento da chance de distorção, além de outros problemas (CARY, 2018).

Perfil incorreto da solda, por sua vez, trata de descontinuidade do perfil de uma solda que história variações geométricas bruscas, agindo como concentradores de tensão e promovendo a revelação de trincas (ALMEIDA; ZARATRUSTA JÚNIOR; GUATARI, 2015).

O perfil do cordão pode igualmente ser avaliado como impróprio quando provocar o aprisionamento de escória dentre a soldagem, conduzir ao acúmulo de resíduos e, da mesma maneira, prejudicar a resistência à corrosão estrutural ou promover dimensões incorretas. Em geral, esta forma de descontinuidade conexa com problemas operacionais (como a manipulação inapropriada do eletrodo, como os parâmetros incorretos de soldagem, e mesmo instabilidade do processo etc.).

Por fim, conforme explica Okumura (2010) nesse primeiro alinhamento das distorções, há de se considerar o formato Incorreto da junta: assim, o dimensionamento ou o posicionamento inadequado das componentes pode induzir a problemas como o desalinhamento dado em juntas de topo, o que não é totalmente incomum.

2.1.1.1. Porosidade

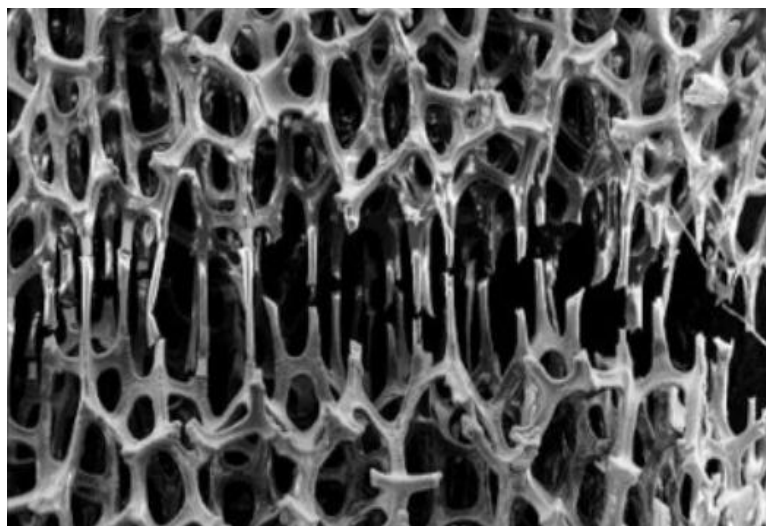
A porosidade é composta pela evolução de gases que se foram na parte posterior da poça de fusão ao longo da solidificação da solda. São causadas pelo acúmulo de gases ou de ar que se mostraram dentro da solda aprisionados, dentro metal. Estas descontinuidades são frequentemente cavidades esféricas ou arredondadas, alongadas ou com a configuração planar (ALMENDRA, 2017).

Podem ser determinadas pela areia muito fina úmida ou por areia com decaída permeabilidade não possibilitando o escape dos gases. Assinala-se que os poros usualmente têm um formato esférico, conquanto poros alongados (de porosidade vermiforme) podem ser formados, de modo geral, conexos ao hidrogênio.

Os principais motivos funcionais da formação de porosidade guardam relação com contaminações de sujeira, com a oxidação e a umidade dadas nos denominados consumíveis de soldagem, na superfície do metal de base, ou, ainda, no próprio equipamento de soldagem (como se dá no sistema de refrigeração e,

outrossim, em roletes tracionando arames); por fim, pode-se dar em razão de perturbações na proteção (ou seja, em função da turbulência no gás de proteção em razão de vazão muito elevada ou de problemas no equipamento; correntes de ar igualmente podem contribuir para esta motivação) (OKUMURA, 2010).

Figura 2 - Referência a Porosidade Encontrada em Solda



Fonte: Zolin (2016, p. 103)

A detecção de inapropriados parâmetros de soldagem como corrente excessiva e também um arco muito longo possibilitam, do mesmo modo, motivar a formação de porosidade, especialmente na chamada soldagem SMAW. Nesse processo, tais condições favorecem a degradação do revestimento ou do consumo excessivo de desoxidantes, causando a evolução de carbono no poço de fusão, com concludente formação de porosidade, como exemplificado pela figura 2, acima (ALMEIDA; ZARATRUSTA JÚNIOR; GUATARI, 2015).

Quanto à sua repartição na solda, a porosidade pode ser dividida em: distribuída uniformemente, agrupada (associada, comumente, com pontos de frincha ou ainda de interrupção do arco) e alinhada (que se dá, em geral, no passe de raiz) (MARQUES; MODENESI; SANTOS, 2012).

2.1.1.2. Inclusões de Escória

Esta terminologia é empregada para descrever partículas de óxido e demais sólidos não metálicos aprisionados no interior de passes de solda ou dentre a solda e, outrossim, o metal de base. Em diversos processos de soldagem a escória é

composta por materiais pouco solúveis sob o metal fundido e que assumem a tendência de sobrenadar na superfície da chamada poça de fusão em função de sua menor densidade. A manipulação inadequada do eletrodo que se dá ao longo da soldagem pode fazer com que componentes da escória escoem à frente da poça de fusão, apresando-a sob o cordão (MARQUES; MODENESI; SANTOS, 2012).

Em adição, na soldagem com múltiplos passes, parte da escória assentada com um passe pode ser inadequadamente removida e não refundida pelo passe consequente ficando aprisionada sob esse passe. Múltiplos fatores podem dificultar a remoção do resíduo, abarcando a formação de cordão irregular ou a utilização de um chanfro bastante fechado. Esse tipo de descontinuidade aparece, comumente, com uma forma alongada percebida em radiografias (ALMEIDA; ZARATRUSTA JÚNIOR; GUATARI, 2015).

Inclusões de escória podem agir como concentradores de tensão a favorecer a iniciação de trincas. Contenções de escória se dão quando a escória pela absorção do núcleo de arame gerada se funde e é aprisionada dentro da solda. Há algumas causas basais de inclusão de escória e todas podem ser evitadas com as corretas técnicas de soldagem.

Por causas tem-se: A poça de solda resfria muito rapidamente; A velocidade da soldagem é muito alta; Ângulo de soldagem incorreto; Corrente de soldagem é muito baixa; Limpeza incorreta; não expurgar o passe de solda (não limpar) antes de se iniciar uma nova soldagem.

2.1.1.3. Falta de Penetração

A terminologia refere-se à falha de liquefazer (fundir) e encher por completo a raiz da junta. A falta de penetração é motivada por fatores diversos, destacando-se a imperfeita manipulação do eletrodo, um projeto da junta não adequado (ângulo de chanfro ou de abertura da raiz pequenos) ou, de outra maneira, a escolha de um eletrodo significativamente grande para chanfros (nos dois casos, fica difícil, ou até impossível, bem direcionar o arco à raiz da junta) e o uso de baixa energia de soldagem (LEANDRO, 2017).

A falta de penetração suscita redução da seção útil da solda, afora de ser um real concentrador de tensões. Deve-se advertir que, repetidas vezes, juntas são

especificadas para apresentarem penetração parcial. Sob tais casos, a falta de penetração, uma vez que mantido os limites explicitados, não se considera como defeito de soldagem, como novamente aponta Leandro (2017).

2.1.1.4. Mordeduras

Esta terminologia é utilizada para descrever as reentrâncias agudas compostas pela ação da fonte de calor do arco dado dentre um passe de solda e o metal de base ou, ainda, de outro passe adjacente. Quando desenvolvida na última camada do cordão, as mordeduras causam uma redução da espessura da junta e atuar como verdadeiro concentrador de tensões. Quando no interior da solda formada, ela pode acarretar na formação da falta de fusão ou de inclusão de escória (LEANDRO, 2017).

Mordeduras são causadas por inadequada manipulação do eletrodo, extensão excessiva do arco e por corrente ou pela velocidade de soldagem elevadas. A convergência à formação desta descontinuidade depende ainda do tipo de consumível (gás de proteção, eletrodo, fluxo) usado (MARQUES; MODENESI; SANTOS, 2012).

2.1.1.5. Trincas

Em geral, as trincas são consideradas descontinuidades severas presentes em uma junta soldada por se mostrarem concentradores de tensão. Trincas resultam da ação de tensões de tração (residuais, tensões transientes ou externas) por sobre um material impossibilitado de resistir a elas, em linhas gerais, em razão de algum problema ligado à fragilização do material (MARQUES; MODENESI; SANTOS, 2012).

Elas podem se formar logo depois ou durante da soldagem, e em outras operações de fabricação ulteriores à soldagem ou, ainda, ao longo do uso do equipamento ou da estrutura soldada (LEANDRO, 2017).

Os tipos de trinca que a literatura mais tem apontado são: Trinca em estrela; Trinca interlamelar; Trinca de cratera.

A trinca irradiante, por sua vez, tem por origem, como ponto de partida, a que se seguem: a zona afetada, a zona fundida, o metal de base, trinca longitudinal que, por sua vez, tem por ponto de partida: a zona fundida, a zona de ligação, a zona afetada termicamente, o metal de base, Trinca transversal, Trinca sob cordão, Trinca ramificada, Trinca na raiz, Trinca de margem.

2.1.1.6. Falta de Fusão

A falta de fusão diz respeito a uma descontinuidade marcada pelo não coalescimento (ato de se unir intensamente; aglutinar, juntar aderir) de parte do cordão de solda, por entre cordões na soldagem de multipasse ou na lateral do chanfro.

Esse termo concerne à ausência de união por fusão dentre passes adjacentes de solda ou por entre a solda e o metal de base. A falta de fusão é determinada por um impróprio aquecimento do material sendo soldado, encontrando-se por resultado a manipulação inadequada do eletrodo, da utilização de uma energia de soldagem bastante baixa, da soldagem em chanfros significativamente fechados ou, ainda, da falta de limpeza da junta (OKUMURA, 2010). É descontinuidade se mostra como espécie de concentrador de tensões severo, podendo promover a iniciação de trincas, afora reduzir a seção efetiva da solda para a resistência da a esforços mecânicos (OKUMURA, 2010).

2.2. ENSAIO NÃO DESTRUTIVO

Chama-se ensaio não destrutivo (NDT ou END em inglês — *non destructive testing*) aos tipos de ensaio praticados em face de material que não altere de modo permanente suas propriedades químicas, físicas, dimensionais ou mecânicas. Os ensaios não destrutivos têm por implicância um dano nulo ou um dano imperceptível (ZOLIN, 2016).

Ensaio não destrutivo concebem um conjunto amplo de técnicas de análise na ciência empregadas e na indústria para aferir as propriedades de um material, sistema ou componente, mas sem causar danos, lastreando-se na aplicação de fenômenos físicos como são as ondas acústicas, eletromagnéticas, de elasticidade, com emissão de partículas subatômicas, absorção, capilaridade e qualquer tipo de

teste que não sugira um dano considerável à amostra sob exame (ALMEIDA; ZARATRUSTA JÚNIOR; GUATARI, 2015).

Os ensaios não destrutivos dizem respeito às técnicas bastante valiosas, uma vez que permitem o controlar das propriedades dos materiais, apresentando economia de dinheiro e de tempo, permitindo que o material testado volte intacto para o mesmo local de trabalho, ou outro, depois da inspeção.

Métodos comuns de ensaio não destrutivo incluem ultrassom, uso de partículas magnéticas, radiografia, líquido penetrante, e ensaios por correntes de Foucault (conhecido pela expressão correntes parasitas). Os ensaios não destrutivos são uma ferramenta usada comumente em engenharia forense, engenharia elétrica, engenharia civil, engenharia mecânica, engenharia aeronáutica, sistemas de engenharia, arte, medicina e outros.

O END tubular ou ensaios não destrutivos de tubos são ensaios não destrutivos dados pela aplicação de várias tecnologias que detectam anomalias e defeitos de fabricação, como ocorre com a corrosão percebida em tubos metálicos. As tubulações são encontradas em aparelhamentos como caldeiras ou trocadores de calor. Para conduzir um exame local como acontece com o exame de tubos sob sua posição, exatamente onde estão fixados, tem-se a cobertura de uma abertura de manutenção é geralmente removida para admitir o acesso do técnico aos tubos. De modo alternativo, feixe de tubos pode ser retirado de um trocador de calor e conduzido por uma empilhadeira para um local de manutenção para que se dê acesso mais facilitado (VASCONCELLOS, 2013).

Registra-se que é possível calcular os valores elásticos (módulo de cisalhamento, módulo de Young,) e o coeficiente de Poisson por intermédio das frequências naturais de vibração pelo corpo de prova propiciada, sem que este sofra dano, por meio do chamado método dinâmico (tipo de ensaio não destrutivo); ou por meio da velocidade do som, ultrassom. As frequências, ao lado das dimensões e massa, têm uma relação próxima com os módulos elásticos (FERNANDES, 2013).

Os três modos basilares de vibração são: vibração flexional, vibração torcional e vibração longitudinal. Os dois primeiros possibilitam o cálculo do módulo de Young, sendo que o último autoriza a determinação do módulo de cisalhamento e,

também, do referido coeficiente de Poisson (ALMEIDA; ZARATRUSTA JÚNIOR; GUATARI, 2015).

Os ensaios podem ser de:

a) Excitação por impulso em que o corpo de prova recebe um leve impacto para que as vibrações mecânicas possam ser geradas e um transdutor possa captar a resposta acústica, transmutando-a em sinal elétrico de tal modo que as frequências de ressonância possam ser compreendidas, lidas.

b) Varredura de frequência, em que, no ensaio, o corpo de prova passa a receber um estímulo de frequência variável.

Ambos os métodos demandam que o corpo de prova seja amparado por pontos nodais em conformidade com as normas internacionais E-1876 e ASTM E-1875 (FERNANDES, 2013).

2.2.1. Ensaio por Inspeção:

A inspeção visual de solda é artifício também conhecido como sendo, evidentemente, ensaio não destrutivo. Este é um processo que motiva o nível de aceitação dos componentes que foram fabricados por soldagem, usinagem ou outro processo produtivo que proporcione qualquer grau de qualidade. Deste modo, o trabalho de inspeção visual de solda depende especialmente da avaliação do profissional denominado, geralmente, simplesmente de inspetor (VASCONCELLOS, 2013).

Figura 3 - Ensaio Visual de Solda com Iluminação Auxiliar



Fonte: Welding (2020)

Por isso, a organização que oferece a inspeção visual de solda precisa ter empregados bastante capacitados para o procedimento, o inspetor devendo estar igualmente familiarizado com os documentos envolvidos.

Afora isso, a inspeção visual de solda é caminho mais ordinário de todos os testes que poderiam ser feitos em face da soldagem. É possível, depois dele, saber se os diversos exames se mostram necessários. A inspeção visual é processo superficial e o principal, simultaneamente (VASCONCELLOS, 2013).

A inspeção visual de solda deve de ser feita em três etapas:

- Anterior à solda: ao longo do processo de fabricação, como, por exemplo, a checagem dos documentos;
- Ao longo do serviço de soldagem: esse processo é realizado para verificar se os regulamentos estão sendo cumpridos durante o trabalho. Além disso, parâmetros como tensão, fluxo de gás, corrente e velocidade de soldagem carecem ser verificados;
- Após a soldagem: deve ser apurado se há especificação para o tratamento de pós-aquecimento.

2.2.1.1. Vantagens

Como principais vantagens temos

Baixo custo;

É possível detectar e eliminar discontinuidades antes de iniciar ou completar a soldagem da junta;

Com melhor ensaios não-destrutivos é possível detectar descontinuidades e proporciona diminuição de reparos de solda.

2.2.1.2. **Limitações e Desvantagens:**

Como limitações e desvantagem temos a limitada detecção de defeitos superficiais.

2.2.1.3. **Normas**

Tabela 1 - Norma para Ensaio por Inspeção

Normas	Títulos	Publicação	Confirmação
AABNT NBR 16244 VC 202	Ensaio não destrutivos - Ensaio Visual - Inspeção subaquática	19/11/2013	-
ABNT NBR NM 315	Ensaio não destrutivos - Ensaio visual - Procedimento	10/11/2017	-
ABNT NBR NM 329	Ensaio não destrutivos – Ensaio visual – Terminologia	28/3/2011	-
ISO 3057	Non-destructive testing -- Metallographic replica techniques of surface examination	1998	-
ISO 3058	Non-destructive testing -- Aids to visual inspection -- Selection of low-power magnifiers	1998	-

Fonte:Abendi (2017)

2.3. **LÍQUIDO PENETRANTE**

Esse tipo de ensaio não destrutivo se dá com baixa complexidade de execução, sendo um dos mais utilizados para detectar trincas em componentes mecânicos e, também, de porosidade detectada em soldas e em certos materiais (FERNANDES, 2013).

O ensaio por líquidos penetrantes lastreia-se na aplicação e penetração de líquidos de baixa tensão pouco profunda em superfícies em que se deseja avaliar a eventual compleição de trincas ou outros defeitos, pelo fenômeno da capilaridade. Após limpeza do excesso, posteriormente, do líquido penetrante, é sobreposto um revelador que absorve e lança para a superfície o líquido que penetrou na descontinuidade, contornando-o visível.

Portanto, a inspeção por líquido penetrante é aplicada para verificar trincas superficiais complexas de serem observadas sem aparelhos. Esta inspeção é bem utilizada na avaliação de soldas (acabamento e raiz) e em materiais não magnetizáveis, não permitindo a realização do ensaio via partículas magnéticas. Por esta razão este ensaio é aplicado frequentemente na detecção de trincas de aços inox austeníticos.

Outro campo com vasta aplicação desse ensaio é a manutenção preventiva das indústrias, atentando-se mormente na inspeção de vasos de pressão (área das soldas) para enquadramento na NR13 (FERNANDES, 2013).

2.3.1. Norma

Tabela 2 - Norma para Líquido Penetrante

Normas	Títulos	Publicação	Confirmação
ABNT NBR 15691	Ensaio não destrutivo - Líquido penetrante - Prática padronizada (aeronáutico)	13/3/2009	29/7/2014
ABNT NBR 16450	Ensaio não destrutivo - Líquido Penetrante - Qualificação de procedimento	4/2/2016	-
ABNT NBR NM 327	Ensaio não destrutivo — Líquidos penetrantes — Terminologia	28/3/2011	-

Fonte: Abendi (2017)

Tabela 3 - Norma para Líquido Penetrante (continuação)

Normas	Títulos	Publicação	Confirmação
ABNT NBR NM 334	Ensaio não destrutivo — Líquidos penetrantes — Detecção de descontinuidades	9/8/2012	-
ISO 3059	Non-destructive testing -- Penetrant testing and magnetic particle testing -- Viewing conditions	2012	-
ISO 3452-1	Non-destructive testing -- Penetrant testing -- Part 1: General principles	2013	-
ISO 3452-2	Non-destructive testing-- Penetrant testing -- Part 2: Testing of penetrant materials	2013	-
ISO 3452-3	Non-destructive testing -- Penetrant testing -- Part 3: Reference test blocks	2013	-
ISO 3452-4	Non-destructive testing -- Penetrant testing -- Part 4: Equipment	1998	-
ISO 3452-5	Non-destructive testing -- Penetrant testing -- Part 5: Penetrant testing at temperatures higher than 50 degrees C	2008	-

Fonte: Abendi (2017)

Tabela 4 - Norma para Líquido Penetrante (continuação)

Normas	Títulos	Publicação	Confirmação
ISO 3452-6	Non-destructive testing -- Penetrant testing -- Part 6: Penetrant testing at temperatures lower than 10 degrees C	2008	-
ISO 12706	Non-destructive testing -- Penetrant testing -- Vocabulary	2009	-

Fonte: Abendi (2017)

2.4. PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

As partículas magnéticas referem-se a um produto a partir do pó de ferro ou do óxido de ferro desenvolvido, com a propriedade de serem visíveis ou fluorescentes, diluído em soluções preparadas ou pó seco, empregue para a detecção de descontinuidades percebidas superficialmente ou sub superficialmente em materiais ferromagnéticos como a solda, preparado para ser utilizado na realização desta denominada inspeção por partículas magnéticas (FERNANDES, 2013).

Por vantagens da inspeção por partículas magnéticas, tem-se que o processo de ensaio é célere e de aplicação; as indicações aparecem na peça que se está se ensaiando; é altamente sensível à detecção de subsuperficiais e superficiais indicações.

O método pode, algumas vezes, trabalhar por intermédio de camadas de contaminantes ou de recobrimentos de espessuras. O método é viável para automatização e inspeção de produção de alto volume. Mostram-se pequenas se eficientes e baratas que outros métodos de controle qualitativo conhecidos (VASCONCELLOS, 2013).

Quanto à limitação dada pela inspeção por partículas magnéticas, observa-se que o material a ser ensaiado deve ser ferromagnético; a direção da área magnética deve cruzar com a dimensão principal da descontinuidade; é método que oferece potencial variação e limitações para a detecção de indicações na superfície (VASCONCELLOS, 2013).

Ressalta-se que frequentemente é necessário desmagnetizar a peça depois de sua inspeção.

2.5. RADIOGRAFIA

A inspeção de solda dada por intermédio de aparelhos e da tecnologia do raio X é bastante aplicada em materiais forjados e em materiais fundidos. Está presente no controle da qualidade no interior de indústrias navais, automotivas, aviação e de materiais bélicos, indústrias siderúrgicas e outros. Igualmente possui aplicação ampla nas indústrias que operam com petróleo e de seus subprodutos petroquímicos (MACHADO; VÁSQUEZ, 2019).

Em função de suas propriedades, se tornou a inspeção de solda viabilizada por raio X essencial para os ensaios não destrutivos, bastante empregada como se disse. A fabricação de aeronaves, que bem serve como exemplo, é um processo dispendioso e complicado. A radiografia é inspeção de solda que detecta muitos tipos de defeitos, impedindo possíveis acidentes (MACHADO; VÁSQUEZ, 2019).

A radiografia industrial ou a inspeção de solda por raio X é realizada por intermédio do uso de fontes de radiação ionizante. Destarte, por se tratar de radiação ionizante acomoda elevado grau de risco para a espécie humana, fazendo-se necessário implantar e conservar procedimentos de proteção radiológica para manter a segurança do pessoal técnico envolvido realçando que os técnicos precisam passar por constante treinamento sob certificação da denominada Comissão Nacional de Energia Nuclear (VASCONCELLOS, 2013).

A inspeção de solda por raio X comporta o apontamento de evidências e informações para que a inspeção do controle de qualidade se mostre inconteste, à prova de contestação. Seu registro é dado por intermédio do filme radiográfico e é legitimado pelas imagens fixadas depois da respectiva revelação. A inspeção de solda dada por raios x é, dessarte, realizada por meio de máquinas geradoras de raios x ou com fontes de raios gama, igualmente conhecida por gamagrafia industrial (FERNANDES, 2013).

Historicamente, tem-se que depois de Wilhelm Conrad Roentgen descobrir os Raios-X no ano de 1895, radiografando inicialmente seu rifle de caça e a mão de sua mulher, a Medicina passou imediatamente a deslumbrar-se com a novidade,

sendo que, no campo industrial, a imagem da arma de Roentgen revelou pequeno defeito, iniciando-se o controle qualitativo de peças produzidas pela indústria (FERNANDES, 2013).

Com a descoberta dos Raios X dadas pelo físico Roentgen, iniciaram-se prontamente os estudos acerca das emissões de partículas procedentes de corpos radioativos, observando suas características e interpretando os respectivos resultados.

Destacaram-se dois cientistas, nesta época, Marie e Pierre Curie, pela descoberta do polônio e também do radium e ainda a eles deve-se a denominação da palavra radioatividade (qualidade de emissão de radiações dada por diversas substâncias).

No começo do século XX, precisamente em 1903, Rutherford, depois de profundos estudos, ordenou hipóteses acerca das emissões radioativas, pois convém apontar, que ainda não se conhecia naquela época os núcleos atômicos e o átomo propriamente, cabendo a Rutherford a formulação do primeiro modelo atômico instituído e que até presentemente permanece com suas características (ALMEIDA; ZARATRUSTA JÚNIOR; GUATARI, 2015).

Há, nota-se, documentos históricos afirmando a utilização dos Raios-X para a inspeção de armas ao longo da I Guerra Mundial. Depois de algumas décadas de aprimoramento dos aparelhos de raio-x, a inspeção de solda dada por este método foi adotada de fato como algo bastante comum no campo dos ensaios não destrutivos.

A radiografia se traduz como um tipo de ensaio não destrutivo lastreada na absorção ind diferenças de densidade e das variações consistentes de espessura do material, ou ainda de diferenças nas propriedades de absorção motivadas por variações na composição de cada material, distantes regiões de uma peça acabam por absorver quantidades distintas da radiação penetrante daí revelando-se as possíveis inconsistências (MACHADO; VÁSQUEZ, 2019).

A absorção individualizada da radiação pode ser visualizada por intermédio de um tubo de imagem, de um filme, ou ainda a partir de detectores eletrônicos de radiação. As variantes relativas às quantidades de radiação absorvida apontam para

a existência de falhas internas ou de descontinuidade no material (VASCONCELLOS, 2013).

A radiografia industrial é empregada rotineiramente para detectar variações de uma região de um certo material que apresenta uma dessemelhança em espessura ou densidade quando comparada com uma região circundante ou vizinha; dito de outro modo, a radiografia é um método hábil para detectar com boa sensibilidade os defeitos volumétricos (ALMEIDA; ZARATRUSTA JÚNIOR; GUATARI, 2015).

A capacidade desse processo de detectar defeitos dado inclusive a partir de pequenas espessuras relacionadas, por exemplo, a planos perpendiculares de feixes sob exame, como se dá comumente com as trincas, dependerá da técnica de ensaio escolhida. As descontinuidades detectadas nas soldas, como os eventuais vazios e inclusões que comparecem com espessura variável em várias direções são detectadas facilmente desde que não sejam minúsculas em face da espessura da peça.

A radiografia industrial comporta a nota permanente do ensaio realizado, vez que no filme conservam-se todas os realces da inspeção de maneira incontestável e objetiva em relação a outros ensaios que são de modo subjetivo avaliados pelo inspetor.

De custo relativamente baixo, o ensaio de gamagrafia, por sua vez, pode ser feito no campo, ou seja, em instalações abertas como torres de processamento, tubulações de álcool, tanques de armazenamento, fornos, de gasolina, e em várias outras situações.

Derivadas tanto dos raios X quanto dos raios gama, os raios ionizantes que sensibilizam o filme, são altamente danosas ao ser humano. Pois que o ensaio requer peculiares cuidados de proteção aos obreiros membros da equipe radiográfica, e público em geral, ou seja, daqueles que se encontram nas vizinhanças do local da realização do ensaio; afora isso, cuidados específicos em relação ao entorno, em relação ao meio-ambiente devem ser objeto de monitoração (FERNANDES, 2013).

Afora a questão da segurança, o operário deve ser um especialista realmente qualificado, com conhecimentos perfeitos quanto ao processo de fabricação e de soldagem da peça para poder emitir o laudo adequado quando do filme radiográfico.

Uma atenção especial, sob o ponto de vista da radiografia, deve ser dada ao alvo. A superfície é atingida por certo fluxo eletrônico chamado de enfoque térmico, proveniente do filamento. É bastante relevante que esta superfície seja grande suficientemente para evitar o superaquecimento local que poderia inutilizar o ânodo e permitir a rápida transmissão do calor (MACHADO; VÁSQUEZ, 2019).

Comumente, os equipamentos de raios X industriais se dividem em dois componentes: o cabeçote ou unidade causadora e painel de comando (FERNANDES, 2013).

É por intermédio do painel de controle que são realizados os ajustes de voltagem e de amperagem, além do comando próprio de acionamento do aparelho. Concentra-se no cabeçote alojados os dispositivos de refrigeração e a ampola. A conexão entre o cabeçote e o painel de controle se faz por intermédio de cabos especiais de elevada tensão. Os acessórios atinentes aos equipamentos de raios X, nota-se, são a blindagem de proteção e os cabos de energia (MACHADO; VÁSQUEZ, 2019).

A radiologia industrial desempenha, exposto de outra maneira, papel extraordinário e de certo modo insuperável quanto à documentação da qualidade do produto de solda inspecionado, pois a imagem projetada pela via do filme radiográfico representa a fotografia interior de cada peça, o que nenhuma outra prova não destrutiva se mostra hábil a mostrar no setor industrial (ALMEIDA; ZARATRUSTA JÚNIOR; GUATARI, 2015).

Assim sendo, a qualificação, o treinamento e a certificação dos profissionais envolvidos nestas metodologias são condição relevante do sistema da qualidade. Hoje, no país, as certificações e qualificações de pessoal para ensaios não destrutivos são realizadas por organizações de classe como são as muitas associações existentes, ou por fundações ou instituições governamentais. A organização mais importante é inegavelmente o Sistema Nacional de Qualificação e Certificação, administrada pela Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção.

Pois que a radiografia é um procedimento usado para inspeção não destrutiva que se repousa na absorção caracterizada pela radiação penetrante dada pela peça que está sob inspeção. Em razão das diferenças na densidade e das variações na espessura do material, ou ainda em razão das diferenças nas características de absorção motivadas por variações na composição dos muitos materiais, semelhantes, mas também distintas partes de uma peça absorverão quantidades desiguais da radiação que é de tipo penetrante, obviamente (ALMEIDA; ZARATRUSTA JÚNIOR; GUATARI, 2015).

Essa absorção individualizada da radiação poderá ser percebida e fixada, como já referido, por intermédio de um filme, ou por meio de um tubo de imagem ou mesmo de medida dada por detetores eletrônicos de radiação. Tal variação na quantidade da radiação absorvida, assentada por intermédio de um meio, indicará, dentre outras coisas, a falha interna ou o defeito no material internamente existente (SANCHEZ; CRISALDO; ENRIQUE, 2000).

A radiografia industrial é aproveitada então para aferir a variação de uma região de certo material que expõe diferença de densidade ou espessura cotejada com uma região adjacente, ou próxima; por outras palavras, a radiografia é caminho para detectar com boa sensibilidade os defeitos volumétricos consistentes de distintos materiais, abarcando os componentes das soldas levada a efeito.

Isto significa que a capacidade do processo de perceber defeitos com diminutas espessuras em planos ao feixe perpendiculares, como ocorre com as trincas, dependerá da técnica do ensaio efetivado. Defeitos volumétricos, como acontece com vazios e inclusões e que oferecem uma espessura variável em muitas ou todas direções, serão detectadas facilmente desde que não sejam pequenas demais em face à espessura da peça sob exame (SANCHEZ; CRISALDO; ENRIQUE, 2000).

As radiações X, são dadas pelas camadas eletrônicas dos átomos de cada alvo escolhido (anodo). As emissões não acontecem de maneira desordenada, mas possuem relativo modelo de emissão nominado espectro de emissão. Os Raios X, industrial, são suscitados sob ampolas de vidro, cognominada por tubo de Coolidge, possuindo, em linhas gerais, duas partes: o ânodo e o cátodo (ALMEIDA; ZARATRUSTA JÚNIOR; GUATARI, 2015).

O cátodo e ânodo são a uma tensão elétrica de milhares de Volts submetidos; o polo positivo unido ao anodo e o negativo ao cátodo. O ânodo é constituído de uma pequena parte em tungstênio, igualmente nominado de alvo, e o cátodo de pequenino filamento, do contorno de lâmpada incandescente, por onde transpassa uma corrente elétrica de miliampères (ALMEIDA; ZARATRUSTA JÚNIOR; GUATARI, 2015).

Quando o tubo é acionado, a corrente elétrica do filamento é aquecida e passa a espontaneamente emitir elétrons que são aliciados e acelerados na direção do objeto-alvo. Nessa interação dada dos elétrons com os átomos de tungstênio, dá-se a desaceleração súbita dos elétrons, demudando a energia cinética obtida em Raios X.

Outros acontecimentos de interação dos elétrons acelerados com as castas eletrônicas dos átomos de tungstênio, igualmente responsabilizam-se pela emissão desses raios (FERNANDES, 2013).

Do ponto de vista da radiografia, atenção peculiar precisa ser ao alvo dada, no ânodo contido. Ocorre que a superfície é atingida pelo fluxo eletrônico, derivada do filamento, e nomina-se de foco térmico. É importante que tal superfície seja suficiente grande para impedir um superaquecimento local, o que poderia deteriorar o ânodo e possibilitar a rápida transmissão do calor algo que precisa ser evitado (LEANDRO, 2017).

E para se obter figuras com máxima nitidez, as dimensões do foco óptico precisam ser as mínimas possíveis. As especificações de aparelhamentos comumente mencionam as dimensões do foco óptico, sendo que o calor que escolta a formação de Raios X é considerável, e, desse modo, é necessária especial atenção aos métodos e sistemas para refrigerar o ânodo (ALMEIDA; ZARATRUSTA JÚNIOR; GUATARI, 2015).

Outro dado relevante se refere à forma geométrica que exsurge do ânodo no tubo. Quando sob a forma plana, e angulada, promove um feixe de radiação direcional, e quando sob desenho de cone, viabiliza um feixe de radiação panorâmico, ou seja, irradiação a 360 graus, de abertura determinada.

Os equipamentos tidos por portáteis, com tensão até 400 kV, têm peso de cerca de 20 a 50 kg, a depender do modelo. Os exemplares de tubos refrigerados a gás, antigos, são mais leves em oposição aos refrigerados a óleo. Modernamente há os equipamentos que operam sob tensões mais baixas da ordem de 250 kV refrescados por intermédio de ventilador (ALMEIDA; ZARATRUSTA JÚNIOR; GUATARI, 2015).

2.5.1. Aparência das Descontinuidades

A descontinuidade é qualquer mudança na homogeneidade de um material. Os defeitos podem aparecer durante o fabrico ou o uso do equipamento. As descontinuidades mais comuns são:

2.5.1.1. Rupturas

É mais comum no processo, ocorre em materiais ferrosos e não ferrosos. São pequenas irregularidades e cavidade superficiais e paralelas aos grãos. Essa descontinuidade ocorre o processo de forjamento, extrusão ou laminação, por temperaturas muito baixas, material excessivamente trabalhado ou por movimentação do material durante o procedimento.

2.5.1.2. Trincas de Filete

Ocorre na utilização do equipamento, são trincas superficiais que são encontradas na junção dos filetes, e se espalham pelo interior da peça. As trincas de filete aparecem quando há uma bruta mudança de diâmetros, como na região entre a cabeça de um parafuso e sua haste, onde tem um grande de tensões. Normalmente não é possível detectar pelo ensaio radiográfico.

2.5.1.3. Trincas de Esmerilhamento

Ocorre em materiais ferrosos e não ferrosos durante o processo. Há poucas descontinuidades, pouca profundidade e finas. Geralmente ocorrem em grupos e com ângulos retos com a direção da usinagem. Pode ser encontrada em materiais que sofreram tratamento térmico, endurecimento superficial e de materiais cerâmicos que sofrem usinagem (RAMALHO, 2017).

2.5.1.4. Trincas de Tratamento Térmico

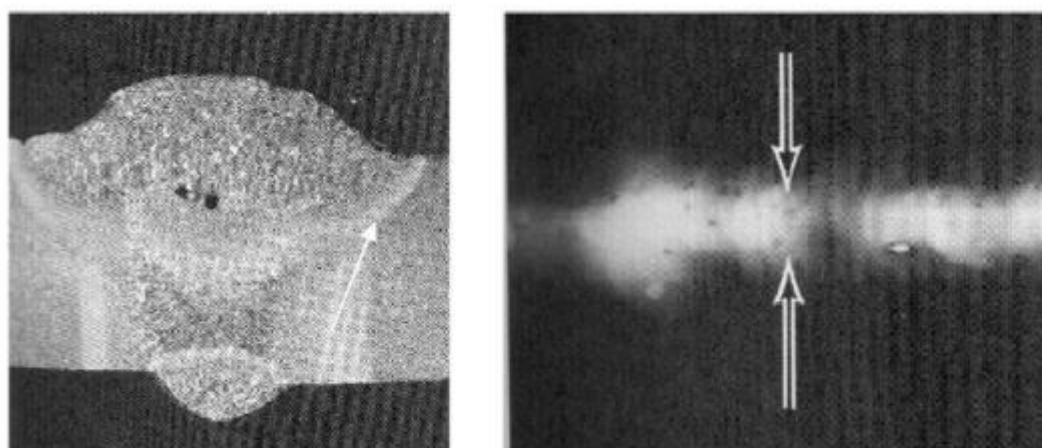
Ocorre em materiais ferrosos e não ferrosos, fundido e forjado. São falhas de processamento. Possuem defeitos superficiais, mas com uma grande profundidade e em forma de forquilha. Aparecem nas regiões com mudança brusca de espessura ou áreas onde outras descontinuidades estejam expostas à superfície do material. Os tipos de ensaios mais indicados para essa descontinuidade são o líquido penetrante e partículas magnéticas. A radiografia normalmente não é usada para detecção de falhas superficiais (RAMALHO, 2017).

2.5.2. Descontinuidades Internas em Juntas Soldadas

2.5.2.1. Inclusões gasosas (Poros)

Aparece durante a fusão da solda, por vários motivos, como o tipo de eletrodo usado, regulagem correta do arco de solda, ausência de técnica do operador, umidade e etc. Sua aparência na radiografia é uma forma esférica ou cilíndrica, pontos bem escuros com contornos nítido, sua aparência dependerá da orientação do feixe incidente.

Figura 4 - Solda com Porosidade



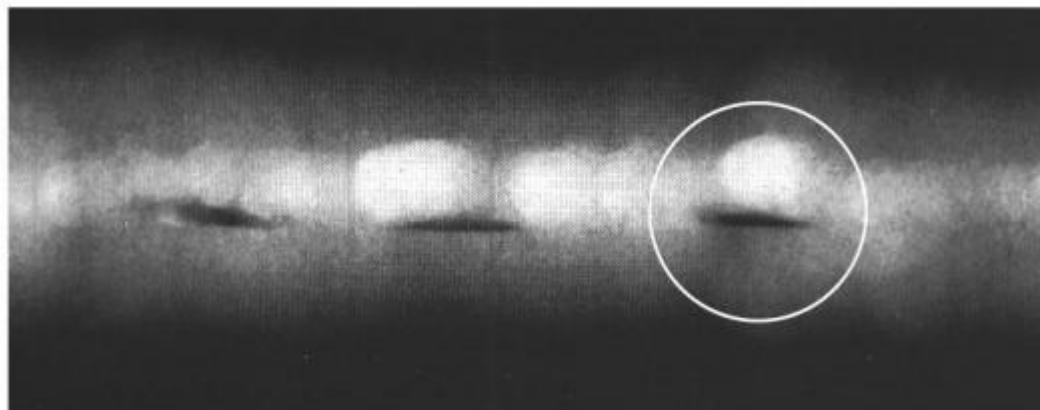
Fonte: Andreucci (2014)

2.5.2.2. Inclusão de Escória

Acontecem pela retenção de escória ou materiais estranhos durante a soldagem. Estão presentes com maior regularidade em soldas de passes múltiplos,

principalmente quando não é feita a limpeza adequada entre um passe e outro. (RAMALHO, 2017).

Figura 5 - Aparência Radiográfica de Soldas Contendo Inclusões de Escória

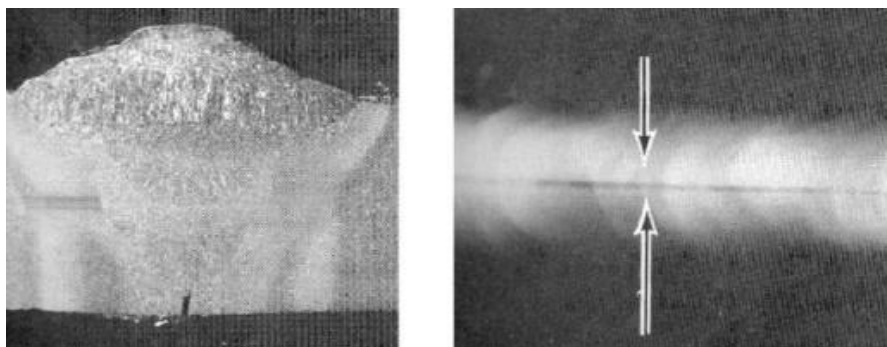


Fonte: Andreucci (2014)

2.5.2.3. Falta de Penetração

Ocorre quando falta de material depositado na raiz da solda. Caso não seja aplicado o passe da raiz essa falta de penetração fica rúte. Na radiografia é possível ver uma linha escura, intermitente ou contínua no centro do cordão.

Figura 6 - Solda com Falta de Penetração na Raiz

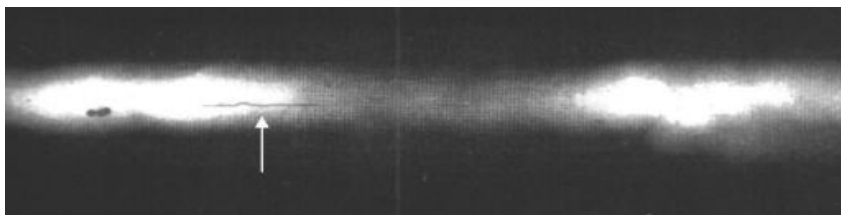


Fonte: Andreucci (2014)

2.5.2.4. Trinca

São produzidas pela ruptura no metal. É possível visualizar nitidamente quando feixe de radiação incide sobre a peça em uma direção paralela ao plano que contém a trinca. Na radiografia é possível ver a trinca como uma linha escura com direção irregular. Se a direção do plano que contém a trinca corresponde ao do feixe radioativo, sua imagem será bem escura, caso contrário, ela perde densidade e pode não aparecer. (RAMALHO, 2017).

Figura 7 - Seção de uma Solda Contendo Poro e uma Trinca Longitudinal no Cordão

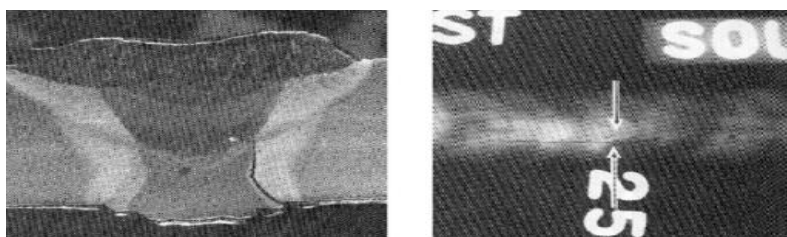


Fonte: Andreucci (2014)

2.5.2.5. Falta de Fusão

É uma descontinuidade em duas dimensões por falta de entre o metal base e o metal depositado. Só é possível a visualização pela radiografia uma linha escura e estreita paralela ao eixo da solda e é possível ver quando a direção do feixe corresponde com o plano da falha.

Figura 8 - Seção de uma Solda Contendo uma Falta de Fusão junto ao Chanfro



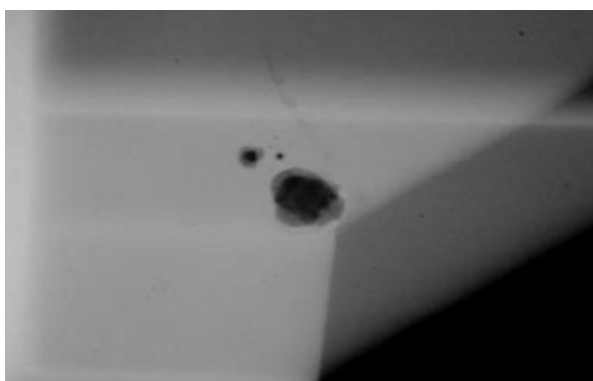
Fonte: Andreucci, 2014.

2.5.3. Descontinuidades Internas em Fundidos

2.5.3.1. Inclusão de Areia

São óxidos não metálicos e através da radiografia é possível ver sua forma irregular, mais escuras. São provenientes de partes desintegradas do molde.

Figura 9 - Inclusão de Areia

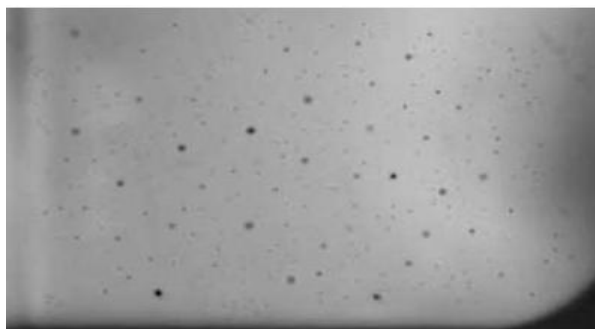


Fonte: Andreucci (2014)

2.5.3.2. **Porosidade**

É causado por excesso de gases ou ar que foram retidos dentro do material. São cavidades arredondadas ou esféricas, alongadas ou com a forma planar.

Figura 10 - Porosidade

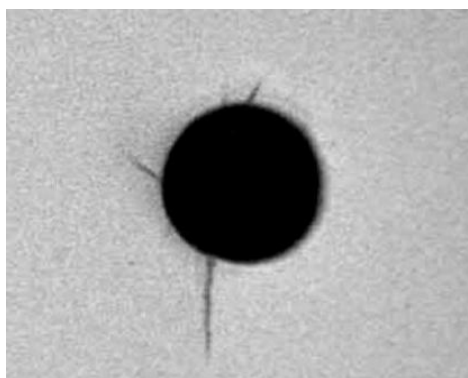


Fonte: Andreucci (2014)

2.5.3.3. **Trincas**

É possível ver na radiografia linhas finas, retas ou sinuosas, que aparecem após o metal ter sido solidificado. Normalmente aparece de forma isolada e são originalizadas na superfície do fundido.

Figura 11 - Trincas

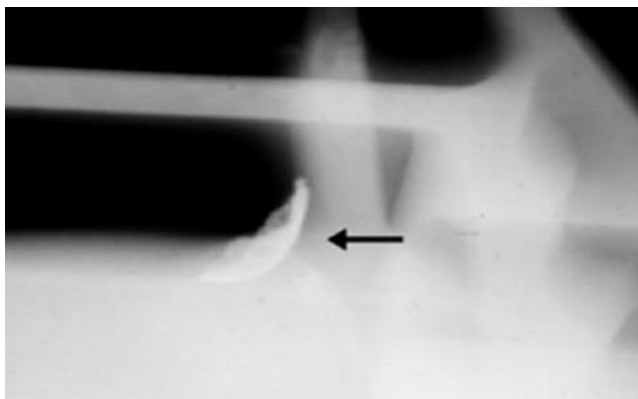


Fonte: Andreucci (2014)

2.5.3.4. **Inclusões**

São materiais não metálicos contidos no interior do metal. Elas podem ser mais ou menos espessa que o próprio metal e com as imagens radiográficas é possível visualizar uma coloração mais escura ou clara em relação ao metal fundido. (RAMALHO, 2017).

Figura 12 - Inclusão



Fonte: Andreucci (2014)

2.5.4. Vantagens

Consegue detectar descontinuidade superficiais, subsuperficiais e internas em materiais metálicos, compósitos, cerâmicos, etc.

2.5.5. Desvantagens

É preciso acessar por ambos os lados do objeto radiografado; Mão de obra treinada e qualificada.; é necessário uma geração e arquivamento de grandes volumes de filmes; e risco de exposição às radiações.

2.5.6. Norma

Os ensaios sofrem regulamentação dada por normas para sua melhor execução, sendo necessária a autorização de organizações públicas como prefeituras e defesa civil a depender de diversos critérios. Todos trabalhadores de ensaios radiográficos devem ter a respectiva qualificação por organismos oficiais fornecida, confirmando seus conhecimentos de ordem técnica (ALMEIDA; ZARATRUSTA JÚNIOR; GUATARI, 2015).

Tabela 5 - Normas Utilizadas em Ensaios Radiográficos

NORMAS	TÍTULOS	PUBLICAÇÃO	CONFIRMAÇÃO
ABNT NBR 15739 VC 2016	Ensaios não destrutivos — Radiografia em juntas soldadas — Detecção de descontinuidades	19/7/2012	-
ABNT NBR 15817 VC 2016	Ensaios não destrutivos — Radiografia em fundidos — Detecção de descontinuidades	18/5/2012	-
ABNT NBR NM 314 VC 2016	Ensaios não destrutivos - Radiografia industrial - Terminologia	4/6/2007	-
ABNT NBR NM 343 -	Ensaios não destrutivos - Radiografia industrial - Requisitos mínimos de negatoscópio	22/11/2016	
ABNT NBR NM ISO 5579 VC 2016	Ensaios não destrutivos — Exame radiográfico de materiais metálicos usando filme e raios X ou gama — Regras básica	22/11/2016	-
ABNT NBR NM ISO 17636-1	Ensaios não destrutivos de juntas soldadas - Ensaios radiográficos - Parte 1: Técnicas de raios X e gama com filme (ISO 17636-1:2013, IDT)	10/11/2017	-
ABNT NBR NM ISO 17636-2	Ensaios não destrutivos de juntas soldadas - Ensaios radiográficos - Parte 2: Técnicas de raios X e gama com detectores digitais (ISO 17636- 2:2013, IDT)	10/11/2017	-
ISO 5576	Non-destructive testing -- Industrial X-ray and gamma-ray radiology – Vocabulary	1997	
ISO 5579	Non-destructive testing -- Radiographic testing of metallic materials using film and X- or gamma rays -- Basic rules	2013	

Fonte: Abendi (2017)

Tabela 6 - Normas Utilizadas em Ensaio Radiográficos (continuação)

NORMAS	TÍTULOS	PUBLICAÇÃO	CONFIRMAÇÃO
ISO 5580	Non-destructive testing -- Industrial radiographic illuminators -- Minimum requirements	1985	
ISO 11699-1	Non-destructive testing -- Industrial radiographic film -- Part 1: Classification of film systems for industrial radiography	2008	

Fonte: Abendi (2017)

Tabela 7 - Normas Utilizadas em Ensaio Radiográficos

NORMAS	TÍTULOS	PUBLICAÇÃO	CONFIRMAÇÃO
ABNT NBR 15782 VC 2016	Ensaio não destrutivo - Radiografia industrial - Digitalização de filme	18/5/2012	-
ABNT NBR 15783 VC 2016	Ensaio não destrutivo - Radiografia industrial - Medição de espessura em serviço de tubulações e acessórios com uso de radiografia computadorizado	21/5/2012	-
ABNT NBR 16528	Ensaio não destrutivo - Radiografia Industrial - Inspeção de soldas por radiografia computadorizada	27/7/2016	-

Fonte: Abendi (2017)

Tabela 8 - Normas Utilizadas em Ensaio Radiográficos (continuação)

NORMAS	TÍTULOS	PUBLICAÇÃO	CONFIRMAÇÃO
ISO 14096-1	Non-destructive testing - Qualification of radiographic film digitisation systems -- Part 1: Definitions, quantitative measurements of image quality parameters, standard reference film and qualitative control	2005	
ISO 14096-2	Non-destructive testing - Qualification of radiographic film digitisation systems -- Part 2: Minimum requirements	2005	
ISO 15708-1	Non-destructive testing - Radiation methods for computed tomography -- Part 1: Terminology	2017	
ISO 15708-2	Non-destructive testing - Radiation methods for computed tomography -- Part 2: Principles , equipment and samples	2017	
ISO 15708-3	Non-destructive testing - Radiation methods for computed tomography -- Part 3: Operation and interpretation	2017	

Fonte: Abendi (2017)

Tabela 9 - Normas Utilizadas em Ensaios Radiográficos (continuação)

NORMAS	TÍTULOS	PUBLICAÇÃO	CONFIRMAÇÃO
ISO 15708-4	Non-destructive testing - Radiation methods for computed tomography -- Part 4: Qualification	2017	
ISO 16371-1	Non-destructive testing - Industrial computed radiography with storage phosphor imaging plates Part 1: Classification of systems	2011	
ISO 16371-2	Non-destructive testing - Industrial computed radiography with storage phosphor imaging plates: Part 2: General principles for testing of metallic materials using X-rays and gamma rays	2017	

Fonte: Abendi (2017)

2.6. CORRENTE PARASITA

A Corrente de Foucault, também conhecida por corrente parasita ou corrente de fuga, diz respeito à corrente elétrica no interior de material condutor induzida, quando ocorre a sujeição a um campo magnético variável e em função da lei de indução (Faraday). A corrente de Foucault flui desde uma volta fechada a se dar dentro de um condutor, sob planos perpendiculares, podendo ser induzida por condutor estacionário adjunto a um campo magnético variante instituído por transformador ou eletroímã, por exemplo, ou, ainda, por um movimento relativo a um ímã e um respectivo condutor próximo. Pois que a magnitude da corrente em uma dada volta se mostra proporcional ao campo magnético, à variação do fluxo, à área da volta e inversamente proporcional à resistência do material (SANCHEZ; CRISALDO; ENRIQUE, 2000).

Conforme assevera a Lei de Lenz, o sentido e magnitude dessa corrente se objeta à variação do campo que a gera, formando polos magnéticos que originam forças que eficazmente se opõem ao movimento do material transportador dentro do campo magnético. Tal efeito é usado na frenagem de trens controlados via eletroímãs, estes que são empregados para impedir a rotação de ferramentas quando desligadas, assim rapidamente procedendo (LEANDRO, 2017).

A corrente de Foucault flui por intermédio da resistência de material que igualmente dissipa energia sob a forma de calor dado pelo efeito Joule, que motiva a perda de energia em indutores, transformadores, motores elétricos, geradores e outras máquinas sob corrente.

Para impedir a dissipação de energia, os materiais que se submetem a campos variáveis magnéticos são comumente laminados ou são construídos com placas bastante pequenas isoladas umas das outras. É ainda a corrente de Foucault empregada em fornos de aquecimento via indução e em razão do uso de instrumentos de detecção de falhas e rachaduras em metais.

Foi François Arago a primeira pessoa a notar essa corrente — matemático, astrônomo e físico. No ano de 1824 ele analisou o que foi nominado de magnetismo rotativo, e que a maior parte dos corpos condutores eram magnetizados; essas descobertas completaram-se e foram elucidadas por Michael Faraday (1791-1867) (SANCHEZ; CRISALDO; ENRIQUE, 2000).

Em 1834, Heinrich Lenz concebeu a Lei de Lenz, esta que assegura que o sentido do fluxo da corrente induzida em condutores será tal que o campo magnético opor-se-á à variação do fluxo magnético que ocasionou o fluxo da corrente. A corrente produz um campo secundário que invalida a parte externa do campo e promove parte do fluxo externo a desviar-se do condutor (LEANDRO, 2017).

Ao físico francês Jean Bernard Léon Foucault creditou-se a descoberta dessa corrente. Foi percebido, em 1855, o aumento na força imprescindível para rotacionar o aro de discos de cobre ao ser colocado dentre dois polos de um ímã, simultaneamente: o disco esquentava pela corrente induzida via metal. O primeiro uso da corrente de Foucault (tipologia não destrutiva) ocorrera em 1879 quando David Hughes usou o princípio para gerir testes de triagem metalúrgica (SANCHEZ; CRISALDO; ENRIQUE, 2000).

Pela lei da corrente, Lei de Ampère, cada uma das correntes circulares motivam um campo magnético contrário que, devido à tal princípio, opõe-se à variação no campo magnético que o originou, exercendo uma força de arrasto na lâmina. Pela regra, na borda principal da lâmina, a corrente no sentido anti-horário indica um campo magnético apontado para cima, contrário ao campo magnético do ímã, motivando uma força repulsiva dentre a borda principal do ímã e a lâmina. Na borda de fundo, em contraste, a corrente no sentido horário causa campo magnético para baixo apontado, na mesma direção do campo do ímã, originando uma força atrativa dada entre a lâmina e borda de fundo do ímã (ALMEIDA; ZARATRUSTA JÚNIOR; GUATARI, 2015).

Ao movimento da lâmina ambas as forças se opõem. A energia (de tipo) cinética que é consumida é pela força de arrasto superada e dissipada sob a forma de calor pelas correntes fluindo por intermédio da resistência do metal, daí, enfim, o metal se aquece sob o ímã (ALMEIDA; ZARATRUSTA JÚNIOR; GUATARI, 2015).

Em condutores de resistividade dessemelhante de zero, a corrente de Foucault promove calor bem como a força eletromagnética. O calor pode ser aproveitado para aquecimento via indução. As forças eletromagnéticas são empregadas para levitação, criando movimento ou fortes frenagens. A corrente de Foucault ainda pode ter efeitos indesejáveis: a dissipação de potência de transformadores. Nesta aplicação, é ela minimizada sob placas finas, por laminação de condutores ou de outras peculiaridades no formato do condutor.

As correntes autoinduzidas de Foucault são culpadas pelo efeito específico em condutores. Este último por ser aproveitado para testes não destrutivos de elementos de recursos geométricos, como as micro trincas. Um semelhante efeito é o efeito de aproximação, este causado via correntes de Foucault induzidas externas (SANCHEZ; CRISALDO; ENRIQUE, 2000).

Parte de um objeto ou um objeto completo sofre intensidade de campo constante e direcionamento onde ainda há circulação relativa do campo e doo objeto (como o centro de campo em um diagrama), ou variados campos em que as correntes não podem circular em razão da geometria do condutor. Sob tais situações as cargas produzem potenciais elétricos estáticos que se contrafazem a qualquer corrente adicional. As correntes podem estar primeiramente associadas à criação de

potencialidades estáticas, mas devem ser pequenas e transitórias (SANCHEZ; CRISALDO; ENRIQUE, 2000).

A corrente de Foucault provoca perdas resistivas que demudam algumas formas de energia, como a energia cinética a se transformar em calor. Este aquecimento amortiza a eficiência de transformadores de núcleo de ferro e de motores elétricos e demais dispositivos que se valem de variáveis campos magnéticos. As correntes de Foucault passam a ser diminuídas nestes dispositivos via seleção de materiais de núcleo que têm baixa condutividade (a exemplo, o ferrite) ou se valendo de placas finas de materiais magnéticos, tidas por laminações. Não podem cruzar o espaço isolante os elétrons dentre as laminações, e então não circulam sob arcos largos (OKUMURA, 2010).

Em um processo análogo à decorrência Hall, cargas se acoplam nos limites da laminação, viabilizando campos elétricos que se contrapõem a qualquer acúmulo de carga e vão suprimindo as correntes Foucault. Menor a distância de separação dentre as laminações adjacentes (quanto maior o número de laminações por unidade de área, por exemplo, mais perpendicular ao campo justaposto), maior a supressão das referidas correntes de Foucault.

A conversão da entrada energética para calor não é obrigatoriamente indesejável, mas, há algumas aplicações práticas: a frenagem de alguns trens popular como freios de corrente de Foucault. Ao longo da frenagem, as rodas de metal são reveladas ao campo magnético dos eletroímãs, movendo correntes de Foucault nas rodas — tal corrente é composta pelo movimentar das rodas (OKUMURA, 2010).

Pela lei de Lenz, deste modo, o campo magnético composto pela corrente de Foucault será contrário à sua causa. Dessarte, a roda sofrerá uma força ao movimento inicial contrária. Quanto mais rápido as rodas revolverem, mais forte será o efeito, constituindo-se que à medida que o trem amortiza a velocidade, a força de frenagem reduz-se, produzindo o movimento de parada suave (OKUMURA, 2010).

Este método incide em utilizar um solenoide para perceber as variações no campo magnético provocado, sabendo que a corrente de Foucault vira um campo contrário ao original, sendo que há redução deste campo, assim sendo, sopesando a indutância por intermédio da mudança na impedância do solenoide detecta-se falhas

no metal, pois se sabe que a corrente induzida, quando for CA, percorre o condutor em sua superfície e por conta do efeito pelicular; desta maneira, a indutância varia quando a corrente perpassa por rachadura ou falha.

2.6.1. Propriedades que Influenciam no Ensaio de Correntes Parasitas

Segundo MARQUES, 2017 alguns fatores podem influenciar a impedância da sonda, como:

Condutividade elétrica - A condutividade é uma propriedade intrínseca ao material. Quanto maior a condutividade do material, maior é o fluxo de correntes parasitas que vai passar na superfície do material. Mas, há certos fatores que podem mudar a condutividade do material, como, composição, tratamentos térmicos, endurecimento, encruamento, entre outros.

Permeabilidade Magnética - Ela pode ser descrita como a facilidade de o material ser magnetizado. Para materiais não magnéticos a permeabilidade magnética é igual à do ar cujo valor numérico é 1.

Frequência - A resposta das correntes parasitas é amplamente afetada pela frequência escolhida. Essa propriedade que pode ser controlada pelo operador.

Geometria do material - Em objetos de ensaio muito espessos, o campo magnético gerado não consegue "varrer" toda a espessura da peça, nessa situação, a inspeção que se situar abaixo de uma dada espessura, pode deixar de detectar discontinuidades. Ou quando o objeto ensaiado possui espessura muito fina, de modo que o campo magnético ultrapassa a espessura deste, por isso, um aumento na espessura do objeto aparecerá como se houvesse um aumento na condutividade do material

Distância da peça\ lift-off - A variação do espaço entre a bobina e o material a ser ensaiado recebe o nome de lift-off. A bobina energizada e mantida no ar, longe de qualquer material condutor, apresenta um determinado valor de impedância. Quando a bobina levada para perto de algum material condutor, o valor inicial da impedância da bobina começa a mudar, assim que o campo magnético indutor intercepta o material. Essa variação ocorre até que a bobina esteja toda sobre o material.

Profundidade de penetração padrão (δ) - O campo magnético que penetra no material abaixa à medida que aumenta a profundidade do material, com isso a densidade de correntes parasitas que fluem decrescem exponencialmente com a profundidade. Este fenômeno de decaimento é conhecido como 31 efeito pelicular, ou do inglês, skin depth.

Os sensores utilizados podem ser classificados de acordo com o modo de operação e configuração das bobinas utilizadas no sistema de medição. O modo de operação determina como a bobina interage com a amostra (absoluto, diferencial ou referencia) (PEREIRA, 2014).

2.6.2. Plano de Impedância

Trincas e descontinuidade no material teste modificam as correntes parasitas e conseqüentemente a medida da impedância da bobina de medição. O plano de impedância permite uma fácil interpretação dos resultados de inspeção e o efeito das diferentes fontes de perturbação. Com a presença de trincas no material, menos correntes parasitas serão geradas, aumentando a parte imaginária e diminuindo a parte real da impedância.

2.6.2. Sondas de Correntes Parasitas

As sondas usadas para realizar o ensaio podem ser encontradas diversos tamanhos e formatos. As principais vantagens dessa inspeção é que as sondas podem ser projetadas para uma grande gama de aplicações de acordo com o seu formato. As sondas são classificadas como: Sonda absoluta, sonda diferencial e sonda reflexiva.

2.6.3. Aplicações

Equipamentos de correntes parasitas podem ser aplicados para vários tipos de detecção como detecção de trincas, medidas de espessuras de peças finas, determinação da espessura de recobrimentos e medir condutividade elétrica e permeabilidade magnética. Elas agem interrompendo a passagem da corrente parasita enfraquecendo sua intensidade, defeitos como trincas são facilmente detectados (MARQUES, 2017).

2.6.4. Normas

Tabela 10 - Norma para Ensaio Corrente Parasita

NORMAS	TÍTULOS	PUBLICAÇÃO	CONFIRMAÇÃO
ABNT NBR 8860	Ensaio não destrutivo - Correntes parasitas - Procedimento para inspeção de tubos de aço utilizando saturação magnética	13/10/2008	17/1/2014
ABNT NBR 8861	Ensaio não-destrutivo - Correntes parasitas - Detecção de discontinuidades por correntes parasitas (Eddy Current) de tubos de aço inoxidável austenítico e ligas similares	21/5/2009	29/7/2014
ABNT NBR 15193	Ensaio não destrutivo — Correntes Parasitas — Tubos não - ferromagnéticos instalados em trocadores de calor	17/6/2016	-
ABNT NBR 15246	Ensaio não destrutivo - Ensaio por campo remoto em tubos ferromagnéticos instalados em trocadores de calor	3/7/2012	19/10/2016
ABNT NBR 15548	Ensaio não destrutivo - Correntes parasitas - Procedimento para o setor aeronáutico	14/1/2008	17/1/2014
ABNT NBR NM 316	Ensaio não destrutivo - Correntes parasitas - Terminologia	4/6/2007	-
ISO 12718	Non-destructive testing -- Eddy current testing -- Vocabulary	2008	-
ISO 15548-1	Non-destructive testing -- Equipment for eddy current examination Part 1: Instrument characteristics and verification	2013	-

Fonte: Abendi (2017)

Tabela 11 - Norma para Ensaio Corrente Parasita (continuação)

NORMAS	TÍTULOS	PUBLICAÇÃO	CONFIRMAÇÃO
ISO 15548-2	Non-destructive testing -- Equipment for eddy current examination -- Part 2: Probe characteristics and verification	2013	-
ISO 15548-3	Non-destructive testing -- Equipment for eddy current examination -- Part 3: System characteristics and verification	2008	-
ISO 15549	Non-destructive testing -- Eddy current testing -- General principles	2008	-
ISO 20339	Non-destructive testing -- Equipment for eddy current examination -- Array probe characteristics and verification	2017	-
ISO 20669	Non-destructive testing -- Pulsed eddy current testing of ferromagnetic metallic components	2017	-

Fonte: Abendi (2017)

2.7. ULTRASSOM

O ensaio não destrutivo via ultrassom é metodologia para caracterizar a fundura ou a estrutura interna de peças por intermédio do uso de ondas sonoras de elevada frequência. Pois as frequências empregadas para ensaios ultrassônicos são várias vezes superiores ao limite auditivo humano, geralmente na faixa de 500 kHz a 20 MHz. Tem-se que o ultrassom em solda é tipo de ensaio não destrutivo de apreciação de materiais e produtos. É um dos métodos mais empregados nos dias atuais por sua eficiência e praticidade, sendo denominado de não destrutivo por não comprometer e não deixar nenhum tipo de sinal ou marca no elemento avaliado (OKUMURA, 2010).

Destarte, o ultrassom em solda não invalida peça, e por esse motivo é usado para a detecção de falhas em produtos semiacabados ou acabados. O ultrassom em solda torna admissível avaliar se o produto detém os predicados adequados à

função que deve executar. Afora isso, esse tipo de ensaio possibilita avaliar as propriedades do material, checando, como exemplo, qual o nível do desgaste.

Compondo o ensaio de um objeto peculiar por intermédio do ultrassom em solda é possível fixar uma base de caracteres para outros produtos diferentes ou similares, conquanto os resultados desse teste não devam ser generalizados. O ensaio via ultrassom em solda fornece consequências gerais e que podem ser a outros casos aplicados.

O ensaio por ultrassom é um serviço que precisa ser conduzido por equipe especializada. Afora isso, é essencial que esse método de ensaio passe a ser executado via equipamentos bem calibrados e de modo que os dados resultantes da análise sejam confiáveis e exatos. Ainda é indispensável que esses aparelhos sejam submetidos de forma periódica à manutenção preventiva.

Para a realização do experimento por ultrassom em solda é necessário contratar uma companhia capacitada que preste esse tipo de labor e opere em conformidade com as normas técnicas setorializadas.

É realizado o ensaio de ultrassom industrial com o auxílio de distintos métodos e tipologia de equipamentos de aplicação industrial. Os equipamentos laboram cada um com uma propriedade específica. Detalhes acerca de cada um, a seguir.

Ultrassom convencional: é método de ensaio de ultrassom industrial dado via equipamentos convencionais e o mais comum presentemente encontrado, fundamentalmente por ainda ser o que depreque menor investimento de equipamentos e que tem maior volume de indivíduos aptos neste método de inspeção. Sob tal procedimento, o equipamento é composto essencialmente por um transdutor, componente emissor/receptor e de um respectivo *display*. Cuida-se de método de ultrassom rápido e competente que pode ser justaposto em grande variedade de situações, isso em razão de equipamentos portáteis da ordem de grandeza cotejados como pouco maiores do que *tablets* e *smartphones* (SANCHEZ; CRISALDO; ENRIQUE, 2000).

Cuida-se agora o método de ensaio de ultrassom industrial não convencional de, sob igual princípio do anterior — ultrassom convencional —, mas de vantagens

significativas. Porquanto o ultrassom convencional labora apenas com transdutor monocristal, o ultrassom Phaded Array se vale de transdutores com vários elementos, enquanto o transdutor monocristal enuncia exclusivamente um feixe sônico de única direção, o transdutor com multi-elementos promove vários feixes sônicos concentrados e com a possibilidade de alterar os parâmetros desse feixe via *software*, mexendo na distância focal, ângulo do feixe e ponto de foco. Outro caractere relevante desta metodologia é a facilidade na interpretação do ensaio uma vez que o mapeamento da inspeção é no *display* do equipamento visualizado.

A técnica TOFD de ensaio de ultrassom industrial justaposta é utilizada para as detecções precisas da localização e tamanho de defeitos dados inspeções especialmente de juntas de topo dentre chapas de equipamentos durante ou antes do uso, sendo esta última muito empregada para análise estrutural pelas técnicas *engineering critical assessments* e *fitness for service*.

O método de inspeção incide em dois transdutores, um emissor e um receptor, esses que são montados e alinhados em dispositivos de modo que percorrem a área a ser inspecionada de uma só vez. Este método afiança registro da inspeção alcançada e velocidade na operação, vez que não precisa repassar os transdutores na área inspecionada mais do que somente única vez (SANCHEZ; CRISALDO; ENRIQUE, 2000).

Sons extremamente agudos ou graves podem passar despercebidos via aparelho auditivo, não por deficiência, mas por diferenciarem vibrações com frequências muito baixas, até 20Hz ou com frequências marcadamente altas, mais do que 20 kHz, ambas inaudíveis.

Como se sabe, sons produzidos em ambiente qualquer, reverberam ou refletem-se nas paredes em que a consistem, podendo além disso ser transmitidos a outros ambientes. Acontecimentos como este, não obstante, serem simples e serem frequentes na vida cotidiana, compõem os fundamentos dos ensaios ultrassônicos em materiais.

Preteritamente, mesmos sinos e testes de eixos ferroviário serem executados por intermédio de testes com martelo, com o som produzido pela peça a denunciar a presença de trincas grosseiras ou rachaduras pelo som peculiar.

Igualmente como uma onda sonora a refletir o incidir num anteparo qualquer, a onda ou vibração ultrassônica ao percorrer meio elástico, que pode ser um plástico, concreto ou metal, ou outros, melhor explicando refletirá do mesmo modo ao incidir numa falha ou descontinuidade interna neste meio considerado.

Por intermédio de aparelhos especiais, detecta-se as reflexões derivadas do interior da peça examinada, encontrando e decifrando as descontinuidades.

O ensaio por ultrassom, como aventado, caracteriza-se em um método não destrutivo que tem por alvo a detecção de descontinuidades ou defeitos internos constantes nos mais variados tipos ou formas de materiais não ferrosos ou ferrosos. Os defeitos, como já aventado, são assinalados pelo próprio processo de fabricação da peça ou de componentes a serem examinados como por exemplo: dupla laminação em laminados, bolhas de gás em fundidos, escórias em uniões soldadas, microtrincas em forjados e muitos outros. Assim, o exame ultrassônico, do mesmo modo como todo exame não destrutivo, propende diminuir o grau de incerteza no uso de materiais ou de peças de responsabilidades múltiplas.

O cientista Sokolov, no ano de 1929, perpetrava as primeiras aplicações da energia sônica para cruzar materiais metálicos, sendo que, em 1942, Firestone se valeria do princípio do ecobatímetro ou eco sonda para pesquisas de materiais.

Somente no ano de 1945 o ensaio ultrassônico iniciou sua caminhada sob escala industrial, impulsionado pelos imperativos e responsabilidades maiores. Hodiernamente, na moderna indústria, especialmente nas áreas de estruturas e caldeiraria marítimas, o exame ultrassônico constitui ferramenta indispensável para garantir a qualidade de peças de amplas espessuras, geometria complexa e chapas de juntas soldadas. Na maior parte dos casos, os ensaios são sobrepostos em aços e carbonos, em menor porcentagem dada sobre aços inoxidáveis. Materiais não ferrosos são complexos de serem verificados, e requerem procedimentos específicos (MACHADO; VÁSQUEZ, 2019).

O ensaio ultrassônico, bem como todo ensaio não destrutivo, detém limitações e vantagens nas aplicações, como segue:

A avaliação do tamanho, a localização e interpretação das descontinuidades encontradas são elementos intrínsecos ao exame ultrassônico, enquanto que outras

análises tais fatores não definem. Como exemplo, um defeito mostrado num filme radiográfico determina o tamanho, mas não sua profundez e em muitos casos é este um fator relevante para proceder um reparo;

Ao contrário dos ensaios dados por radiações penetrantes, o ensaio ultrassônico não solicita planos especiais de segurança ou outros planos acessórios para sua aplicação;

Em certos casos, o método por ultrassom pode ser mecanizado, garantindo-se a reprodutibilidade dos resultados;

O método ultrassônico possui elevada sensibilidade na de detecção de descontinuidades internas pequenas, notadamente trincas, por vezes de difícil detecção via radiografia;

Para interpretação dos indicativos, dispensa processos intermediários, otimizando a inspeção.

Limitações em face de outros ensaios.

Faixas de espessuras assaz finas, estabelecem uma dificuldade para aplicação do método;

Nos ensaios convencionais, é reiterada a insegurança do inspetor quanto à identificação da recomendação detectada na tela do aparelho;

O registro constante do ensaio não é obtido facilmente, somente em sistemas computadorizados;

Requer amplo conhecimento teórico e prática por parte do inspetor;

Requer a organização da superfície para sua aplicação.

Nenhum ensaio não destrutivo deve ser considerado o mais completo ou o mais sensível, pois as vantagens e limitações fazem com que aplicação de cada experimento seja objeto de estudo e análise da viabilidade de seu emprego, em conjunto com normas e códigos de fabricação.

O ensaio ultrassônico francamente concorre com o ensaio radiográfico em função de ambos detectarem descontinuidades nos materiais de caráter interno. Contudo, a imagem radiográfica das descontinuidades proporcionadas no material é

sempre mais garantida e fácil de ser comentada quanto comparada à indicação na tela do dispositivo de ultrassom mostrada, que nem sempre é possível asseverar com certeza o tipo da descontinuidade percebida, e por esta causa que alguns códigos de construção prioriza o ensaio radiográfico em prejuízo do ultrassom (MACHADO; VÁSQUEZ, 2019).

Como exemplo pode-se citar o Código ASME, este que desde o plano do equipamento a ser produzido já determina o seu grau de prova radiográfica requerido. Com o aperfeiçoamento das técnicas eletrônicas de ultrassom, o código referido admite a substituição do ensaio radiográfico por ultrassom, desde que este seja inteiramente mecanizado, e com apontamento digital.

Registra-se que o código American Society of Mechanical Engineers de fabricação de vasos de pressão, desde o ano de 1915, é um dos mais relevantes no mundo, dada sua segurança e confiabilidade de operação de equipamentos pressurizados industriais.

O teste ultrassônico de materiais, como verificado, é arranjado com o emprego de ondas mecânicas ou acústicas emanadas no meio em inspeção, contrariamente à técnica radiográfica que adota radiação ionizante ou ondas eletromagnéticas. Qualquer onda mecânica feita de oscilações de partículas discretas no ambiente em que se propaga (SANCHEZ; CRISALDO; ENRIQUE, 2000).

O caminho de energia acústica no meio se faz de maneira que as partículas que o compõem faça o movimento de oscilação entorno da posição de estabilização (de equilíbrio), e cuja amplitude do movimento será abrandada com o tempo em atitude de equilíbrio, cuja intensidade do movimento será amainada com o tempo com a implicação da perda de energia pela onda adquirida. Se se admitir que o meio sob estudo é elástico — que as partículas que o compõem são rigidamente unidas — tem-se que elas podem oscilar em qualquer direção, podendo-se classificar as ondas acústicas sob quatro tipos:

Ondas de compressão (ou ondas longitudinais):

São ondas em que a partículas oscilam na direção de proliferação da onda, podendo ser comunicadas a gases, líquidos e sólidos. Em decorrência do processo

de propagação, essa tipologia de onda tem uma alta velocidade de propagação que é propriedade do meio (SANCHEZ; CRISALDO; ENRIQUE, 2000).

Tabela 12 - Velocidade de Propagação das Ondas Longitudinais

Material	Velocidade m/s
Aço	5.900
Aço Fundido	4.800
Aço Inoxidável	5.800
Aço inoxidável	5.800
Acrílico	2.700
Água	1.480
Alumínio	6.300
Ar	330
Cobre	4.700
Magnésio	5.800
Níquel	5.600
Nylon	2.600
Óleo (SAE30)	1.700
Ouro	3.200
Prata	3.600
Titânio	6.100
Tungstênio	5.20

Fonte: Abendi (2017)

2.7.1. Ondas Transversais (ou Ondas de Cisalhamento)

Uma onda transversal é de tal modo conhecida quando as partículas do meio oscilam na direção perpendicular ao da propagação. Nesse caso, verifica-se que os planos de partículas permanecem na mesma distância uma das outras, movendo-se apenas verticalmente.

2.7.2. Onda Transversal

As partículas oscilam na direção transversal à direção de propagação, sendo transmitidas somente a elementos sólidos. As ondas transversais são incapazes, praticamente, de se difundirem gases e nos líquidos pelas propriedades das ligações

entre partículas nestes meios. O comprimento de onda é a extensão dentre dois vales ou dois picos (CARY, 2018).

Tabela 13 - Velocidade de Propagação das Ondas Transversais

MATERIAL	VELOCIDADE M/S
Aço	3.200
Aço Fundido	2.400
Aço Inoxidável	3.100
Acrílico	1.100
Alumínio	3.100
Alumínio	3.100
Cobre	2.300
Magnésio	3.000
Níquel	3.000
Nylon	1.100
Ouro	1.200
Prata	1.600
Titânio	3.100

Fonte: Abendi (2017)

2.7.3. Ondas de Rayleigh ou Ondas Superficiais

São de tal modo chamadas, pelas particularidades de se propagar na superfície dos sólidos. Em razão do complexo movimento oscilatório das partículas superficiais, a velocidade de propagação da onda superficial dentre duas fases diferentes é de perto de 10% inferior que a de uma onda de tipo transversal (CARY, 2018).

Para o tipo de onda aparente que não possui a elemento normal, portanto se propaga em movimento equivalente à superfície e transversal em face da direção de propagação, recebendo a nomenclatura de ondas de *love*. Sua aplicação se reduz ao exame de camadas finas de material que outros materiais recobrem (MACHADO; VÁSQUEZ, 2019).

Para as ondas superficiais propagadas com comprimento de onda próxima à espessura da chapa sob exame, enfim, neste caso a inspeção não se cinge apenas à superfície, mas a todo o material que, para esta especialidade são denominadas de ondas de *lamb*.

As ondas de *lamb* podem ser provocadas a partir das ondas longitudinais incidindo conforme um ângulo de inclinação em face da chapa. O ensaio ultrassônico de materiais de ondas superficiais é com severas restrições aplicados, pois tão somente são observadas deformidades de superfícies e, sob tais casos, há processos mais simples para a detecção desses tipos de falhas dentro dos ensaios não destrutivos como a exemplo de partículas magnéticas e líquidos penetrantes, que em geral são de complexidade e custo inferior ao ensaio ultrassônico.

O som propriamente dito ou as ondas acústicas são classificados em conformidade com suas frequências e medidos por ciclos por segundo, ou seja, a quantidade de ondas que perpassam por segundo pelo ouvido. A unidade ciclos por segundos é comumente conhecido por Hertz — abreviatura Hz (MACHADO; VÁSQUEZ, 2019).

2.7.3. Campo de Audibilidade das Vibrações Mecânicas

Considera-se o limite superior audível o de 20 kHz e nomina-se a partir desta, a chamada frequência ultrassônica.

Deve-se por seu turno a dispersão ao fato da matéria não ser inteiramente homogênea, domando interfaces naturais de seu processo de fabricação e de sua própria estrutura. Como exemplo tem-se os materiais que apresentam ferrita grãos e de grafite com propriedades distintas do ponto de vista elástico. Para esta mudança dos predicados elásticos de ponto num mesmo material chamado anisotropia que é mais expressivo quando o tamanho de grão for 1/10 do comprimento de onda (MACHADO; VÁSQUEZ, 2019).

O fenômeno da absorção acontece sempre que uma vibração acústica percorre meio elástico. É a energia resignada pela onda para que cada partícula do meio perfaça um movimento de oscilação, comunicando a vibração às outras partículas de cada próprio meio.

Assim, o resultado dos efeitos da absorção e de dispersão quando somados procedem na atenuação sônica. Este fenômeno, na prática, poderá ser considerado quando se observa na tela do aparelho de ultrassom múltiplos ecos de reflexão de fundo derivados de uma peça com superfícies paralelas. A altura dos ecos diminui com a distância pela onda percorrida (ZOLIN, 2016).

O fenômeno da atenuação é extraordinário quando se inspeciona peças em que este elemento pode inviabilizar o ensaio. É o caso de soldas sob aços inoxidáveis, de peças forjadas em aços inoxidáveis e que são exemplos clássicos de dificuldade. A avaliação e o controle da atenuação nesses casos é razão para explicar procedimentos de ensaio especial. A correta avaliação da atenuação do material na prática pode ser perpetrada por meio do uso dos diagramas especiais (MACHADO; VÁSQUEZ, 2019).

Outro fenômeno físico que se responsabiliza pela perda de parte da energia ou intensidade da onda sônica é a dissensão que se pronuncia na medida que a fonte emissora afasta-se das vibrações acústicas.

Tal fenômeno pode ser analisado se detectado um defeito pequeno com o feixe ultrassônico do transdutor central em que nestas condições a amplitude do eco na tela do aparelhamento é máxima. Contudo, quando o transdutor é lateralmente afastado ao defeito, a amplitude enfraquece, indicando queda da sensibilidade de percepção da mesma deformidade.

As ondas ultrassônicas são introduzidas ou geradas no material pela via de um elemento emissor dado com determinada dimensão e que vibra em certa frequência. Este emissor pode comparecer sob determinadas formas (retangular, circular). Tanto o elemento receptor e emissor, são denominados transdutores, igualmente designados cabeçotes (ZOLIN, 2016).

2.7.4. Transdutores Retos ou Normais

São de tal modo denominados os cabeçotes monocristal causadores de ondas longitudinais normal às superfícies de acoplamento. Os transdutores normais são arquitetados a partir de cristais piezelétricos colados em blocos rígidos nominados de amortecedor e sua parte livre resguardada por membrana de borracha ou resina especial. Tem o bloco amortecedor função de servir de base para o cristal e assimilar as ondas emitidas pela face a ele colada.

O transdutor enuncia um impulso ultrassônico a atravessar o material a inspecionar e refletir nas interfaces, causando o que é chamado de eco. Estes ecos ao transdutor retornam e geram, simultaneamente, o sinal elétrico correspondente.

Deve ser a face de contato do transdutor dado com a peça protegida contra desgastes mecânicos, podendo-se empregar membranas de borracha resistentes e finas ou camadas fixas de epóxi enricado com óxido de alumínio.

Pondera-se, finalmente, salientando-se e averiguando-se que muitos são os detalhes sobre a questão do ultrassom, que o transdutor normalmente tem sua maior empregabilidade na inspeção de peças com superfícies paralelas ou, ainda, quando se deseja detectar descontinuidades na direção perpendicular à superfície de cada peça. É o exemplo de fundidos chapas e forjados.

2.8. ESTANQUEIDADE

O exame de estanqueidade é um artifício que se verifica, comumente, o vazamento dado em tanques de armazenamento de combustíveis (CARY, 2018). A tubulação pode ser comercial ou residencial para alcançar a análise. Essa técnica é uma das mais eficientes e modernas para apurar a qualidade de tubulações características e que, por fim, podem conter solda (CARY, 2018).

Por intermédio da pressurização da tubulação de gás, empregando gás comprimido, é de se verificar se há ou não há perda de pressão. Isto aponta, além disso, a eficiência do teste de estanqueidade. É conhecido, o equipamento que ampara esse processo, por manômetro, medindo-se a quantidade de vazamento de litros a cada hora (CARY, 2018).

Cada estado oferece um documento ou laudo que comprova o teste de estanqueidade, pendendo do valor apurado. Este é identificado por intermédio de valores padrões para cada tipologia de tanque ou de encanamento havido. Se o valor for simples e baixo é bem fácil conseguir a manutenção: aplicação de resina. Sendo muito alto o vazamento, é necessário realizar um projeto para nova tubulação de gás e solicitar um técnico para verificação (ZOLIN, 2016).

Algumas corporações auxiliam no processo de realização do exame de estanqueidade e colocação, troca ou manutenção de uma tubulação, se necessário. O ensaio carece de muitos testes por trabalhar com elementos inflamáveis e que podem originar danos ao ar e ao meio ambiente por meio de poluição (MACHADO; VÁSQUEZ, 2019).

Antes de um gás advier por toda a tubulação de uma fábrica é necessário que o teste de estanqueidade proporcione parâmetros adequados. Exclusivamente assim, ele será autorizado para passar por todas as válvulas e conexões. O empreendimento que replicar pelo processo precisa emitir um certificado de teste de estanqueidade de Rede. Este certificado que frente aos órgãos responsáveis identificará os locais protegidos para funcionamento.

Pode ser apresentado um *kit* básico para a realização do teste de estanqueidade, este possuindo estojo para transporte, manômetro de tubo, um fluído de densidade, mangueira de ligação. É a partir da composição desse conjunto de materiais que se mostra possível realizar uma pesquisa de qualidade, envolvendo com eficiência comprovada os componentes.

Outras tubulações como *sprinklers* e hidrantes devem realizar um exame de estanqueidade para garantir seu funcionamento. Os gases, todavia, são os produtos que mais carecem de cuidados extras. As inspeções devem acatar as normas de cada fabricante e de cada responsável pela pesquisa que comprova a estanqueidade. A pressão e o volume máximos do recipiente são pontos a serem levados em consideração (ZOLIN, 2016).

3. METODOLOGIA

Conforme mencionado anteriormente, o ensaio não destrutivo (END) é uma técnica usada para inspecionar materiais e equipamentos sem danificá-los e é realizado durante as etapas de fabricação, construção, montagem e manutenção.

Para obter resultados satisfatórios e eficazes, os seguintes fatores devem ser considerados como elementos básicos dos resultados dos testes: pessoal treinado, qualificado e certificado, equipamentos de calibração e realizados de acordo com padrões e critérios de aceitação previamente definidos e estabelecidos para procedimentos de teste de qualificação. As habilidades dos profissionais de testes não destrutivos são essenciais para a eficiência dos testes, portanto, o treinamento é muito importante.

Três níveis de inspetores em END são recomendados:

- **Nível 1:** Habilidade para realizar calibrações específicas, ensaios específicos, e avaliações específicas de acordo com instruções escritas.
- **Nível 2:** Habilidade para configurar e calibrar equipamento, interpretar, e avaliar resultados em acordo com códigos, normas, e especificações, e também para registrar resultados.
- **Nível 3:** Competência para estabelecer técnicas, interpretar códigos, e designar os métodos de ensaio e técnicas a ser usadas, tendo um conhecimento prático na tecnologia e ser familiar com outros métodos comumente usados em END.

O mecanismo de falha sempre tem uma parte mecânica, em alguns casos essa parte mecânica funciona sozinha, em outros casos, ela trabalha em conjunto com outros fatores, como temperatura, ação química ou radiação. Alguns dos principais mecanismos de falha são: fadiga, fluência, corrosão, oxidação, fragilização térmica e fragilização por radiação.

As instruções obtidas durante a execução de testes não destrutivos precisam ser explícitas e também avaliadas. Qualquer indicação encontrada é chamada de descontinuidade. Descontinuidades não são necessariamente

defeitos, mas necessitam de identificação e avaliação.

Os ensaios a serem utilizados no comparativo são: ultrassom, radiografia, visual, corrente parasita, líquido penetrante e partícula magnética.

Para este trabalho foram realizados alguns END em materiais diferentes, de forma a mostrar o resultado obtido.

Para um melhor entendimento de qualidade da solda usamos chapas de aço baixo carbono (barra chata - aço SAE1020) chanfradas em "V" na posição plana com eletrodo revestido do tipo E - 6013 para posterior análise das soldas então obtidas.

As amostras foram preparadas com as seguintes dimensões: duas chapas de 9mm X 50mm X 100mm, chanfro em "v" com bisel de 45° e nariz de 3mm. Seguindo para o ajuste a corrente de soldagem de acordo com a espessura da chapa, as partes tiveram uma pequena separação (1 a 2 mm).

Figura 13 - Chapas com Chanfro em V



Fontes: Autores (2021)

Feito isso o eletrodo é colocado no pegador em um ângulo de 90°, onde foi aberto o arco e iniciando a soldagem. Move-se, então, regularmente ao longo da junta com um ângulo de trabalho de $\pm 15^\circ$ em relação a perpendicular, assim, finalizando a solda.

Terminado o cordão de solda, a escoria é removida e em seguida é feita uma inspeção no trabalho realizado. O cordão deve ser levemente convexo, livre de poros ou vazios na superfície e inclusões de escória.

Figura 14 - Corpo de Prova com Cordão de Solda



Fontes: Autores (2021)

Após a solda, segue para os ensaios, o qual se inicia com o processo de ensaio de líquido penetrante. Nesse ensaio a amostra é preparada, cortando o corpo de prova de 10 mm de largura e nivelando a superfície.

Figura 15 - As Tres Etapas do Ensaio por LP



Fontes: Autores (2021).

4. RESULTADOS

Para garantir a garantia da qualidade durante a construção ou manutenção, os procedimentos e os testes não destrutivos devem ser estritamente controlados. Este capítulo tem como objetivo demonstrar com mais profundidade as características dos END aplicáveis.

Abaixo serão listados os ensaios e bem como as vantagens e desvantagens da sua aplicação em um determinado momento.

4.1. ENSAIO VISUAL

4.1.1. Princípio

O teste é baseado no uso correto da luz como detector. Ao analisar a direção, amplitude e fase da luz difundida ou refletida pela superfície de um objeto opaco ou transmitida através de um meio transparente, podem ser obtidas informações sobre o estado físico do objeto a ser inspecionado.

4.1.2. Aplicações

Os testes visuais abrangem todas as tecnologias que permitem a observação direta de superfícies, mesmo que estejam localizadas em locais remotos ou inacessíveis; por definição, a tecnologia se limita a detectar descontinuidades de superfície. Recentemente, esta definição abrange todas as tecnologias baseadas na interação entre materiais de detecção e luz visível, mesmo as tecnologias mais complexas.

Métodos mais avançados permitem até mesmo a detecção de descontinuidades internas. O teste visual pode ser usado para detectar várias descontinuidades, como rachaduras, corrosão e descoloração causadas por superaquecimento, erosão, deformação, acabamento superficial irregular, erros de montagem em sistemas mecânicos ou mudanças dimensionais.

Técnicas mais complexas, como interferometria holográfica, expandem o campo de análise e fornecem mais informações do que os métodos ópticos tradicionais.

4.1.3. Técnica de Ensaio

4.1.3.1. *Técnicas tradicionais*

Em todos os casos em que a superfície testada é facilmente acessível, o teste pode ser realizado a olho nu, com ou sem lupa, ou mesmo com câmera. Usando um sistema de vídeo, técnicas complexas de processamento de imagem podem ser realizadas.

Endoscópios com fibras ópticas rígidas ou flexíveis podem ser usados para inspecionar visualmente superfícies que não entram, permitindo o acesso a áreas internas complexas. A maioria dos endoscópios modernos usa uma câmera com um diâmetro de 6 a 8 mm, guiada para a cavidade a ser examinada.

4.1.3.2. *Técnicas Avançadas*

Existem basicamente duas tecnologias avançadas: dupla exposição e interferência holográfica em tempo real.

A tecnologia de dupla exposição inclui duas exposições consecutivas da peça de trabalho sob diferentes condições de estresse na mesma placa holográfica. Quando a imagem é reconstruída irradiando o painel com um feixe de laser, as duas imagens virtuais interferem uma na outra, criando um padrão claro e escuro representando pontos que sofrem a mesma alteração. Por meio dessa técnica, o ponto de interferência é "congelado" pelo holograma e o computador pode reconstruí-lo a qualquer momento.

A tecnologia em tempo real é obtida interferindo na imagem holográfica com a parte que ainda está sob tensão mecânica. Essa tecnologia permite o desenvolvimento de padrões de interferência que podem ser monitorados em tempo real. O grau de atrito pode ser avaliado calculando o número de linhas de interferência no holograma.

4.2. PARASITAS

4.2.1. Princípio

O teste de correntes parasitas é baseado fundamentalmente na lei de indução de Faraday, em que o campo magnético gerado pela bobina quando alimentada por corrente alternada induz corrente no componente em teste, também conhecida como corrente parasita. Por sua vez, essas correntes afetam a impedância das bobinas

que as produzem. Portanto, qualquer mudança no fluxo das correntes parasitas geradas na amostra significa uma mudança na impedância da bobina.

Esse fato tem levado a uma das maiores aplicações desse método de ensaio, que é detectar a presença de possíveis discontinuidades no componente por meio da medição de mudanças na impedância da bobina, que podem interferir nas correntes parasitas. Por meio de processamento eletrônico específico, os sinais gerados pelas alterações de impedância não só permitem que os inspetores detectem a presença de discontinuidades, mas também avaliem sua profundidade e classifiquem-nas como internas ou externas à superfície onde a sonda de teste está localizada. Ao analisar a amplitude do sinal gerado, o tamanho da discontinuidade detectada pode ser estimado.

4.2.2. Aplicações

O método de teste de corrente parasita é muito versátil porque pode ser usado para todas as aplicações relacionadas a mudanças geométricas, elétricas ou magnéticas. Faça os ajustes necessários para cada requisito, principalmente no que diz respeito ao tipo e tamanho da sonda, você pode realizar testes:

- Detectar falta de homogeneidade no material tais como trincas, deformações, inclusões, variações de espessura, corrosão, etc.;
- Medir espessura ou variação de espessura de camada não condutora aplicada em material condutor ou camada condutora aplicada em material de condutividade diferente;
- Detectar variações associadas à condutividade do material, falta de homogeneidade em ligas, superaquecimento local e erros de tratamento térmico;
- Detectar variações associadas à permeabilidade magnética através de medição das intensidades dos campos magnéticos.

Além de uma ampla gama de aplicações, o teste de correntes parasitas também tem uma série de vantagens, tais como: alta sensibilidade, alta confiabilidade, velocidade de execução rápida, instalações automatizadas, nenhum contato direto entre a sonda e a superfície a ser testada, limpeza, etc. Na indústria do aço, os materiais podem tirar proveito do teste direto térmico. Da mesma forma, em superfícies polidas ou polidas, bem como nos campos da arte e da arqueologia,

não há risco de danos na superfície.

4.2.3. Técnicas de Ensaio

A técnica de utilização deste método de teste depende do material a ser testado, se o teste a ser realizado é manual ou automático, e o mais importante, depende do tipo e localização da descontinuidade a ser detectada.

- **Técnica de Magnetização DC**, para inspeção principalmente de tubos, barras ou arames de material ferromagnético;
- **Técnica de Campo Remoto**, para inspeção de tubos, barras ou arames de material ferromagnético e não ferromagnéticos;
- **Técnica de Multifreqüência com Mistura de Sinais**, destinada a detectar e avaliar descontinuidades localizadas próximas ou sob placas suportes ou chicanas;
- **Inspeção por controle remoto**, em geradores de vapor de centrais nucleares;
- **Inspeção com a utilização de sondas rotativas e/ou do tipo “pancake”** para detectar e avaliar descontinuidades em tubos, soldados em espelhos de caldeiras e trocadores de calor.
- **Inspeção com a utilização de sonda rotativa** para detectar descontinuidades em furos sede de arrebites e parafusos, na área aeronáutica.

4.3. LIQUIDO PENETRANTE

4.3.1. Princípio

É considerado um dos melhores métodos de ensaio para detectar descontinuidades de superfície aberta em diferentes materiais não porosos, tais como: metais ferrosos e não ferrosos, ligas metálicas, cerâmicas, vidro, certos tipos de plásticos ou materiais orgânicos sintéticos. Líquidos penetrantes também podem ser usados para detectar vazamentos em tubos, tanques, soldas e componentes.

Este método é baseado no fenômeno capilar, que é a capacidade do líquido de penetrar em locais extremamente pequenos devido às suas propriedades físicas

e químicas, como a tensão superficial. A penetração é um recurso muito importante, porque a sensibilidade da detecção depende em grande parte dela.

Descontinuidades de materiais de fundição, como rachaduras de tensão causadas por processos de queda a frio, têmpera ou revenido, descontinuidades de fabricação (como rachaduras, juntas, laminados de camada dupla, sobreposição de materiais ou rachaduras causadas por fadiga do material ou corrosão por tensão) podem ser facilmente detectado pelo método de penetração de líquido.

São três as características desse ensaio O processo de ensaio se caracteriza pela utilização básica de três produtos:

O processo de ensaio se caracteriza pela utilização básica de três produtos:

- **Líquido Removedor**, para a pré-limpeza da superfície de ensaio.
- **Líquido Penetrante**, para penetrar nas descontinuidades abertas à superfície e formar as indicações.
- **Revelador**, que irá evidenciar e revelar a descontinuidade.

O líquido penetrante é aplicado na superfície medida por pincel, spray, aerossol ou mesmo imersão, e então age na superfície medida por um certo período de tempo denominado tempo de penetração (o tempo necessário para o líquido penetrante penetrar com sua força capilar) não é sexo contínuo). O penetrante é então removido da superfície por lavagem com água ou remoção do penetrante com solvente, sem remover o líquido penetrante remanescente na descontinuidade.

4.3.2. Aplicabilidade

A característica do teste é que o método é de fácil aplicação em qualquer lugar, ou seja, em uma instalação industrial, oficina ou campo, independentemente da disponibilidade de recursos exigidos por outros métodos.

As vantagens são baixo custo, fácil aplicação, alta sensibilidade e podem ser usadas para materiais como ferro, aço, alumínio, titânio ou ligas de níquel, cerâmica e vidro; no processo de fabricação, como fundição, forjamento, laminação, soldagem e inspeção dos materiais em uso. Se houver fadiga ou corrosão sob tensão.

Este teste é geralmente aplicado a superfícies em temperatura ambiente, mas também pode ser usado em superfícies com temperaturas de até 65 ° C. Nesses casos, os parâmetros do processo de teste, como penetração, desenvolvimento e tempo de secagem, devem ser adequados às condições sob as quais o teste é realizado.

4.3.3. Vantagem / Desvantagem

O processo de ensaios por líquidos penetrantes possui como grandes vantagens:

- A possibilidade de aplicação do ensaio em quaisquer tipos de materiais, desde que não porosos.
- A facilidade de aplicação, pela simplicidade do processo e a excelente sensibilidade na detecção de descontinuidades superficiais.
- A facilidade de utilização do ensaio em peças de grandes dimensões, em locais de difícil acesso, em instalações industriais, em manutenções preventivas de complexos industriais e em todae quaisquer aplicações em campo.

Algumas das desvantagens do processo são:

- As limitações de aplicação do processo em superfícies com extrema rugosidade ou micro porosidade.
- O tempo de desenvolvimento do ciclo total do processo, normalmente mais longo, quando comparados outras técnicas de ensaio.
- A complexidade geométrica das peças, é um fator limitador de aplicação do ensaio; pode não haver possibilidade de acesso aos locais a serem ensaiados.
- A dificuldade de documentação e registro dos resultados do ensaio.

4.4. PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

4.4.1. Princípio

O método é baseado na geração de um campo magnético que se propaga por toda a superfície do componente em teste, esta parte deve ser feita de material ferromagnético.

Quando descontinuidades superficiais ou subterrâneas são encontradas no

material, as linhas do campo magnético do fluxo induzido no material se desviam de sua trajetória, saltam para fora da superfície e geram uma área chamada campo de escape, que tem uma forte atração por partículas magnéticas. No momento em que esta magnetização da área de teste é causada, as partículas magnéticas aplicadas serão atraídas para o local da superfície contendo a descontinuidade, formando assim uma indicação do defeito.

4.4.2. Aplicações e Desenvolvimento

A inspeção de partículas magnéticas é usada para detectar descontinuidades superficiais e subterrâneas de materiais ferromagnéticos. Detecte defeitos como rachaduras, juntas frias, inclusões, quedas de frio, pressão dupla e impermeabilidade.

Alguns exemplos típicos de aplicação deste método são fundições de aço ferrítico, forjamento, extrusão, soldagem, peças tratadas termicamente (porcas e parafusos), peças retificadas (rachaduras) e muitas outras aplicações de materiais pretos. São assim, "cruzam" ou "cruzam" as linhas de fluxo magnético induzido, portanto, a peça deve ser magnetizada em pelo menos duas direções que estão 90° defasadas.

4.4.3. Técnicas de Ensaio

A magnetização da peça a ser testada é obtida por corrente contínua na peça ou por indução de um campo magnético externo.

O meio detector (partículas magnéticas) é aplicado simultaneamente com a magnetização (método contínuo) ou algum tempo após a magnetização (método residual).

Partículas magnéticas usadas como meio detectoras são classificadas de acordo com duas características básicas de aplicação: secas, usadas para secas, e úmidas, usadas para líquidos em suspensão, como água ou óleo mineral fino.

A tecnologia de via úmida é usada para detectar descontinuidades superficiais minúsculas ou superfícies muito lisas, enquanto a tecnologia de via seca é mais adequada para dispositivos portáteis e semiportáteis em superfícies não usinadas, geralmente quando essa sensibilidade não é necessária.

Dispositivos fixos geralmente usam tecnologia de teste úmido com banhos específicos (coloridos ou fluorescentes) na inspeção da produção em massa ou

peças de manutenção de rotina, e dispositivos portáteis são usados em fábricas de campo, química, petroquímica e até química ou dentro da fábrica. Peças grandes. As máquinas portáteis usam tecnologia úmida ou seca.

4.4.4. Limitações

As limitações do ensaio por partículas magnéticas são:

- A técnica é aplicável somente em materiais ferromagnéticos;
- Baixa sensibilidade para descontinuidades esféricas;
- Só pode ser automatizado com sucesso nas etapas manuais; a interpretação dos resultados deve ser realizada por pessoal qualificado;
- Apesar da existência de especificações e padrões fotográficos, sempre existirá o elemento subjetivo na interpretação dos resultados;
- Normalmente o ensaio é limitado a áreas com fácil acesso.
- Este ensaio pode ser realizado em superfícies com temperaturas de até 60°C na técnica via úmida e até 300°C na técnica via seca.

4.5. ULTRA-SOM

4.5.1. Princípio

O teste ultrassônico é baseado no fenômeno de reflexão das ondas sonoras quando encontram obstáculos ao se propagar dentro do material. Se o obstáculo estiver na posição normal (vertical) em relação ao feixe incidente, a onda será refletida de volta para sua fonte de geração.

4.5.2. Aplicações

O ultrassom é o método de teste não destrutivo mais amplamente usado para detectar descontinuidades internas em materiais em todo o mundo.

O ultrassom é uma onda sonora com uma frequência acima do limite audível. Geralmente, a frequência ultrassônica está na faixa de 0,5 a 25 MHz.

Pulsos ultrassônicos são transmitidos ao material por meio de um transdutor especial (geralmente chamado de cabeça). O pulso ultrassônico refletido pela parte

descontínua ou pela superfície oposta da peça (eco de fundo) é captado pelo transdutor, convertido em um sinal eletrônico e exibido na tela plana LCD do aparelho.

Geralmente, o tamanho real da descontinuidade interna pode ser estimado com precisão razoável com base na altura do eco refletido, fornecendo assim um método para a aceitação ou rejeição da peça de acordo com os critérios de aceitação do padrão aplicável.

As principais aplicações deste teste são soldas, laminados, forjados, fundidos, materiais compostos, medição de espessura e testes de corrosão.

O ultrassônico é o método de teste não destrutivo mais comumente usado para detectar descontinuidades internas e também é o método de crescimento mais rápido. Usado há muito tempo em testes de aprovação, controle de processo, inspeções de aeronaves e nas indústrias nuclear, petroquímica e siderúrgica.

É utilizado para a caracterização de materiais, um exemplo típico é a avaliação da resistência do cimento com base na velocidade de propagação do som, ou a determinação do grau de esferoidização do ferro dúctil utilizado para pontas de eixo na indústria automotiva.

As aplicações mais recentes são o controle de qualidade de materiais compostos, o teste de juntas coladas de madeira, plástico e metal e o controle de soldagem a ponto. A seleção de equipamentos, sensores e procedimentos de teste precisam ser cuidadosamente estudados para obter o nível de sensibilidade necessário e a interpretação correta dos resultados.

4.5.3. Técnicas de Ensaio

A tecnologia ultrassônica é basicamente dividida em dois tipos: tecnologia de contato e tecnologia sem contato (imersão).

Na tecnologia de contato, água, óleo ou outros reagentes como meio de acoplamento são usados para aplicar diretamente o transdutor ao objeto; na tecnologia sem contato, o transdutor é manipulado a uma certa distância do objeto de teste. No meio, pode ser água ou óleo leve, com a vantagem de eliminar o efeito das mudanças de acoplamento.

A seleção da tecnologia deve levar em consideração a sensibilidade, a geometria da peça, o tipo e a direção das descontinuidades, a simplicidade de

operação e a velocidade necessária para a inspeção.

A tecnologia de contato é mais adequada para grandes produtos e estruturas soldadas, enquanto a tecnologia de imersão é usada para testar grandes quantidades de peças pequenas e idênticas por meio de sistemas automatizados, especialmente nas indústrias automotiva e aeroespacial que requerem detecção de alta sensibilidade.

Em ambos os casos, a avaliação da descontinuidade é baseada na comparação entre o sinal obtido pelo bloco de calibração com a descontinuidade artificial de tamanho e posição conhecidos e o sinal obtido na peça de teste.

4.6. ENSAIO RADIOGRÁFICO

4.6.1. Princípio

Este método é baseado na alteração da atenuação da radiação eletromagnética (raio X ou gama) causada por descontinuidades durante a passagem da radiação pelo componente. A imagem é registrada em filme radiográfico ou sistema de inspeção radiográfica, imagens do tipo intensificador e integrador, O resultado é exibido no monitor de TV.

4.6.2. Aplicações e desenvolvimento

A radiografia é um dos primeiros métodos de teste não destrutivos introduzidos na indústria para detectar descontinuidades internas. Seus campos de aplicação são bastante amplos, incluindo inspeção de soldas, peças fundidas, forjadas, materiais compostos, plásticos, etc.

A radiografia vai além da tecnologia estática pura (filme de radiografia) e passa a ser realizada em um processo dinâmico em tempo real, sendo chamada de inspeção radiográfica.

A radiologia usa um intensificador de imagem para converter os raios X que passam pela peça em uma imagem exibida em um monitor de TV. Ampolas de raios X, manipulador de peças e componentes intensificadores de imagem devem estar localizados em um gabinete de proteção contra radiação. A peça a ser testada é colocada ou fixada no manipulador, move-se dentro do feixe de raios X e a imagem resultante é observada dinamicamente no monitor; isso fornece uma visão tridimensional das descontinuidades dentro da peça.

Outras aplicações especiais são observar o movimento de um projétil ainda dentro do canhão, o fluxo metálico durante o vazamento na fundição, a queima dos combustíveis dentro dos mísseis e operações de soldagem.

4.6.3. Técnicas de Ensaio

Várias técnicas de medição diferentes são usadas em radiografia. A escolha dependerá de vários fatores, incluindo: o tipo de material (madeira, aço, alumínio, plástico, compósito, concreto, etc.), geometria e número de peças, localização, sensibilidade necessária e espessura relacionada.

O equipamento de raio-X portátil de baixa e média energia é fácil de transportar, enquanto o equipamento de raio-X de alta energia é fixo e pode ser usado em instalações como cabines de proteção contra radiação ou abrigos.

4.6.4. Limitações

Aço de até 500 mm de espessura pode ser inspecionado por radiografia de alta energia usando um acelerador linear; em equipamentos de raios X tradicionais, essa espessura é reduzida para 125 mm. Na fluoroscopia de raios X, a espessura máxima é reduzida ainda mais: quando queremos detectar pequenas descontinuidades, 75 mm para aço e 150 mm para ligas leves.

Se uma descontinuidade bidimensional (como uma rachadura) estiver em um ângulo em relação ao eixo do feixe de radiação, ela pode não ser detectada. A utilização de qualquer tipo de fonte de radiação exige o cumprimento da legislação de proteção radiológica, o que significa aumento de custos.

4.7. Comparativo Simplificado entre os Ensaios

Através dos expostos obtidos acima sobre os ensaios realizados, formulou se então a tabela 8, nos baseando na qualidade em juntas soldadas. Dessa forma, é possível visualizar quais tipos de ensaios são mais adequados a quais tipos de juntas soldadas.

Tabela 14 - Comparativo entre os Ensaio

MÉTODOS	DESCONTINUIDASES A DETECTAR	VANTAGENS	LIMITAÇÕES	EXEMPLO DE USO	TIPOS DE JUNTA
ULTRASSOM	Mudanças na impedância acústica causada por trincas, inclusões ou interfaces.	Podem penetrar em materiais espessos, excelente para detecções de trincas.	Normalmente requer o acoplamento ao material, quer por contato com a superfície ou imersão em um fluido, superfície deve ser lisa.	Inclusões, laminação, trincas, rechupes, poros, falta de fusão.	Juntas de topo entre chapas e tubos, Juntas de ângulo, conexões, juntas tubulares.
RADIOGRAFIA	Mudanças na densidade por vazios, inclusões, materiais variados.	Pode ser usado para inspeção de uma gama de materiais e espessuras.	Segurança radiológica, requer precauções, detecção de trincas podem ser difícil perpendicular aos raios x.	Soldas de penetração em tubos, inclusões, e vazios, defeitos internos.	Juntas circunferenciais, de topo, de tubulações.
ENSAIO VISUAL	Superfícies características tais como trincas com cores, tensão em materiais transparentes, corrosão.	Muitas vezes conveniente, pode ser automatizado.	Só pode ser aplicado em superfícies através de aberturas de superfície, trincas ou material transparente.	Metal para acabamento superficial e uniformidade.	Juntas circunferenciais, de topo, de tubulações.
CORRENTE PARASITA	Mudanças na condutividade elétrica causada por vários materiais, trincas, vazios ou inclusões.	Prontamente automatizado, custo moderado.	Limitado a materiais condutores de eletricidade profundidade de penetração limitada.	Tubos de trocador de calor para parede, desbastes e trincas.	Materiais condutores de eletricidade e não ferromagnéticos.

Fonte: Autores (2021)

Tabela 15 - Comparativo entre os Ensaios (continuação)

MÉTODOS	DESCONTINUIDADES A DETECTAR	VANTAGENS	LIMITAÇÕES	EXEMPLO DE USO	TIPOS DE JUNTA
LÍQUIDO PENETRANTE	Aberturas de superfície devido a trincas, porosidade, soldagens ou dobras.	Barato, fácil uso, prontamente portátil, sensível para pequenas falhas superficiais.	As falhas devem estar abertas a superfície. Não é útil em materiais porosos ou superfícies rugosas.	Lâmina de turbina com trincas superficiais ou porosidade.	Superfícies planas, chapas planas, juntas de topo e ângulo em T e tubos com juntas
PARTÍCULA MAGNÉTICA	Fuga de fluxo magnético gerado pela superfície ou perto da superfície, trincas, vazios, inclusões ou materiais com alterações de geometria.	Baratos ou com custo moderado, sensíveis a ambas superfícies e defeitos superficiais próximos.	Limitando a materiais ferromagnéticos pode ser necessária a preparação de superfícies e desmagnetização pós-inspeção.	Rodas ferroviárias com trincas, grandes peças.	: Chapas Planas, Juntas Tubulares, Juntas circunferências e longitudinais.

Fonte: Autores (2021)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como se viu, a solda é de extrema validade para que trabalhos diversos dados em metal possam ser constituídos, compostos e reparados, sendo certo que sua durabilidade e confiabilidade dependem de múltiplos aspectos.

Esses aspectos irão depender, a posteriori, das verificações realizadas por ensaios, sejam eles destrutivos ou não destrutivos, tipologia esta estudada ao longo deste trabalho de conclusão de curso.

E, como amplamente examinado, algumas opções existem na direção de se verificar, sem destruição do material, a qualidade das soldas, como o caso do ultrassom, radiografia e outros a verificar possíveis porosidades ou trincas existentes na solda, dentre outros problemas — bem se encaminhando, enfim, os reparos necessários, lembrando que a funcionalidade e a segurança de equipamentos, processos e, em última análise, a segurança de pessoas diversas.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Antenor Márcio; ZARATRUSTA JÚNIOR; Álvaro Mário de Abreu; GUATARI, Gustavo A. A. **Princípios e elementos de soldagem**. Cuiabá: MTT, 2015).

ASM Metal Handbook. **Nondestructive Evaluation and Quality**. 9ª. ed.: ASM International, v. 17, 2019.

BRANDÃO, C. R. (Org.). **Pesquisa participante**. 8. ed. São Paulo: Brasiliense, 1990.

CHALMERS, A. **O que é ciência, afinal?** Trad. de Raul Fiker. São Paulo: Brasiliense, 1982.

FLICK, U. **Uma introdução à pesquisa qualitativa**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

MACHADO, Kaíke Alonso; VÁSQUEZ, Bispo Gentio. **Velhos e Novos Elementos da Fundação Industrial**. Belo Horizonte: Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2019.

CARY, H.B. **Modern Welding Technology**. 14ª ed.. New York: Prentice-Hall, 2018.

DEMO, P. **Metodologia científica em ciências sociais**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1989.

FERNANDES, Paulo S. Thiago. **Montagens Industriais. Planejamento, Execução e Controle**. São Paulo: Artliber, 2013.

GUEDES, Luis Carlos; PADILHA, Angelo Fernando. **Aços Inoxidáveis Austeníticos: Microestrutura e Propriedades**. Santos: Hemus, 1998.

LEANDRO, César Alves Da Silva. **Termodinâmica Aplicada à Metalurgia**. São Paulo: Ed. Érica, 2017.

LOURENÇO, C. S. **OS ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS COMO FERRAMENTA INDISPENSÁVEL NA GARANTIA TOTAL DA QUALIDADE NOS PROJETOS DE ENGENHARIA DE TECNOLOGIA MILITAR DA MARINHA DO BRASIL**. Apresentação de monografia à Universidade Candido Mendes – AVM Faculdade Integrada como requisito parcial para obtenção do grau de especialista em ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Orientador Prof. NELSON MAGALHÃES** Rio de Janeiro 2012

MARQUES, P. V.; MODENNESI, P. J.; SANTOS, D. B. **Introdução à Metalurgia de Soldagem**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

OKUMURA, T C. **Engenharia de Soldagem e Aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 2010

VASCONCELLOS, Alexandre Luiz. **Ligações em Estruturas Metálicas**. Vol. 1. Rio de Janeiro: CBA, 2013.

ZOLIN, I. **Análises de Falhas e Ensaios Mecânicos**. Santa Maria: Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2016.

RAMALHO, I. **Tonal Susceptibilidade de diferentes ensaios não destrutivos para indicação de trincas de fadiga**. Rio de Janeiro: Pontifício Universidade Católica, 2017.

PEREIRA, D. **Avaliação do método parasitas para caracterização microestrutural e inspeção de defeitos em super ligas à base de níquel**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 2014.

MARQUES, B. S. B. Aplicação da técnica de correntes parasitas para detecção de defeitos em aço dúplex 2205 com diferentes tratamentos térmicos.

Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ. 2017.