



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA - DEMEC  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA SOLDAGEM

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:**

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE TÉCNICAS NÃO DESTRUTIVAS: UM  
ESTUDO DE CASO NA INSPEÇÃO DE JUNTAS SOLDADAS EM TUBULAÇÃO  
DE TRANSFERÊNCIA DE AMÔNIA ANIDRA**

**Belo Horizonte - MG**

**2020**

**JÚLIO CÉSAR DE LIMA ROQUE**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:  
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE TÉCNICAS NÃO DESTRUTIVAS: UM  
ESTUDO DE CASO NA INSPEÇÃO DE JUNTAS SOLDADAS EM TUBULAÇÃO  
DE TRANSFERÊNCIA DE AMÔNIA ANIDRA**

Dissertação apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia de Soldagem do Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, como pré-requisito para obtenção do título de Engenheiro de Soldagem, orientado pelo Professor Dr. Ariel Rodrigues Arias.

**Belo Horizonte - MG**

**2020**



Universidade Federal de Minas Gerais  
 ESCOLA DE ENGENHARIA  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**  
 Curso de Especialização em Soldagem

Ata 05/2020 da Defesa de Monografia de Especialização

No dia **30 de outubro de 2020**, às 15:00 h, a Comissão Examinadora se reuniu remotamente para avaliar o trabalho:

**Título:** "AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE TÉCNICAS NÃO DESTRUTIVAS: UM ESTUDO DE CASO NA INSPEÇÃO DE JUNTAS SOLDADAS EM TUBULAÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DE AMÔNIA ANIDRA".

**Aluno:** JÚLIO CÉSAR DE LIMA ROQUE – Matrícula: 2018701112

**Local:** Remotamente via plataforma "TEAMS".

**Parecer:**

A Comissão Examinadora, após a apresentação pelo (a) candidato (a) durante 35 (Trinta e cinco) minutos e após ter argüido o candidato (a) por 25 (Vinte e cinco) minutos, é de parecer FAVORÁVEL à aprovação do trabalho de monografia com a nota final de 85 (Oitenta e cinco) com sugestões de modificação.

Sugere-se o prazo de 30 (Trinta) dias para efetuar-se as modificações sugeridas com revisão final acompanhada e homologada pelo orientador Prof. Dr. Ariel Rodrigues Arias.

**Assinaturas:**

Prof. Dr. Ariel Rodriguez Arias  
 Coordenador do Curso de Especialização em  
 Tecnologia e Qualificação em Soldagem

**Prof. Dr. Ariel Rodriguez Arias**  
 DEMEC/UFMG - Orientador

Alexandre Queraz Bracarense, MSc  
 mb.weldworks

**Dr. Alexandre Q. Bracarense**  
 MB WeldWorks – Avaliador

**Jonas Cândido da Silva** - Avaliador

Julio Cesar de Lima Roque

**Aluno: Júlio César de Lima Roque**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por permitir a realização de mais uma etapa, a família pelo apoio, carinho e compreensão pela ausência.

Agradeço aos mestres pelo empenho, dedicação, paciência e conhecimento transferido. Em especial ao professor orientador Ariel Rodrigues Arias juntamente com o professor Alexandre Bracarense, que desenvolveu e estruturou o Curso, ao professor Paulo Mondenesi por doar e viver o seu dom de lecionar e a todos os professores que ministraram disciplinas no curso de especialização em engenharia de soldagem pelos conselhos e mentoria.

Aos amigos de classe por contribuírem para o nosso crescimento pessoal, profissional e por tornarem nossa jornada mais leve.

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais por apoiarem e contribuírem para a obtenção deste novo título.

Aos familiares e amigos por compreenderem os momentos de ausência em virtude dos estudos para a realização e conclusão desta pós-graduação.

Júlio César de Lima Roque

## RESUMO

Os Ensaio s Não Destrutivos (END) reúnem um conjunto amplo de técnicas utilizadas nas ciências e na indústria para avaliar determinadas propriedades de um material, bem como para garantir a integridade de um componente, equipamento ou sistema, durante o processo de fabricação, montagem, manutenção e / ou operação. Tais técnicas baseiam-se na observação de fenômenos físicos tais como: absorção de ondas eletromagnéticas, propagação e reflexão de ondas mecânicas, magnetização de materiais ou capilaridade, e sem causar danos à amostra examinada ou impedir seu uso posterior.

Os ensaios não destrutivos são técnicas altamente valiosas, uma vez que permitem o controle das propriedades dos materiais, com economia de tempo e dinheiro, e permitem que o material testado volte intacto para o local de trabalho após a inspeção. É grande o número de técnicas não destrutivas disponíveis para inspeção industrial. Entretanto, todas elas apresentam vantagens e limitações.

Este trabalho pretende avaliar o resultado de inspeção obtido por um conjunto de técnicas não destrutivas e determinar quais as mais indicadas à inspeção de juntas soldadas, através do processo (*GTAW - Gas Tungsten Arc Welding*), também conhecido por (*TIG - Tungsten Inert Gas*), aplicadas em juntas soldadas de acessórios e da tubulação de transferência de amônia anidra entre a área da tancagem e a planta de granulação III, onde é incorporada a rocha fosfática que é matéria prima na produção de fertilizantes fosfatados. Os componentes analisados são confeccionados em aço carbono (ASTM A53 GRAU B ASME B36.10 – Diâmetro 3” – SCH 40) que possuem pequenas dimensões, o que pode limitar o uso de algumas técnicas não destrutivas. Além disto, outras técnicas que são consideradas de elevado custo ou que exigem medidas especiais de segurança para sua utilização não foram abordadas no presente estudo.

**Palavras-chave:** Ensaio s não destrutivos. Juntas soldadas, Tubulação de transferência de amônia anidra.

## ABSTRACT

Non-Destructive Tests bring together a wide range of techniques used in science and industry to evaluate the properties of a material, as well as to guarantee the integrity of a component, equipment or system, during the manufacturing, assembly, maintenance and / or operation process. Such techniques are based on the observation of physical phenomena such as: absorption of electromagnetic waves, propagation and reflection of mechanical waves, magnetization of materials or capillarity, and without causing damage to the examined sample or preventing its subsequent use.

Non-destructive tests are highly valuable, as it allows the control of material properties, saving time and money, and allows the tested material to return intact to the workplace after completion. It is the large number of non-destructive techniques available for industrial registration. However, they all have advantages and limitations.

This work aims to evaluate the prediction result by a set of non-destructive techniques and to determine which are the most suitable for the inspection of welded joints, through the process (GTAW - Gas Tungsten Arc Welding), also known as (TIG - Tungsten Inert Gas), applied to welded joints of fittings and anhydrous ammonia transfer piping between the tanking area and the granulation plant III where phosphate rock, which is a raw material in the production of phosphate fertilizers, is incorporated. The dimensioned components are made of carbon steel (ASTM A53 GRADE B ASME B36.10 - Diameter 3"- SCH 40) that have small dimensions, which may limit the use of some non-destructive techniques. In addition, other techniques that are considered to be high cost or that special safety measures for their use were not addressed in the present study.

**Keywords:** Non-destructive tests. Welded joints, Anhydrous ammonia transfer piping.

## Lista de Figuras

Figura 01 – Método da bolha de sabão com solução formadora de espuma.....	24
Figura 02 – Esquema das etapas do ensaio por líquido penetrante. (a) peça com trinca superficial; (b) aplicação de líquido penetrante; (c) penetração; (d) remoção do excesso de líquido; (e) aplicação do revelador; (f) formação da indicação da trinca.....	28
Figura 03 – Esquema das etapas de realização do ensaio com partículas magnéticas. 1 – Preparação inicial da peça (limpeza); 2 - Indução do campo magnético; 3 - Aplicação das partículas magnéticas; 4 - Exame da superfície para identificação das possíveis indicações.....	31
Figura 04 – Princípio básico da inspeção de materiais por ultrassom.....	32
Figura 05 – Arranjo básico utilizado para a realização do ensaio radiográfico.....	34
Figura 06 – Imagem radiográfica da peça apresentada na Figura 05.....	35
Figura 07 – Representação de amostras utilizadas nos ensaios – Escala: 50:1.....	41
Figura 08 – Representação de amostras utilizadas nos ensaios de líquido penetrante – Escala: 50:1.....	43
Figura 09 – Kit para realização do ensaio por líquido penetrante. O kit contém (A) penetrante, (B) revelador e (C) solvente.....	44
Figura 10 – Amostras após a aplicação de líquido penetrante e revelador por meio de aerosol – Escala: 50:1.....	46
Figura 11 – Amostras contendo indicações de descontinuidades – Mordedura (A e B) e Porosidade (C e D) – Escala: 50:1.....	47
Figura 12 – Aparelhos e insumos utilizados durante o ensaio de ultrassom. Aparelho de Ultrassom USM Go + (figura 12A); Cabos coaxiais (figura 12B); Cabeçotes (figura 12C); Acoplante – Carboxi Metil Celulose (figura 12D) .....	48
Figura 13 – Varredura da Raiz.....	49



Figura 14 – Marcas referenciais para o posicionamento do cabeçote.....	49
Figura 15 – Junta de Topo.....	50
Figura 16 – Junta de Ângulo em T.....	50
Figura 17 – Junta de Ângulo com solda em Ângulo.....	50
Figura 18 – Conexão com chanfro de geometria variável 1.....	51
Figura 19 – Conexão com chanfro de geometria variável 2.....	51
Figura 20 – Conexão com chanfro de geometria variável 3.....	51
Figura 21 – Conexão com chanfro de geometria variável 4.....	52
Figura 22 – Junta tubular.....	52
Figura 23 – Varredura para detecção de descontinuidades transversais (a) solda com reforço, (b) solda com reforço usinado e (c) seção transversal mostrando a incidência do feixe.....	53
Figura 24 – Varredura para detecção de descontinuidades longitudinais e movimentação do cabeçote.....	53
Figura 25 – Exemplo de indicações de descontinuidades – Porosidade distribuída (A), Agrupada (B), Alinhada (C), Inclusão de escória (D), Falta de fusão (E), Falta de penetração (E).....	54
Figura 26 – Indicador de pressão com pressão de teste equalizada.....	55
Figura 27 – Gráfico de realização do teste – Pressão x Tempo.....	55
Figura 28 – Configuração do sistema de pressurização.....	56

## Lista de Tabelas

Tabela 01 – Parâmetro de preparação de superfície.....	42
Tabela 02 – Parâmetro de iluminação.....	43
Tabela 03 – Tipos e técnicas para ensaios por líquido penetrante.....	45
Tabela 04 – Consolidação dos resultados e discursões.....	58

### **Lista de Abreviaturas e Siglas**

ASME = AMERICAN Society of Mechanical Engineers

ASTM = American Society for Testing and Materials

CP = Corrente Parasita

EA = Emissão Acústica

EE= Ensaio Estanqueidade

END = Ensaio Não Destrutivo

EV = Ensaio Visual

GTAW = Gas Tungsten Arc Welding

IEIS = Instrução de Execução e Inspeção de Soldagem

LP = Líquido Penetrante

MPI = Magnetic Particles Inspection

PM = Partícula Magnética

RX = Radiografia

TIG = Tungsten Inert Gas)

UFMG = Universidade Federal de Minas Gerais

US = Ultrassom

## Sumário

1.	INTRODUÇÃO .....	15
2.	OBJETIVOS .....	16
2.1	Objetivo Geral.....	16
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	17
3.1	Ensaio Não Destrutivos .....	17
3.2	Ensaio por Inspeção Visual.....	18
3.2.1	<i>Introdução</i> .....	18
3.2.2	<i>Vantagens</i> .....	18
3.2.4	<i>Aplicação</i> .....	19
3.2.5	<i>Etapas do Ensaio</i> .....	19
3.3	Ensaio por Estanqueidade .....	21
3.3.1	<i>Introdução</i> .....	21
3.3.2	<i>Métodos</i> .....	22
3.3.3	<i>Vantagens</i> .....	24
3.3.4	<i>Limitações</i> .....	25
3.3.5	<i>Aplicações</i> .....	25
3.3.6	<i>Etapas do ensaio</i> .....	25
3.4	Ensaio Por Líquido Penetrante.....	26
3.4.1	<i>Introdução</i> .....	26
3.4.2	<i>Vantagens</i> .....	26
3.4.4	<i>Aplicações</i> .....	27
3.5	Ensaio Por Partícula Magnética .....	29
3.5.1	<i>Introdução</i> .....	29
3.5.2	<i>Vantagens</i> .....	30
3.5.3	<i>Limitações</i> .....	30

3.5.4 Aplicações.....	31
3.5.5 Etapas do Ensaio.....	31
3.6 Ensaio por Ultrassom.....	32
3.6.1 Introdução.....	32
3.6.2 Vantagens.....	32
3.6.3 Limitações.....	33
3.6.4 Aplicações.....	33
3.6.5 Etapas do Ensaio.....	34
3.7 Ensaio por Radiografia.....	34
3.7.1 Introdução.....	34
3.7.2 Vantagens.....	36
3.7.3 Limitações.....	36
3.7.4 Aplicações.....	37
3.7.5 Etapas do Ensaio.....	37
3.8 Ensaio por Emissão Acústica.....	38
3.8.1 Introdução.....	38
3.8.2 Vantagens.....	39
3.8.3 Limitações.....	39
3.8.4 Aplicação.....	39
3.8.5 Etapas do Ensaio.....	39
3.9 Ensaio por Correntes Parasitas.....	40
3.9.1 Introdução.....	40
3.9.2 Vantagens.....	40
3.9.3 Limitações.....	41
3.9.4 Aplicação.....	41
3.9.5 Etapas do Ensaio.....	41
4. ESTUDO DE CASO.....	41

4.1	Métodos Aplicados .....	42
4.1.1	<i>Execução - Ensaio por Inspeção Visual</i> .....	42
4.1.2	<i>Execução - Ensaio por Líquido Penetrante</i> .....	45
4.1.3	<i>Execução - Ensaio por Ultrassom</i> .....	48
4.1.4	<i>Execução - Ensaio Estanqueidade</i> .....	56
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	58
5.1	Tempo de Execução dos Ensaios, Quantidade de Reparos e Equipe Disponível ..	58
5.2	Custo de Materiais e Mão de Obra de Controle de Qualidade .....	59
5.3	Funcionalidade .....	59
6.	CONCLUSÃO.....	60
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	61

## 1. INTRODUÇÃO

As técnicas de inspeção não destrutivas evoluíram, principalmente a partir da década de 50, até se tornarem uma ferramenta indispensável ao controle de produção. Hoje os ensaios não destrutivos são largamente utilizados na indústria moderna em todo o mundo para: caracterização de materiais; avaliação da qualidade e detecção de descontinuidades. Descontinuidades são interrupções na estrutura normal de um material, tais como: pequenas falhas superficiais ou trincas, todas passíveis de serem percebidas durante a realização de um ensaio não destrutivo.

São considerados Ensaio Não Destrutivo (END) aqueles que quando realizados em peças acabadas ou semiacabadas não interferem nem prejudicam seu uso futuro ou processamento posterior. Uma característica interessante dos END é que eles geralmente medem indiretamente a propriedade de interesse. O valor dessa propriedade geralmente é obtido a partir de sua correlação com outra grandeza que é medida durante a realização do teste.

Garantir a qualidade dos produtos e a operação segura de equipamentos, prevenir acidentes e a perda de vidas humanas, evitar a paralisação da operação de equipamentos com consequentes prejuízos econômicos são as principais razões para se utilizar ensaios não destrutivos. Detectar a presença de defeitos em um produto semiacabado evita gasto de matéria prima e desperdício de horas de trabalho. Podem ainda indicar aos projetistas sobre a necessidade de mudanças no projeto de novos produtos. Desta forma, a utilização de técnicas não destrutivas como ferramenta de controle de qualidade pode contribuir indiretamente para melhorar a competitividade da empresa.

Por fim um produto não precisa ser perfeito, porém deve apresentar um nível de qualidade adequado para uma determinada finalidade. A manutenção deste e da uniformidade da produção pode ser mais facilmente atingida com o uso dos END, o que pode reduzir custos, aumentando assim os lucros da empresa.

Neste trabalho foi feito um estudo do ensaio não destrutivo mais adequado à detecção de descontinuidades presentes em juntas soldadas executadas pela empresa InspEND Engenharia, durante o processo de montagem da tubulação de transferência de amônia anidra (ASTM A53 GRAU B ASME B36.10 – Diâmetro 3” – SCH 40), levando em consideração fatores como: funcionalidade, tempo de execução e custo do material utilizado.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

- ✓ Avaliar o resultado de inspeção obtido por um conjunto de técnicas não destrutivas utilizadas em juntas soldadas aplicadas em tubulação de transferência de amônia anidra.

### **2.2 Objetivos específicos**

- ✓ Descrever vantagens, desvantagens, aplicações e etapas das diversas técnicas não destrutivas.
- ✓ Determinar qual a técnica não destrutiva mais indicada às inspeções de juntas soldadas aplicadas em tubulação de transferência de amônia anidra.
- ✓ Analisar os seguintes fatores: - tempo de execução dos ensaios e quantitativos de reparos - custo de materiais e mão de obra de controle de qualidade – funcionalidade.



### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Ensaios Não Destrutivos

Os Ensaios Não Destrutivos (END) são técnicas utilizadas na inspeção de materiais e equipamentos sem danificá-los e são definidos como testes para o controle da qualidade, realizados sobre peças acabadas ou semiacabadas, para a detecção de defeitos ou falta de homogeneidade, através de princípios físicos definidos, sem prejudicar a posterior utilização dos produtos inspecionados. [1]

Um defeito nada mais é do que uma descontinuidade que, por sua natureza, tipo, dimensões, localização ou efeito acumulado, torna a peça imprópria para uso, por não satisfazer os requisitos mínimos de aceitação da norma aplicável. Enquanto que uma descontinuidade é uma interrupção da estrutura típica de uma peça, no que se refere à homogeneidade de características físicas, mecânicas ou metalúrgicas. Uma descontinuidade não necessariamente é um defeito. [1]

Os END's constituem uma das principais ferramentas do controle da qualidade e são utilizados na inspeção de produtos soldados, fundidos, forjados, laminados, entre outros, com vasta aplicação nos setores petroquímico, nuclear, aeroespacial, siderúrgico, naval, autopeças e transporte rodoferroviário. Eles contribuem para a qualidade dos bens e serviços, redução de custo, preservação da vida e do meio ambiente, sendo fator de competitividade para as empresas que os utilizam. [1]

Os END's incluem métodos capazes de proporcionar informações a respeito do teor de defeitos e/ou descontinuidades de um determinado produto, das características tecnológicas de um material, ou ainda, da monitoração da degradação em serviço de componentes, equipamentos e estruturas. [2]

O método a ser utilizado depende, entre outras coisas, das propriedades físicas do material. Um conhecimento geral dos métodos de END disponíveis é necessário para a seleção do método adequado. [3]

Os ensaios não destrutivos são aplicados para: garantir a confiabilidade de produtos através de critérios de aceitação definidos em norma; informar sobre a necessidade de reparo; prevenir acidentes; redução de custos. [3]

Para obter resultados satisfatórios e válidos, é fundamental observar os seguintes elementos: pessoal treinado, qualificado e certificado; conduzir o ensaio segundo um procedimento qualificado elaborado com base em normas e critérios de aceitação

previamente definidos e estabelecidos, um sistema para registrar os resultados; uma norma para interpretar os resultados; e equipamentos calibrados. [4]

Os Ensaio Não Destrutivos mais utilizados são:

- Inspeção Visual;
- Estanqueidade;
- Líquidos Penetrantes;
- Partículas Magnéticas;
- Ultrassom;
- Radiografia;
- Emissão Acústica;
- Correntes Parasitas;

## **3.2 Ensaio por Inspeção Visual**

### *3.2.1 Introdução*

O método de Ensaio Visual (EV) foi provavelmente o primeiro ensaio não destrutivo usado pelo homem, mas continua sendo o mais usado e geralmente precede qualquer outro ensaio. A sua principal vantagem é fornecer dados quantitativos (além das informações qualitativas) mais facilmente que os outros END. Alguns testes são baseados nas leis da ótica geométrica e outros fazem uso das propriedades ondulatórias da luz.

### *3.2.2 Vantagens*

A inspeção visual é um ensaio largamente utilizado para avaliar as condições ou qualidade de uma solda ou componente onde uma rápida detecção e correção de defeitos significam economia. É de fácil execução, de baixo custo e comumente não requer equipamento especial. É considerado um método primário nos programas de controle de qualidade. [5]

### **3.2.3 Limitações**

A inspeção visual requer boa visão, boa condição de iluminação e experiência no reconhecimento de defeitos e/ou descontinuidades. Alguns equipamentos também podem ser usados tais como, lupas de pequeno aumento, boroscópio, câmeras, etc. Para determinação do tamanho, forma, cor, acabamento, refletividade, presença de descontinuidades superficiais grosseiras e funcionalidade, usando a visão a olho nu ou com o auxílio de instrumentos simples, tais como: lupas e gabaritos, ou sofisticados aparelhos como interferômetros e microscópios. [5]

### **3.2.4 Aplicação**

O ensaio visual é aplicado principalmente para a inspeção de: superfícies expostas ou acessíveis de materiais opacos e equipamentos parcial ou totalmente montados e objetos acabados; e, interior de objetos transparentes ou translúcidos, como o vidro, quartzo, alguns polímeros, além de líquidos e gases. [5]

### **3.2.5 Etapas do Ensaio**

- Verificar se a preparação e limpeza da superfície são adequadas;
- Verificar se a condição de iluminamento na superfície a ser ensaiada é satisfatória;
- Estabelecer o Ponto “0” na junta preparada para soldagem ou na junta soldada, e sentido de progressão do ensaio;
- Quando da realização da inspeção visual e dimensional em uma junta preparada para soldagem, deverão ser examinadas as superfícies dos biséis e as áreas adjacentes á 25,00 mm das extremidades preparadas do chanfro, verificando as dimensões e tolerâncias estabelecidas na Instrução de Execução e Inspeção de Soldagem (IEIS), procedimento de ensaio, projeto do equipamento ou peça, ou outra instrução específica quanto a:

- ✓ Ângulo do bisel;
- ✓ Ângulo do chanfro;
- ✓ Abertura da raiz;
- ✓ Altura da face da raiz;
- ✓ Profundidade de preparação;
- ✓ Desalinhamento;
- ✓ Dupla laminação;
- ✓ Rugosidade excessiva;
- ✓ Pontos e estados de corrosão, etc.

• Quando da realização da inspeção visual e dimensional em uma junta soldada, examinar a superfície da solda e áreas adjacentes a 25,00 (mm) das margens da solda observando a existência de descontinuidades inaceitáveis e verificando as dimensões e tolerâncias estabelecidas neste procedimento ou outros documentos de referência, tais como:

- ✓ Abertura de arco;
- ✓ Trincas;
- ✓ Falta de fusão;
- ✓ Falta de penetração;
- ✓ Crateras;
- ✓ Ângulo excessivo de reforço;
- ✓ Concavidade;
- ✓ Concavidade excessiva;
- ✓ Convexidade excessiva;
- ✓ Embicamento;

- ✓ Mordedura;
  - ✓ Mordedura na raiz;
  - ✓ Penetração excessiva;
  - ✓ Perfuração;
  - ✓ Poro superficial;
  - ✓ Rechupe de cratera;
  - ✓ Reforço excessivo;
  - ✓ Respingos;
  - ✓ Sobreposição;
  - ✓ Solda em ângulo assimétrica;
  - ✓ Deformação angular;
  - ✓ Deposição insuficiente.
- Indicar as descontinuidades / irregularidades com giz de cera ou marcador industrial na superfície em exame.
  - Proceder à identificação e registro das descontinuidades / irregularidades detectadas.
  - Avaliar as descontinuidades / irregularidades encontradas.

### **3.3 Ensaio por Estanqueidade**

#### *3.3.1 Introdução*

O método de ensaio de Estanqueidade (EE), também denominados ensaios hidráulicos e pneumáticos são realizados com o objetivo de verificar a estanqueidade de reservatórios ou de circuitos pneumáticos. Por esta razão, são também conhecidos por “ensaios de estanqueidade”. Normalmente, os ensaios de pressão e/ou vedação realizam-se com água ou ar, sendo denominados, respectivamente, por “ensaios hidráulicos” e “ensaios pneumáticos”. A utilização de óleos também é possível; no

entanto, há que considerar que certos óleos têm uma taxa de compressão elevada, o que pode de algum modo influenciar o resultado do ensaio. [6]

Se o ensaio for realizado num reservatório (para um fluido qualquer, gasoso ou líquido), este deverá ser cheio com o fluido de ensaio (água, gás ou óleo). Em seguida, é necessário pressurizar o reservatório durante um determinado tempo. A duração do ensaio com o reservatório sob pressão deve ser suficiente para que haja a garantia de que não irão surgir fugas do fluido de ensaio, em tempo, não observáveis. Toda a inspeção a realizar durante o ensaio baseia-se, normalmente, em exames visuais. [6]

### 3.3.2 Métodos

**Métodos de testes por perda de pressão e fluxo de massa:** Esses métodos usam transdutor de pressão, transdutor diferencial de pressão ou medidor de fluxo de massa (sensor de fluxo), para detectar e medir as mudanças que ocorrem dentro de uma peça quando submetida a teste. [6]

Perda de Pressão (Pressure Decay) e Fluxo de Massa (Mass Flow) são os métodos de testes mais usados. São também diretamente dependentes da estabilidade e condições do ambiente durante o ciclo de teste. Esses métodos são baseados na lei do gás ideal ( $pV=nRT$ ). Pequenas variações na temperatura da peça e/ou volume durante o teste podem afetar a repetibilidade. [6]

Para atender adequadamente os requerimentos de teste, as variações diferenciais da pressão ou fluxos associados entre peças aprovadas e reprovadas devem ser suficientemente maiores que as influências das variações de temperatura e/ou volume da peça. Essas influências são mais comumente causadas em testes com alta pressão, peças com materiais de características elásticas e ambientes e peças sem temperatura controlada. [6]

**Métodos com traço de gás:** Esses métodos monitoram as variações em concentração em um traço do gás. Os gases utilizados são: ar, hélio, hidrogênio, argônio, freon. Alguns desses métodos de teste são manuais e, portanto, dependem da observação do operador da mesma forma que ocorre nos testes de bolha em tanque de água. [6]

Os sistemas totalmente automáticos utilizam analisadores de gases como, por exemplo, sensores de acumulação de gás hélio, espectrômetros de massa, ou

analisadores de resíduos de gases em ambiente a vácuo, normalmente câmara de teste a vácuo. Esses métodos não são dependentes da lei do gás ideal e, portanto não são afetados por variações de temperatura ou volume. [6]

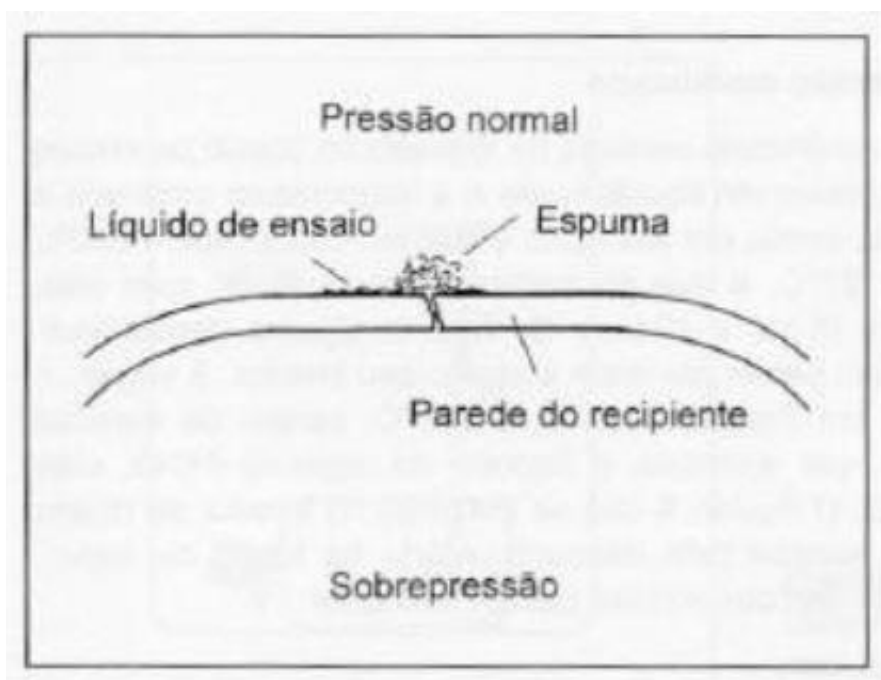
Em geral, o custo de investimento em um sistema de teste de estanqueidade aumenta à medida que a taxa de vazamento especificada diminui. Com isso, sempre que for possível, sem prejudicar o teste, é necessário especificar a maior taxa de vazamento que satisfaça a funcionalidade da peça. A peça que, além de sua funcionalidade possui também o componente de segurança relativo à sua aplicação, tem taxas de vazamento menores, ou seja, especificações mais rígidas, mais apertadas. [6]

O investimento inicial no equipamento de teste é somente um componente do total do custo do processo durante o seu ciclo de vida e, assim é altamente recomendável que se leve em conta a aquisição de um sistema de teste com instrumentos e equipamentos de qualidade e tecnologia de última geração que possam superar variações razoáveis no processo de produção, com o objetivo de se obter testes confiáveis e com boa repetibilidade. [6]

**Método das bolhas em tanque de água:** A detecção de vazamento e o ensaio de estanqueidade realizados com o método da bolha consistem, basicamente, em tornar visível o desprendimento de bolhas em uma descontinuidade do objeto de ensaio, de maneira que o local do vazamento possa ser identificado. [6]

A diferença de pressão empregada no ensaio com o método da bolha é feita de tal maneira que a pressão no interior do objeto de ensaio seja maior que a pressão externa. A superfície externa do objeto de ensaio é molhada com uma solução formadora de espuma de pequena tensão superficial e caso exista uma descontinuidade através da qual escape uma quantidade significativa de gás ou vapor, então haverá a formação de bolhas, que dependendo do tamanho que apresentam e da frequência com que se formam, permitem determinar o tamanho da descontinuidade. A Figura 01 mostra o esquema do método.

Figura 01 - Método da bolha de sabão com solução formadora de espuma.



Fonte: HASHIMOTO, A. P. M. B.; CABRAL, S. G.; Valle, V., *Teste de Estanqueidade em Sistema de Combustível de Gás Hélio*. EMBRAER S.A. São José dos Campos, SP, Brasil. 2003 [6].

A principal desvantagem deste método é que não é possível realizar o teste sem que o objeto de ensaio seja molhado parcial ou completamente. Por motivo de higiene, ou para evitar problemas relacionados com corrosão, há necessidade de limpar e secar corretamente o objeto de ensaio. A superfície do objeto a ser inspecionada com o método da bolha deve estar o mais limpa possível, não podendo em hipótese alguma conter restos de graxa ou óleo. Um vazamento grande não pode ser localizado empregando elevada pressão de ensaio, visto que o ar ou gás de ensaio escapa através de uma descontinuidade expulsando a solução formadora de espuma com violência para longe do local onde se encontra o vazamento antes que a espuma se forme. A grande vantagem do método da bolha é a sua simplicidade. [6]

### 3.3.3 Vantagens

Dizer simplesmente que a peça não pode vazar, não significa estabelecer uma especificação de teste de estanqueidade. Sabemos que, de certa forma, tudo vaza em certa medida e em algum período. [6]

Um teste de estanqueidade verifica que um produto manufaturado não permita que um fluido (líquido ou gás) penetre ou escape do mesmo. O objetivo é especificar



uma razoável e mensurável taxa de vazamento que defina a partir de qual ponto um produto não está adequado a realizar as funções para as quais foi projetado. [6]

Sistemas de testes automatizados são usualmente definidos para assegurar resultados de testes independentes da decisão do operador. Sistemas por perda de pressão e fluxo de massa são aqueles mais amplamente utilizados em virtude de se obter resultados confiáveis com custo bastante razoável. Para especificações de teste muito rígidas e restritivas os métodos com traço de gás são os mais adequados, tais como máquinas de acumulação a hélio e espectrômetro de massa. [6]

### *3.3.4 Limitações*

Ar comprimido, gás hélio ou outros gases, podem fluir através de fissuras ou porosidades de uma superfície, onde líquidos não podem em função de viscosidade, tensão de superfície, extensão e forma da fissura. É importante especificar uma taxa de estanqueidade razoável, evitando tornar desnecessariamente rígida a especificação de teste, uma vez que a mesma influência no valor do investimento e tempo de teste. [6]

### *3.3.5 Aplicações*

O ensaio de estanqueidade, vedação e/ou pressão é utilizado não só em reservatórios, mas também em condutas de vapor, canalizações de prédios, caldeiras, instalações frigoríficas, circuitos hidráulicos, calibração de instrumentos (por exemplo: manômetros), câmaras de vácuo, tubagens em geral, etc.

### *3.3.6 Etapas do ensaio*

- Enchimento por pressurização da tubulação que esta sendo testada;
- Verificação das conexões;
- Aguardar a acomodação do fluido de teste e espera;
- Avaliar se a pressão manteve constante ou houve uma queda eventual em um intervalo de tempo caracterizando como um vazamento.

## 3.4 Ensaio Por Líquido Penetrante

### 3.4.1 Introdução

O ensaio por Líquido Penetrante (LP) é utilizado para revelar descontinuidades superficiais em materiais em geral. Ele baseia-se na ação da capilaridade, que é o poder de penetração de um líquido em locais extremamente pequenos devido a suas características físico-químicas como a tensão superficial. O poder de penetração é uma característica bastante importante uma vez que a sensibilidade do ensaio é enormemente dependente do mesmo. [7]

O objetivo do ensaio por líquido penetrante é assegurar a confiabilidade do produto, por meio de obtenção de uma imagem visual, que revela a descontinuidade na superfície da peça sem danificá-la. O sucesso deste ensaio depende da visibilidade da indicação. [7]

O método de ensaio por líquidos penetrantes consiste na aplicação de um líquido, com características especiais, sobre a superfície da peça ou componente de interesse, de forma que, após um determinado tempo, este líquido penetre em descontinuidades presentes no material e que sejam abertas à superfície. Após um determinado tempo, o excesso de líquido é removido e um produto chamado revelador é aplicado sobre a superfície. Este material age de forma a retirar o líquido que penetrou na descontinuidade, formando uma imagem da mesma na superfície da peça, que será avaliada de acordo com a norma utilizada para a fabricação da peça ou componente. [7]

### 3.4.2 Vantagens

A técnica por líquido penetrante é capaz de ensaiar peças de tamanhos e formas variadas bem como pequenas áreas isoladas em uma superfície, assim como é capaz de detectar descontinuidades muito pequenas. É um dos ensaios mais sensíveis para detectar descontinuidades superficiais. [7]

Sua gama de aplicações se estende desde materiais ferrosos, não ferrosos, cerâmicas de alta densidade, vidros e etc.. Porém, nenhum dos materiais a ser ensaiado pode ser poroso.

O líquido penetrante fornece uma indicação ampliada da descontinuidade, tornando-a mais visível. As descontinuidades detectadas são analisadas quanto à localização, orientação, dimensões, tornando fácil a interpretação e avaliação. [7]

É relativamente barato e não requer equipamentos sofisticados. As instalações podem ser adaptadas ao tamanho e quantidade de peças. Permite automação do sistema. Pode ser aplicado durante o processo de fabricação, ao final deste ou durante a manutenção, aqui para detectar as o surgimento das descontinuidades em serviço. [7]

Quanto à sensibilidade do ensaio, ela pode ser ajustada, selecionando os materiais e técnicas de ensaio.

### *3.4.3 Limitações*

As peças devem estar completamente limpas e a abertura das possíveis descontinuidades desobstruídas. O ensaio por líquidos penetrantes só detecta descontinuidades abertas à superfície. [7]

Não pode ser utilizado em superfícies porosas ou absorventes, pois há a possibilidade da não remoção completa do excesso de penetrante causando mascaramento de resultados.

As técnicas convencionais devem ser aplicadas em uma faixa de temperaturas definida, em geral entre 10 °C e 52 °C. [7]

Os produtos utilizados no ensaio podem danificar alguns materiais ou ficarem permanentemente retidos em materiais porosos. Alguns produtos utilizados podem conter enxofre ou compostos halógenos (cloretos, fluoretos, brometos e iodetos). Estes compostos podem causar fragilização ou trincas em aços inoxidáveis austeníticos se não forem completamente removidos antes de tratamentos térmicos ou exposição a altas temperaturas. Podem também causar corrosão em ligas de titânio se não forem completamente removidos após o ensaio e a peça for exposta a altas temperaturas. Além disto, os produtos utilizados podem causar irritação na pele se manuseados sem luvas. [7]

### *3.4.4 Aplicações*

O ensaio de líquido penetrante, devido às características básicas, pode ser aplicado em grande variedade de produtos metálicos e não metálicos ferrosos e não ferrosos, sejam forjados, fundidos, cerâmicos de alta densidade e etc., desde que não sejam porosos, com resultados técnicos e economicamente satisfatórios na revelação de descontinuidades superficiais, por menores que sejam. Pode ser aplicado durante o processo de fabricação, ao final deste ou durante a manutenção. [7]

Considerando que alguns materiais podem ser afetados pelos produtos utilizados no ensaio, devem ser realizados testes para assegurar que o material a ser ensaiado não seja danificado.

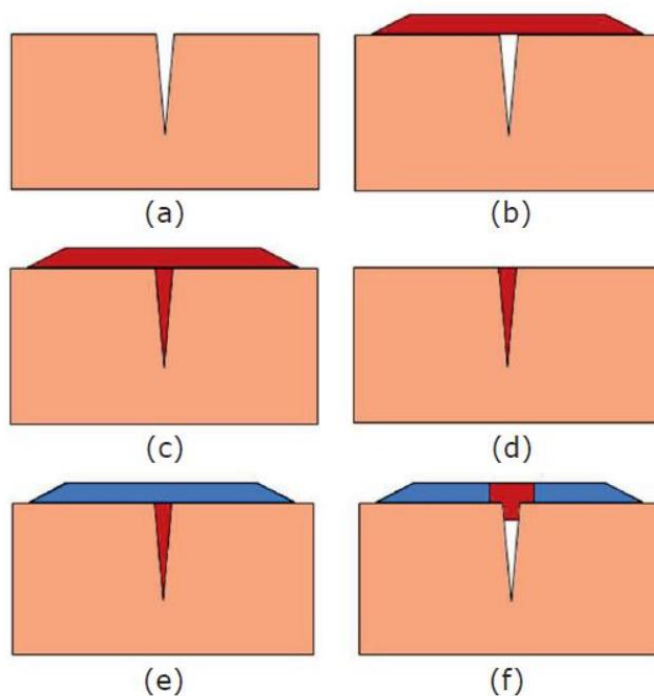
É muito usado em materiais não magnéticos como alumínio, magnésio, aços inoxidáveis austeníticos, ligas de titânio, e zircônio, além dos materiais magnéticos. É também aplicado em cerâmica vitrificada, vidro e plásticos.

### *3.4.5 Etapas do Ensaio*

Segue descrito abaixo e representado na figura 02 o esquema das etapas do ensaio de líquido penetrante:

- Preparação da superfície/limpeza;
- Aplicação do penetrante;
- Tempo de penetração;
- Remoção do excesso do penetrante;
- Secagem da peça, se o revelador utilizado for o seco ou o não aquoso;
- Aplicação do revelador;
- Tempo de revelação;
- Inspeção, verificar a revelação das indicações e enquadrá-las no critério de aceitação e rejeição;
- Elaboração do registro dos resultados obtidos no ensaio;
- Limpeza após ensaio, para a retirada do revelador e penetrante da superfície e do penetrante do interior das descontinuidades;
- Proteção da superfície, embalagem e identificação.

Figura 02 – Esquema das etapas do ensaio por líquido penetrante. (a) peça com trinca superficial; (b) aplicação de líquido penetrante; (c) penetração; (d) remoção do excesso de líquido; (e) aplicação do revelador; (f) formação da indicação da trinca.



Fonte: Ensaios Não Destrutivos: Uma Visão Geral. Revista do Parafuso. Disponível em: <<http://www.revistadoparafuso.com.br/v1/modelo/noticia.php?id=67>>. Acesso em: setembro de 2019 [4].

### 3.5 Ensaio Por Partícula Magnética

#### 3.5.1 Introdução

O método de ensaio por Partículas Magnéticas (PM), também chamado de Magnetic Particles Inspection (MPI) ou Magnetic Particle Testing (MPT/MT), é utilizado para a detecção de descontinuidades superficiais e subsuperficiais em materiais ferromagnéticos. É um método relativamente fácil de ser aplicado. [8]

Ele é baseado no princípio de que as linhas de campo magnético em um material ferromagnético são distorcidas por uma interrupção na continuidade do material, que pode ser provocada por variações dimensionais abruptas, presença de descontinuidades estruturais (como trincas e porosidades) ou presença de qualquer material (inclusões) com propriedades magnéticas diferentes do metal base. Se estas descontinuidades são abertas à superfície ou subsuperficial, as linhas de fluxo distorcidas nesta região darão origem aos chamados campos de fuga, promovendo o aparecimento de polos

magnéticos, capazes de atrair partículas magnetizáveis para esta região, revelando-as. [8]

Uma característica interessante que pode-se observar é que o campo de fuga somente ocorre quando existe uma diferença na continuidade das características magnéticas do material base inspecionado. Assim, todas as descontinuidades a serem detectadas, tais como, trinca, escórias, falta de fusão, porosidade, inclusões, etc., devem possuir características magnética bem diferente do metal base, o que atribui ao ensaio grande sensibilidade de detecção. Para que ocorra um campo de fuga adequado na região das descontinuidades, a intensidade de campo deve atingir valores adequados e as linhas de força devem ser o mais perpendicular possível ao plano da descontinuidade, ou então não será possível o acúmulo das partículas de forma nítida. [9]

Outra característica também é a não existência de um tamanho mínimo da descontinuidade para que ocorra o campo de fuga, o que faz com que, para materiais ferromagnéticos, o método de ensaio por partículas magnéticas seja o mais eficiente dos métodos superficiais, até mesmo mais que o ensaio por líquidos penetrantes. [9]

### *3.5.2 Vantagens*

É capaz de detectar descontinuidades superficiais e subsuperficiais. Sua realização é relativamente simples e rápida.

A preparação das peças para o ensaio é simples, não havendo necessidade das possíveis descontinuidades estarem necessariamente abertas à superfície, como no ensaio com líquidos penetrantes.

O tamanho e a forma da peça inspecionada tem pouca ou nenhuma influência no resultado.

### *3.5.3 Limitações*

A técnica por partícula magnética é aplicável apenas aos materiais ferromagnéticos, principalmente o aço estrutural ao carbono de baixa e média liga, ferros fundidos, ligas a base de cobalto e aços inoxidáveis ferríticos.

A forma e a orientação das descontinuidades em relação ao campo magnético interferem fortemente no resultado do ensaio, sendo necessário, em muitos casos, a realização de mais de um ensaio na mesma peça.

Muitas vezes faz-se necessário a desmagnetização da peça após a inspeção.

Em geral são utilizadas correntes elétricas elevadas, que pode causar o aquecimento indesejado das partes examinadas.

#### 3.5.4 Aplicações

O ensaio com partículas magnéticas só é aplicável a materiais ferromagnéticos. No que se refere aos processos de fabricação, o ensaio pode ser aplicado a peças usinadas, fundidas, forjadas, soldadas e outras, tratadas ou não termicamente, intercalado ou após o processamento. [9]

Quanto às discontinuidades, o método é sensível a discontinuidades superficiais e subsuperficiais, não necessariamente abertas à superfície. A natureza destas discontinuidades deve ser tal que produza variações locais das propriedades magnéticas do material ensaiado, capazes de gerar campos de fuga. Trinca, porosidade, falta de fusão ou penetração, rechupes, inclusões metálicas e não metálicas, regiões com diferentes fases causadas por tratamentos termoquímico-mecânicos (têmpera, cementação etc.) ou ainda por variações bruscas de composição química, como na soldagem de materiais dissimilares ou brasagem, são exemplo de discontinuidades detectáveis durante o ensaio. [9]

Esse ensaio tem sido utilizado no setor metal mecânico em geral, como caldeirarias, tubulações, industriais naval, ferroviária, automobilística, de máquinas e equipamentos agrícolas, estruturas etc.

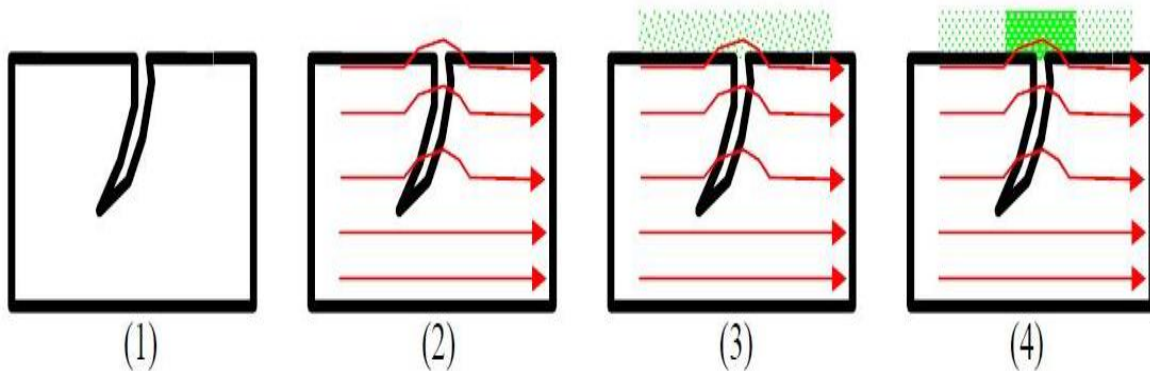
#### 3.5.5 Etapas do Ensaio

Segue descrito abaixo e representado na figura 03 o esquema das etapas do ensaio de partícula magnética:

- Estudar os documentos aplicáveis;
- Efetuar uma pré-limpeza;
- Estabelecer na peça um campo magnético adequado;
- Aplicar as partículas magnéticas na superfície da peça;
- Examinar e analisar os acúmulos de partículas na superfície da peça;

- Desmagnetizar, limpar, proteger e identificar a peça;
- Elaborar um relatório com os resultados obtidos.

Figura 03 – Esquema das etapas de realização do ensaio com partículas magnéticas. 1 – Preparação inicial da peça (limpeza); 2 - Indução do campo magnético; 3 - Aplicação das partículas magnéticas; 4 - Exame da superfície para identificação das possíveis indicações.



Fonte: Capítulo 4: O Ensaio com Partículas Magnéticas. UFMG. Disponível em: <ftp://ftp.demec.ufmg.br/ema867end/>. Acesso em: outubro de 2019 [9].

## 3.6 Ensaio por Ultrassom

### 3.6.1 Introdução

O método de ensaio por Ultrassom (US) consiste na introdução de um feixe sonoro de alta frequência no material ou componente de interesse, com objetivo de se detectar, localizar e dimensionar descontinuidades internas ou superficiais porventura existentes no mesmo. A informação obtida é utilizada para a verificação da conformidade do componente com as especificações de fabricação ou, no caso de componentes de operação, para fornecer subsídios para avaliações utilizando técnicas de mecânica da fratura. Durante o seu percurso, o feixe sonoro pode sofrer reflexões em interfaces existentes no material. Descontinuidades como poros, trincas, inclusões diversas, dupla laminação, falta de fusão, falta de penetração atuam como interfaces, o mesmo ocorrendo com as paredes ou com a superfície do material. [12]

### 3.6.2 Vantagens

A técnica por ultrassom possui elevado poder de penetração que permite a detecção de descontinuidades existentes no interior das peças, numa vasta gama de



espessuras e materiais, assim como possui sensibilidade elevada na detecção de descontinuidades muito pequenas, o que acarreta em precisão na determinação da localização, dimensão e forma das descontinuidades. Além disso, não exige mais do que uma superfície acessível, embora seja recomendável a sondagem, a partir de diversas superfícies. É aplicável em inspeções de manutenção, pois o equipamento, normalmente, é portátil. [12]

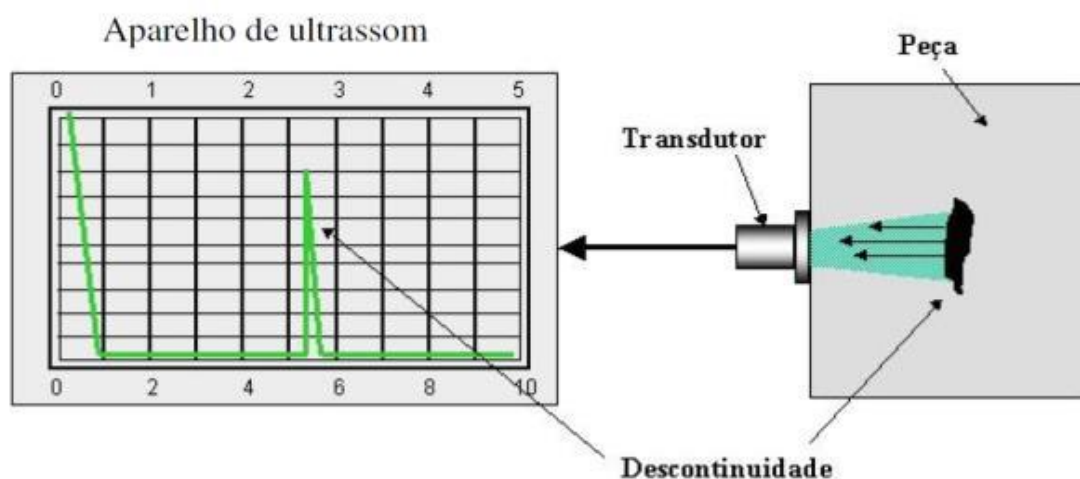
### 3.6.3 Limitações

Para a realização deste ensaio exigem-se operadores muito experientes e a utilização de acoplantes. Além de difícil aplicação a peças de geometria complexa e/ou de espessuras muito pequenas. Também há uma dificuldade de aplicação em materiais de grande atenuação acústica, que é a capacidade que os materiais têm de atenuar as ondas sonoras e ultrassônicas.

### 3.6.4 Aplicações

O ensaio de ultrassom, conforme representado na Figura 04, pode ser utilizado em produtos forjados, fundidos, laminados, juntas soldadas, etc.. Através deste método é possível determinar a presença de perdas de espessura devidas a processos de corrosão e/ou erosão em componentes estruturais, estimar o tamanho de grão em materiais metálicos, e avaliar o nível de tensões residuais em componentes estruturais. [12]

Figura 04 - Princípio básico da inspeção de materiais por ultrassom.



### 3.6.5 Etapas do Ensaio

- Seleção dos equipamentos e acessórios adequados para a execução do ensaio;
- Calibração do instrumento e acessórios utilizando blocos padrão ou a própria peça a ser inspecionada;
- Verificar se a preparação e limpeza da superfície são adequadas;
- Verificar se a condição de iluminação na superfície a ser ensaiada é satisfatória;
- Executar a avaliação da área inspecionada de acordo com a técnica definida, identificar e registrar as descontinuidades identificadas.

## 3.7 Ensaio por Radiografia

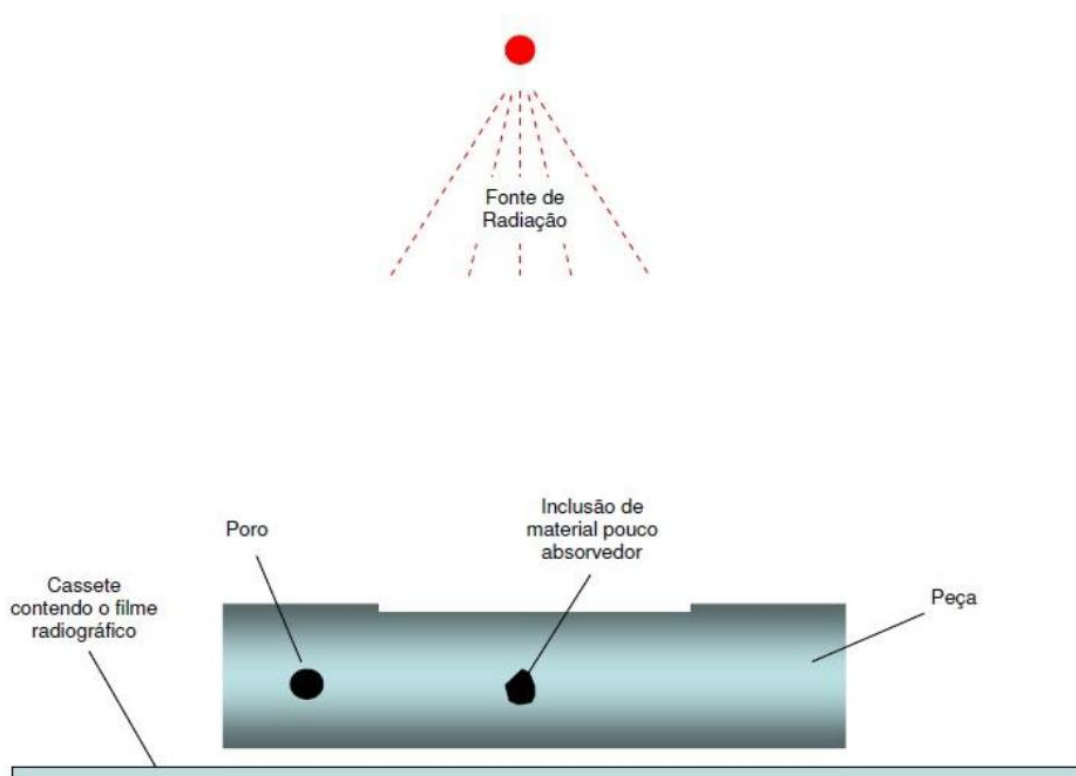
### 3.7.1 Introdução

O método de ensaio por Radiografia (RX) baseia-se na absorção diferenciada da radiação pela matéria. Consiste basicamente, em fazer passar um feixe de radiação X, radiação gama ou nêutrons através do objeto em estudo e registrar as características da radiação emergente do objeto utilizando um meio adequado, como um filme radiográfico, uma tela fluorescente ou dispositivos eletrônicos de detecção de imagem radiográfica. [10]

Dependendo das características do objeto em exame, como a sua geometria e o tipo de descontinuidades apresentadas pelo mesmo, o feixe de radiação sofrerá uma maior ou menor absorção, sensibilizando em menor ou maior grau o meio utilizado para o registro da imagem radiográfica. [10]

O arranjo básico utilizado para a realização do ensaio radiográfico pode ser observado na Figura 05, referente à radiografia de uma peça com diferentes espessuras e com dois tipos de descontinuidades comuns de serem encontradas em uma inspeção radiográfica.

Figura 05 – Arranjo básico utilizado para a realização do ensaio radiográfico.



Fonte: JUNIOR, Silvério Ferreira da Silva; MARQUES, Paulo Villani. Ensaios Não Destrutivos. Belo Horizonte, 2006.

A porção do feixe de radiação que atravessa as regiões da peça com maior espessura sofre uma maior absorção, o contrário ocorrendo com as regiões com menor espessura. Na imagem radiográfica, portanto, as regiões mais espessas da peça apresentarão uma tonalidade mais clara do que as regiões menos espessas. A porção do feixe de radiação que atravessa a região onde se localiza o poro também sofrerá uma menor absorção. Conseqüentemente a imagem radiográfica resultante apresentará uma tonalidade escura. O mesmo ocorre com a inclusão de um material pouco absorvedor, como por exemplo, uma escória. Caso o coeficiente de absorção da inclusão seja maior que do material base, a região da imagem radiográfica correspondente à posição da inclusão apresentará uma tonalidade tanto mais clara quanto maior for à absorção da radiação. Na figura 05 é apresentada a imagem radiográfica obtida durante a inspeção da peça da figura 06, e nela está indicando o aspecto das regiões de maior e menor espessura, bem como o aspecto radiográfico do poro e da inclusão. [10]

Figura 06 – Imagem radiográfica da peça apresentada na Figura 05.



Fonte: JUNIOR, Silvério Ferreira da Silva; MARQUES, Paulo Villani. Ensaios Não Destrutivos. Belo Horizonte, 2006 [6].

Apesar de ser baseado em princípios simples, o ensaio radiográfico deve ser realizado de acordo com metodologias que assegurem uma sensibilidade adequada para a detecção das descontinuidades de interesse, bem como o estabelecimento de uma fácil correlação entre a localização de uma determinada descontinuidade na radiografia e a sua respectiva localização na peça examinada, de forma a facilitar a realização dos reparos, quando necessários ou possíveis. [10]

O ensaio radiográfico pode ser aplicado, a princípio, a qualquer tipo de material. A única limitação é a capacidade de absorção apresentada por alguns materiais, como o chumbo e o urânio, utilizados como blindagens, que pode inviabilizar a realização deste tipo de ensaio.

### 3.7.2 Vantagens

A técnica por ensaio radiográfico pode ser aplicado em todo tipo de material (exceto chumbo e urânio), assim como permite uma imagem em registro permanente. Além disso, é possível inspecionar o interior dos materiais e assim revelar os erros da fabricação, o que pode evidenciar descontinuidades estruturais.

### 3.7.3 Limitações

Este ensaio é de difícil aplicação em objetos de geometria complexa, pois necessita de acesso às duas faces do objeto. Além disso, é difícil ou impossível de detectar defeitos lamelares paralelos ao filme. É um método relativamente caro no qual é necessário utilizar procedimentos de segurança. [11]

Como as radiações não podem ser detectadas por qualquer um dos nossos cinco sentidos, exigem-se rigorosas medidas de segurança. As radiações podem causar danos ou mesmo destruição das células do corpo humano. [11]

É essencial que os técnicos de radiografia tenham sempre em atenção o perigo da radiação e o conhecimento das regras de segurança. Terão de ser usados detectores de radiações.

Não pode ser utilizado no exame de materiais como o chumbo e urânio.

#### *3.7.4 Aplicações*

O ensaio radiográfico pode ser utilizado em produtos forjados, fundidos e juntas soldadas, para detectar variação de uma região de um determinado material que apresenta uma diferença em espessura ou densidade comparada com uma região vizinha, em outras palavras, a radiografia é um método capaz de detectar com boa sensibilidade defeitos volumétricos. Isto quer dizer que a capacidade do processo de detectar defeitos com pequenas espessuras em planos perpendiculares ao feixe, como trinca dependerá da técnica de ensaio realizado. Defeitos volumétricos como vazios, poros, e inclusões de escória, falta de penetração, trincas e falta de fusão que apresentam uma espessura variável em todas as direções, serão facilmente detectadas desde que não sejam muito pequenos em relação à espessura da peça.

#### *3.7.5 Etapas do Ensaio*

- Seleção dos equipamentos e acessórios adequados para a execução do ensaio;
- Calibração do instrumento e acessórios utilizando blocos padrão ou a própria peça a ser inspecionada;
- Verificar se a preparação e limpeza da superfície são adequadas;
- Verificar se a condição de iluminação na superfície a ser ensaiada é satisfatória;
- Montagem do filme radiográfico no equipamento ou componentes a ser inspecionado;

- Exposição do filme e conseqüentemente do equipamento ou componente a radiação controlada;
- Executar a avaliação da área inspecionada de acordo com a técnica definida, identificar e registrar as descontinuidades identificadas.

### **3.8 Ensaio por Emissão Acústica**

#### *3.8.1 Introdução*

O método de ensaio por Emissão Acústica (EA) é baseado na detecção de ondas acústicas emitidas por um material em função de uma força ou deformação aplicada nele. Caso este material tenha uma trinca, descontinuidade ou defeito, a sua propagação irá provocar ondas acústicas detectadas pelo sistema. O princípio físico da Emissão acústica técnica de inspeção é que o crescimento de uma descontinuidade provocado por um campo de tensão irá emitir um sinal sonoro. Este sinal é similar àquele introduzido pela inspeção ultrassônica. O sinal emitido viaja pela estrutura e é capturado por transdutores posicionados na superfície do equipamento inspecionado. A emissão acústica é capaz de detectar a propagação de descontinuidades internas ou que aflorem à superfície. A localização das descontinuidades pode ser estimada mediante os tempos de chegada dos sinais aos sensores. A localização precisa, assim como o tamanho e a orientação da descontinuidade, pode ser obtida com outras técnicas não destrutivas.

A emissão acústica detecta descontinuidades que liberem energia de deformação quando a estrutura é tensionada. Eventos tipicamente detectados durante a inspeção por emissão acústica incluem crescimento de trincas de fadiga, danos induzidos pela ação do hidrogênio, corrosão sob tensão, empolamentos, corrosão avançada e quebra de fibras em materiais plásticos reforçados com fibra de vidro. Pode varrer grandes áreas de inspeção, normalmente não acessíveis por outros métodos, sendo deste modo ideal para a inspeção em tempo real em estruturas e componentes mecânicos de grande porte.

### 3.8.2 Vantagens

A técnica por emissão Acústica é uma técnica de ensaios, não invasiva, de grande utilidade na detecção de defeitos ativos internos em materiais e equipamentos.

Dentre as vantagens que apresenta em relação às demais técnicas existentes podem-se destacar: facilidade de aplicação; baixo custo; possibilidade de realização dos ensaios com o equipamento em operação, eliminando a necessidade de interrupções do seu funcionamento; detecção e análise de defeitos em tempo real; relativa imunidade a ruídos eletromagnéticos; possibilidade de localização tridimensional de defeitos.

### 3.8.3 Limitações

Apesar de já consolidada em outras áreas tecnológicas, para as quais já se encontra bem estabelecida com normas, procedimentos de ensaio e critérios de avaliação, no que se refere à sua aplicação em equipamentos, a emissão acústica deve ser considerada como uma técnica ainda em desenvolvimento, cujas potencialidades ainda não foram totalmente exploradas.

### 3.8.4 Aplicação

O ensaio de emissão acústica é aplicado quando queremos analisar ou estudar o comportamento dinâmico de defeitos em peças ou em estruturas metálicas complexas, assim como registrar sua localização. O ensaio por emissão acústica permite a localização da falha, captado por sensores instalados na estrutura ou no equipamento a ser monitorados.

Os resultados do ensaio por emissão acústica não são convencionais. Na realidade este método não deve ser utilizado para determinar o tipo ou tamanho das discontinuidades em uma estrutura, mas sim, para se registrar a evolução das discontinuidades durante a aplicação de tensões para as quais a estrutura estará sujeita, desde que as cargas sejam suficientes para gerar deformações localizadas, crescimento do defeito, destacamento de escória, fricção, ou outros fenômenos físicos.

### 3.8.5 Etapas do Ensaio

- Seleção dos equipamentos e acessórios adequados para a execução do ensaio;

- Verificar se a preparação e limpeza da superfície são adequadas;
- Verificar se a condição de iluminamento na superfície a ser ensaiada é satisfatória;
- Montagem dos sensores na área do equipamento ou componente a ser monitorada;
- Calibração do instrumento e acessórios utilizando blocos padrão ou a própria peça a ser inspecionada;
- Coleta dos dados e sinais provenientes do monitoramento do equipamento ou componentes em operação;
- Executar a avaliação dos sinais obtidos através dos sensores e sistema computadorizados específico utilizado.

### **3.9 Ensaio por Correntes Parasitas**

#### *3.9.1 Introdução*

O método de ensaio por Correntes Parasitas (CP) baseia-se na Lei de Indução de Faraday, onde o campo magnético, gerado por uma bobina quando alimentada por uma corrente elétrica alternada, induz, na peça a ser ensaiada, correntes elétricas, também denominadas correntes parasitas. Estas correntes elétricas, por sua vez, afetam a impedância da bobina que as gerou. Assim, quaisquer variações no fluxo das correntes parasitas geradas na peça ensaiada implicarão em variações da impedância da bobina. Este fato leva a uma das maiores aplicações deste método de ensaio que é o de detectar a presença de possíveis descontinuidades existentes em tubos não magnéticos.

#### *3.9.2 Vantagens*

O que caracteriza uma das principais vantagens da inspeção por correntes parasitas, pois as sondas podem ser projetadas para uma grande gama de aplicações de acordo com o seu formato.



### 3.9.3 Limitações

Quando um defeito está presente em uma profundidade tal que as correntes parasitas não alcançam, não é possível detectá-lo.

### 3.9.4 Aplicação

O ensaio por corrente parasita é possui uma grande variedade de aplicações como detecção de trincas, medidas de espessuras de peças finas, determinação da espessura de recobrimentos e medir condutividade elétrica e permeabilidade magnética.

[15]

### 3.9.5 Etapas do Ensaio

- Seleção dos equipamentos e acessórios adequados para a execução do ensaio;
- Calibração do instrumento e acessórios utilizando blocos padrão ou a própria peça a ser inspecionada;
- Verificar se a preparação e limpeza da superfície são adequadas;
- Verificar se a condição de iluminação na superfície a ser ensaiada é satisfatória;
- Executar a avaliação da área inspecionada de acordo com a técnica definida, identificar e registrar as descontinuidades identificadas.

## 4. ESTUDO DE CASO

No presente estudo, foram inspecionadas trinta e uma amostras de juntas soldadas. Estas amostras foram constituídas do material aço carbono (ASTM A53 GRAU B ASME B36.10 – Diâmetro 3” – SCH 40) de espessura relativamente pequena e unidas pelo processo de soldagem (*GTAW - Gas Tungsten Arc Welding*), também conhecido por (*TIG - Tungsten Inert Gas*).

Figura 07 – Representação de amostras utilizadas nos ensaios – Escala: 50:1.



Fonte: Própria do autor.

As trinta e uma amostras de juntas soldadas, foram submetidas a seguinte sequência de ensaios:

- Ensaio de Inspeção visual;
- Ensaio por Líquido Penetrante;
- Ensaio de Ultrassom;
- Teste de Estanqueidade da linha de tubulação que contém todas as juntas soldadas.

## 4.1 Métodos Aplicados

### 4.1.1 Execução - Ensaio por Inspeção Visual

Foi adotado o Ensaio Visual Direto, sem auxílios óticos.

O método de ensaio visual direto foi executado pela visão direta à área sob ensaio, sem auxílios óticos, exceto fonte externa de iluminação.

O ensaio foi executado a uma distância de no máximo 610,00 mm (24") entre a superfície sob ensaio e os olhos, a um ângulo não inferior á 30° com a superfície sob ensaio.

Além dos biséis as superfícies a serem ensaiadas e uma faixa adicional de 25 mm para cada lado da solda estavam isentas de escórias, respingos, aberturas de arco, graxa, óleo, tinta, etc.

As superfícies dos biséis e das juntas soldadas foram preparadas por esmerilhamento ou escovamento, conforme necessário e/ou descrito na Tabela 1.

Tabela 01 – Parâmetro de preparação de superfície.

ESTADO INICIAL DA SUPERFÍCIE		PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE	PADRÃO MÍNIMO REQUERIDO
Solda com escória, respingos e aberturas de arco.		Esmerilhamento e/ou escovamento.	Livre de escória, respingos e aberturas de arco.
Tubo ou chapa com oxidação.	INTEMPERISMO ISO 8501-1/2 Graus B, C ou D	Escovamento, raspagem e /ou esmerilhamento.	ISO 8501-1/2 B, C ou D - St3
Superfície com graxa, óleo, tinta, etc.		Limpeza química com solvente, raspagem, limpeza alcalina ou ácida, raspagem, e outros.	Limpa
Chanfro para soldagem com rugosidade excessiva ou oxidação.		Esmerilhamento e/ou escovamento.	Ao metal brilhante com rugosidade máxima conforme AWS C4.1-Grau 2

Fonte: Própria do autor.

Após a execução do escovamento das superfícies, foram empregados panos embebidos em solvente, com a finalidade de remoção de particulados e/ou óxidos que por ventura permaneçam sobre as superfícies a serem examinadas.

O verniz aplicado na proteção dos biséis foi removido antes do início do processo de soldagem.

Irregularidades resultantes do oxicorte ou do corte com eletrodos de carvão foram removidas, bem como os resíduos de carbono e escórias. O grau de rugosidade máximo identificado foi igual a 2, conforme padrão AWS C4.1 – 77.

Figura 08 – Representação de amostras utilizadas nos ensaios de líquido penetrante – Escala: 50:1.



Fonte: Própria do autor.

Foi utilizada a iluminação natural e artificial através do auxílio de lâmpadas e lanternas, com intensidade luminosa mínima na superfície em exame durante o ensaio visual de 1000 lux para um exame geral e para a detecção e avaliação de pequenas descontinuidades.

Tabela 02 – Parâmetro de iluminação.

FONTE LUMINOSA		ILUMINAMENTO (lux)	ÂNGULO DE INCIDÊNCIA	DISTÂNCIA MÁXIMA (mm)	
				Bulbo Leitoso	Bulbo não Leitoso
60W	127V	1000	90°	230	230
		1000	30°	170	160
	220V	1000	90°	280	280
		1000	30°	210	230
100W	127V	1000	90°	370	340
		1000	30°	300	260
	220V	1000	90°	450	410
		1000	30°	290	280

Fonte: Própria do autor.

Notas de parâmetros de iluminação:

- Os valores da tabela são apenas referenciais. As condições reais deverão ser periodicamente verificadas.
- As lâmpadas são do tipo incandescente.
- As medições foram feitas com a lâmpada sem proteção e sem refletor.

Este nível de intensidade luminosa foi avaliado ao início da inspeção através do uso de luxímetro.

#### 4.1.2 Execução - Ensaio por Líquido Penetrante

Foi adotado o Ensaio de Líquido penetrante visível.

O método de Líquido Penetrante utilizou cinco kits contendo os seguintes insumos:

- Penetrante - Spotcheck® SKL-WP Penetrante Lavável a Água - Magnaflux® (figura 9A);
- Revelador - Zyglo® ZP-9F Revelador Não Aquoso - Magnaflux® (figura 9B);
- Solvente - Solvelusa 101 Thinner Polibrilho - Petrolusa (figura 9C).

Figura 09 – Kit para realização do ensaio por líquido penetrante. O kit contém (A) penetrante, (B) revelador e (C) solvente.



Fonte: Própria do autor.

O ensaio adotando-se a técnica de Líquidos Penetrantes (LP) pode ser utilizado de acordo com o tipo e a técnica mostrada na tabela 03.

Tabela 03 – Tipos e técnicas para ensaios por líquido penetrante.

<b>CLASSIFICAÇÃO DOS LÍQUIDOS PENETRANTES</b>		
<b>TIPOS</b> (Quanto à Visibilidade)	<b>MÉTODOS</b> (Quanto à Remoção)	<b>NÍVEIS</b> (Quanto à Sensibilidade)
Tipo 1 – Penetrantes Fluorescentes	Método A – Removível com Água	Nível 1/2 – Ultra-Baixa Sensibilidade
	Método B – Removível após Emulsificação (Hidrofílico)	Nível 1 – Baixa Sensibilidade Nível 2 – Média Sensibilidade
Tipo 2 – Penetrantes Visíveis	Método C – Removível com Solvente	Nível 3 – Alta Sensibilidade
	Método D – Removível após Emulsificação (Lipofílico)	Nível 4 – Ultra-Alta Sensibilidade

Fonte: Própria do autor.

Foi adotado o procedimento PR-001, fornecido pela ABENDE, que estabelece as condições necessárias para a execução do ensaio não destrutivo por meio de Líquido Penetrante para detecção de descontinuidades superficiais, a ser utilizado no Sistema Nacional de Qualificação e Certificação de Pessoal em END - SNQC/END. Este procedimento tem como referência a norma ASME Seção V, edição 2004.

Para este procedimento foi utilizados o ensaio com penetrante colorido (Tipo 2) e a técnica A (lavável a água).

Extensão da inspeção: a inspeção cobriu 100% da solda, mais 25 mm adjacentes para cada lado da solda.

Condições do ensaio: o ensaio pode ser realizado com luz visível ou luz negra. Neste procedimento foi realizado ensaio com luz visível.

Preparação da Superfície: as superfícies ensaiadas e mais 25 mm adjacente, estavam livres de graxa, óleo, óxidos, respingos, escórias, etc. Foi efetuada limpeza com solvente.

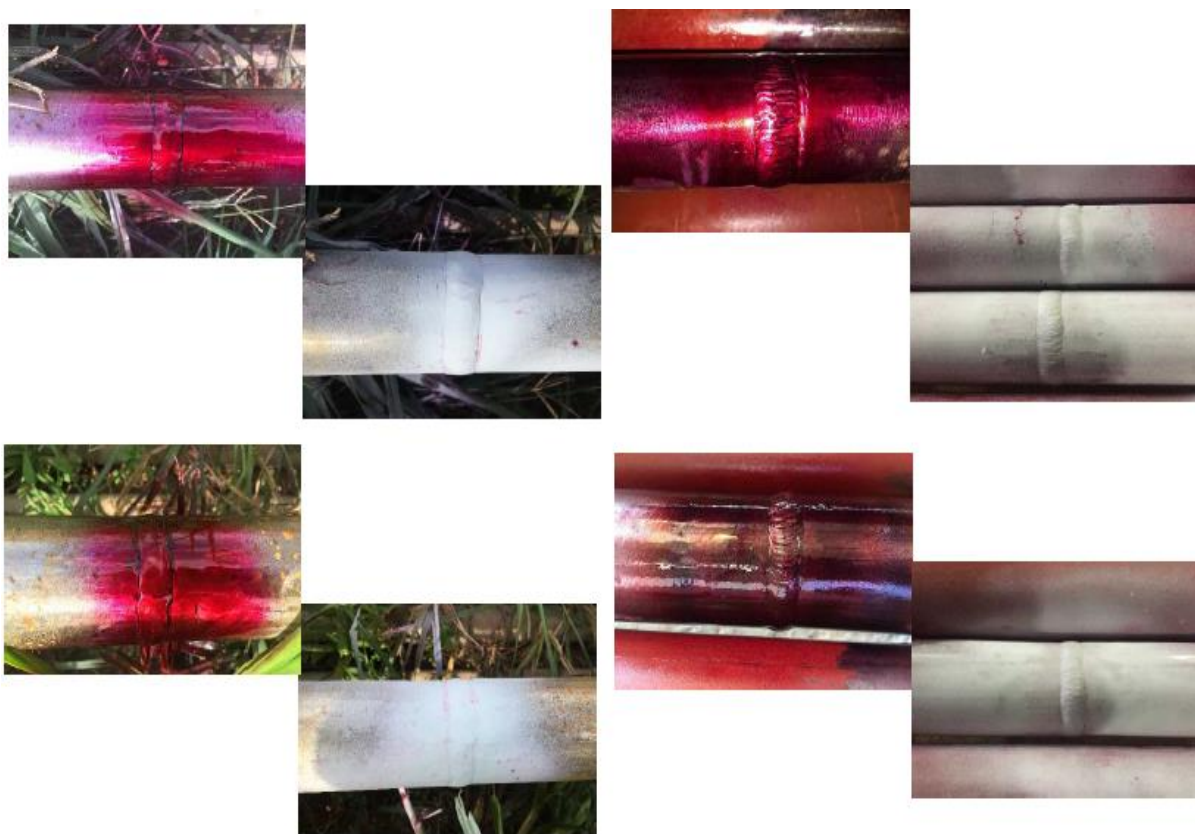
Após a limpeza a secagem foi feita por evaporação normal e o tempo mínimo de secagem foi superior a 5 minutos.

Faixa de temperatura para o ensaio: tanto a superfície como os materiais penetrantes estavam na faixa de 10 °C a 52 °C durante todo o ensaio.

Modo de aplicação do líquido penetrante e tempo de penetração: a aplicação do líquido penetrante foi feita por meio de aerosol. O tempo de penetração foi de 20 minutos, obedecendo ao tempo mínimo de 10 minutos e não ultrapassando o tempo máximo de 60 minutos.

Figura 10 – Amostras após a aplicação de líquido penetrante e revelador por meio de aerosol – Escala:

50:1



Fonte: Própria do autor.

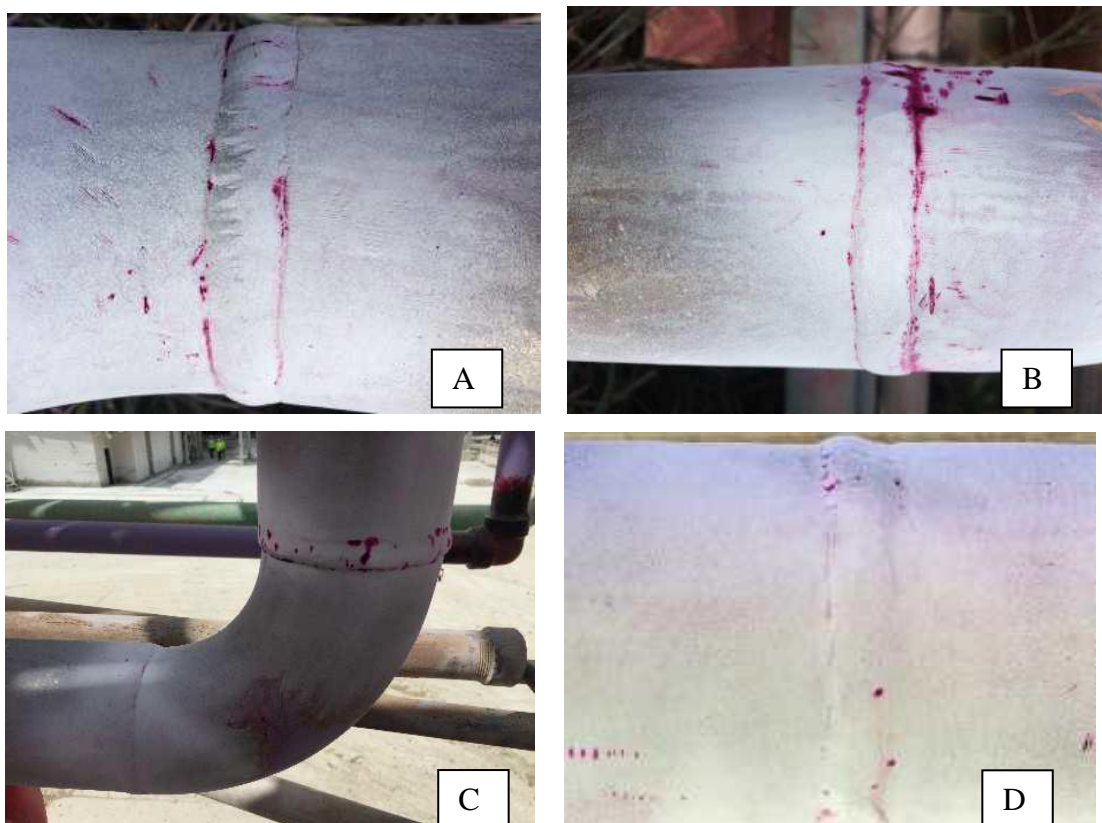
*Modo de remoção do excesso de líquido penetrante:* para penetrante removível com água, o excesso de penetrante foi removido com aplicação de água corrente sobre a superfície em ensaio.

*Modo e tempo de secagem, antes da aplicação do revelador:* a secagem foi feita através da evaporação natural com um tempo mínimo de 5 minutos.

*Modo e tempo máximo para a aplicação do revelador:* o revelador foi aplicado por aerosol imediatamente após a secagem da superfície.

*Tempo para interpretação:* a interpretação inicial foi feita imediatamente após a aplicação do revelador úmido. A interpretação final do ensaio foi efetuada 20 minutos após a aplicação do revelador.

Figura 11 – Amostras contendo indicações de discontinuidades – Mordedura (A e B) e Porosidade (C e D) – Escala: 50:1.



Fonte: Própria do autor.

Notas: Relação de defeitos:

- Trincas na margem do cordão da solda.
- Mordedura.
- Porosidade agrupada e mordedura.
- Porosidade.

#### 4.1.3 Execução - Ensaio por Ultrassom

Foi adotado o Ensaio de Ultrassom baseado na técnica de pulso eco, contato direto, por ondas longitudinais para os cabeçotes normais e duplo cristal e ondas transversais para cabeçotes angulares.

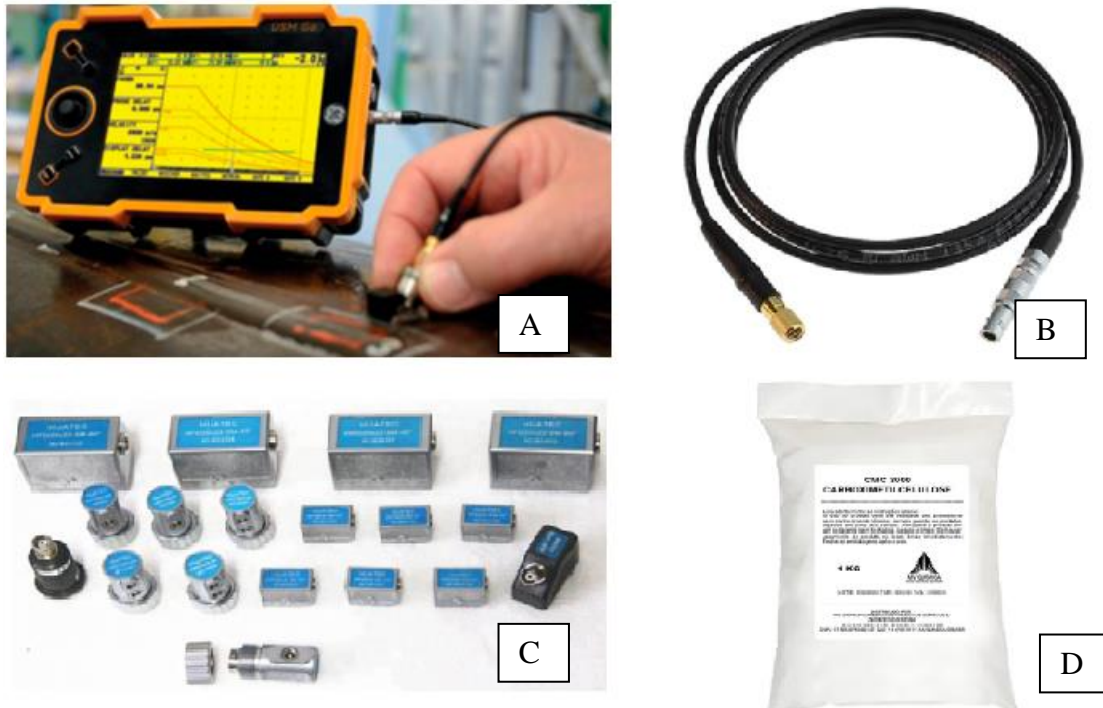
O método de Ultrassom utilizou os seguintes aparelhos e insumos:

- Aparelho de Ultrassom USM Go + (figura 12A);
- Cabos coaxiais (figura 12B);



- Cabeçotes (figura 12C);
- Acoplante – Carboxi Metil Celulose (figura 12D).

Figura 12 – Aparelhos e insumos utilizados durante o ensaio de ultrassom. Aparelho de Ultrassom USM Go + (figura 12A); Cabos coaxiais (figura 12B); Cabeçotes (figura 12C); Acoplante – Carboxi Metil Celulose (figura 12D).



Fonte: Própria do autor.

Foi adotado o procedimento PR-011, fornecido pela ABENDE, que estabelece as condições necessárias para a detecção e avaliação de descontinuidades em juntas soldadas. Este procedimento tem como referência a norma ASME Seção V, edição 2002. Para este procedimento foi utilizado à técnica de varredura.

A região do metal de base a ser percorrida pelas ondas do cabeçote angular deve ser primeiramente inspecionada com cabeçote normal/duplo cristal para se pesquisar a existência de descontinuidades paralelas à superfície que caso existam, devem ser registradas e consideradas na realização do ensaio com cabeçotes angulares.

Para a varredura das soldas, devem ser empregados no mínimo 2 cabeçotes angulares de ângulos diferentes sendo que um deles deve incidir o mais perpendicular possível à face do bisel.

No ensaio das juntas de ângulo foi utilizado pela superfície 3 os cabeçotes duplo-cristal ou normal, e um cabeçote angular de 45°.

Para juntas tubulares a varredura foi feita utilizando-se os três ângulos, 45, 60 e 70°.

Na conexão foram empregados na varredura pela superfície 2 e 3 os cabeçotes de 45, 60 e 70°. Pela superfície 1B foi utilizado o cabeçote normal ou duplo-cristal.

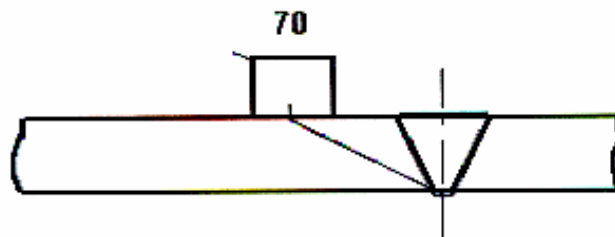
A varredura para detectar descontinuidades transversais (figura 23) deve ser realizada sempre que possível.

A varredura foi executada com uma sobreposição mínima de 15% e a velocidade de inspeção não superior a 150 mm por segundo.

A área e a técnica de varredura foi realizada de acordo com as Figuras 15 a 24).

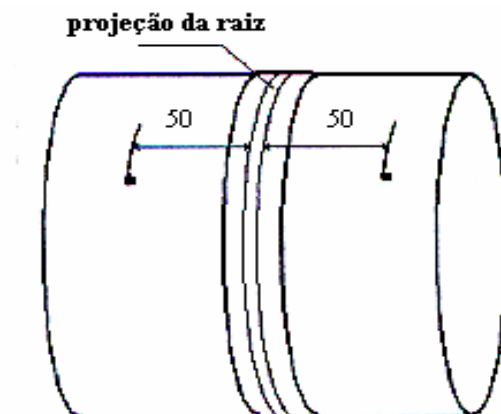
Em juntas circunferenciais de tubos com diâmetro  $\leq 6"$  a raiz foi examinada com cabeçote de 70 graus posicionado de tal maneira que o feixe sônico atinja a raiz na linha de centro da solda, (ver figura 13). O cabeçote foi movimentado paralelamente ao eixo do cordão de solda em ambos os lados da mesma. Para facilitar o posicionamento do cabeçote, foram produzidas marcações permanentes a 50 mm de distância da face da raiz (ver figura 14).

Figura 13 – Varredura da Raiz.



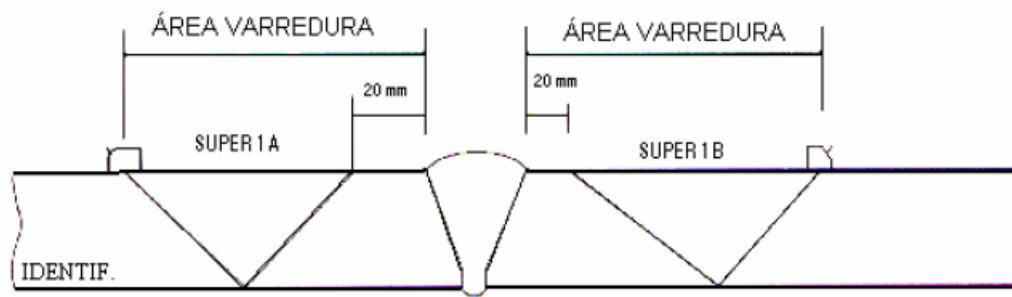
Fonte: PR 011- Abendi.

Figura 14 – Marcas referenciais para o posicionamento do cabeçote



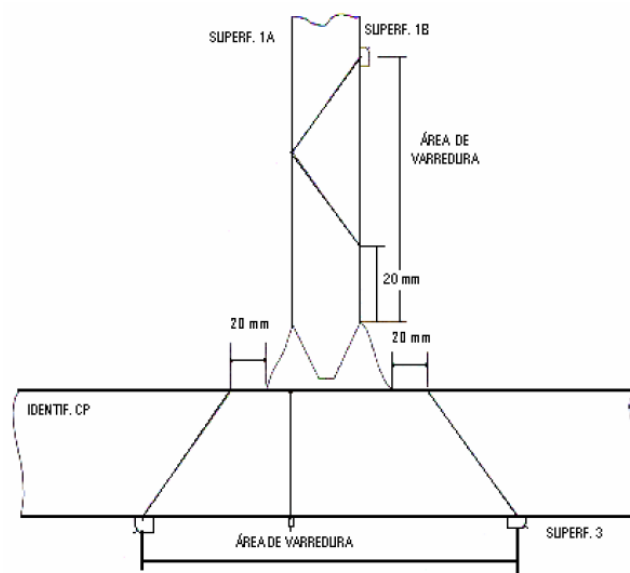
Fonte: PR 011- Abendi.

Figura 15 – Junta de Topo.



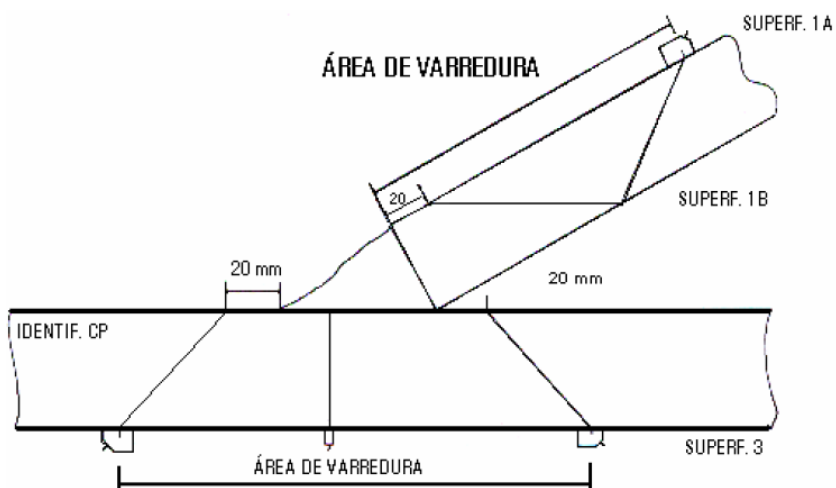
Fonte: PR 011- Abendi.

Figura 16 – Junta de Ângulo em T.



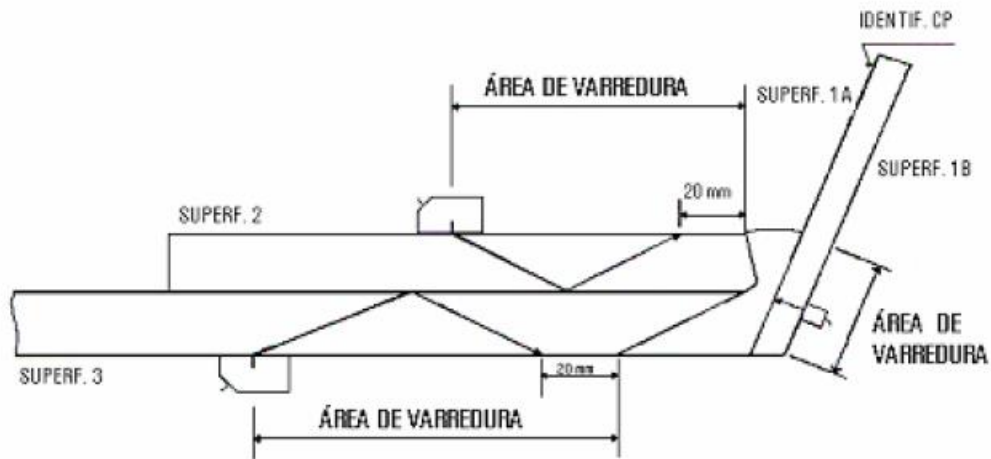
Fonte: PR 011- Abendi.

Figura 17 – Junta de Ângulo com solda em Ângulo.



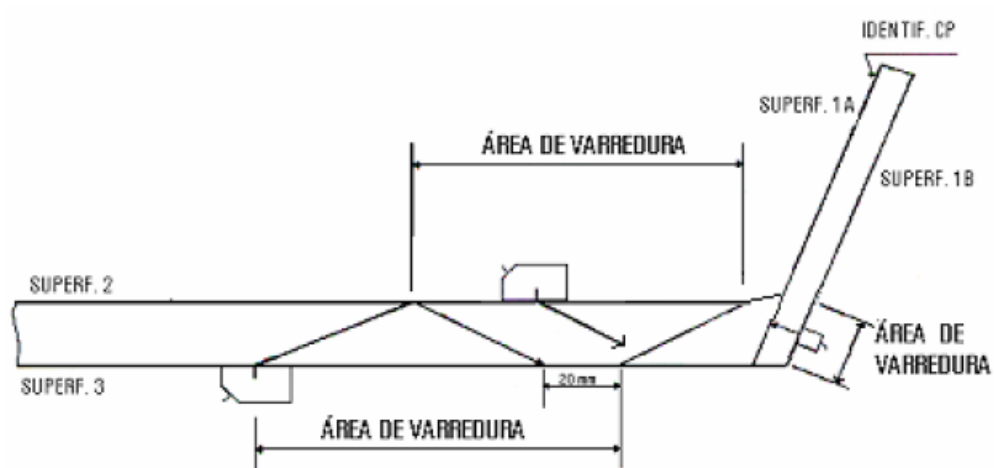
Fonte: PR 011- Abendi.

Figura 18 – Conexão com chanfro de geometria variável 1.



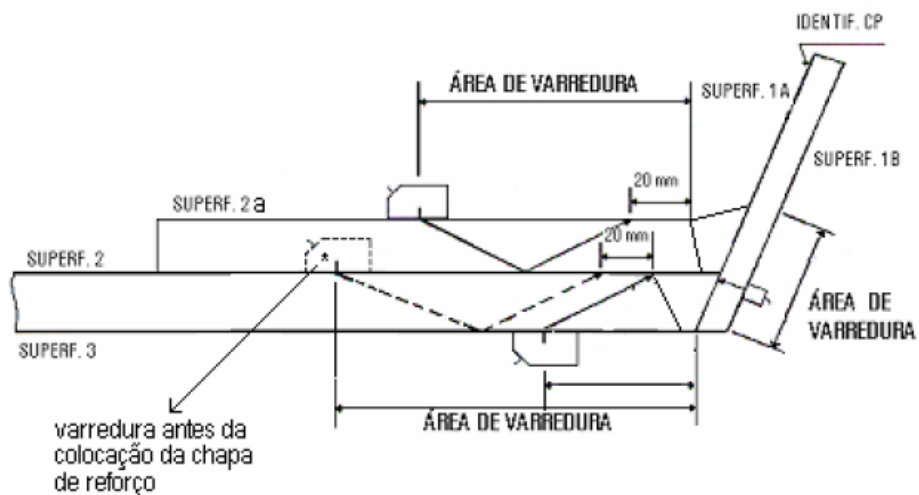
Fonte: PR 011- Abendi.

Figura 19 – Conexão com chanfro de geometria variável 2.



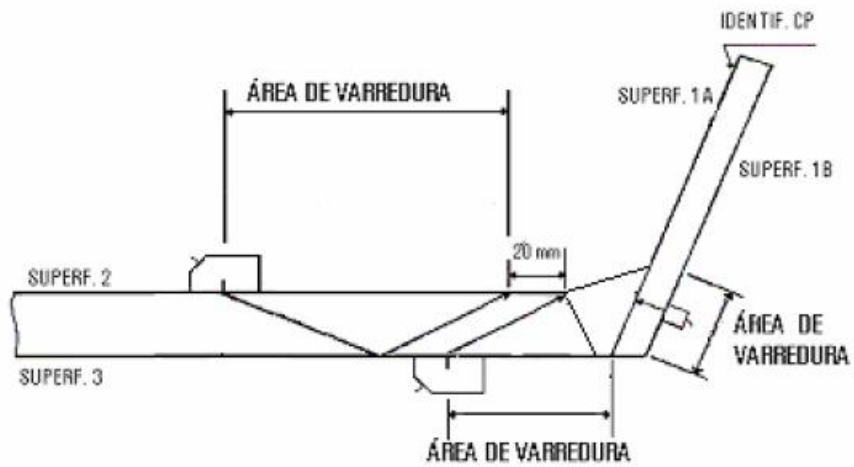
Fonte: PR 011- Abendi.

Figura 20 – Conexão com chanfro de geometria variável 3.



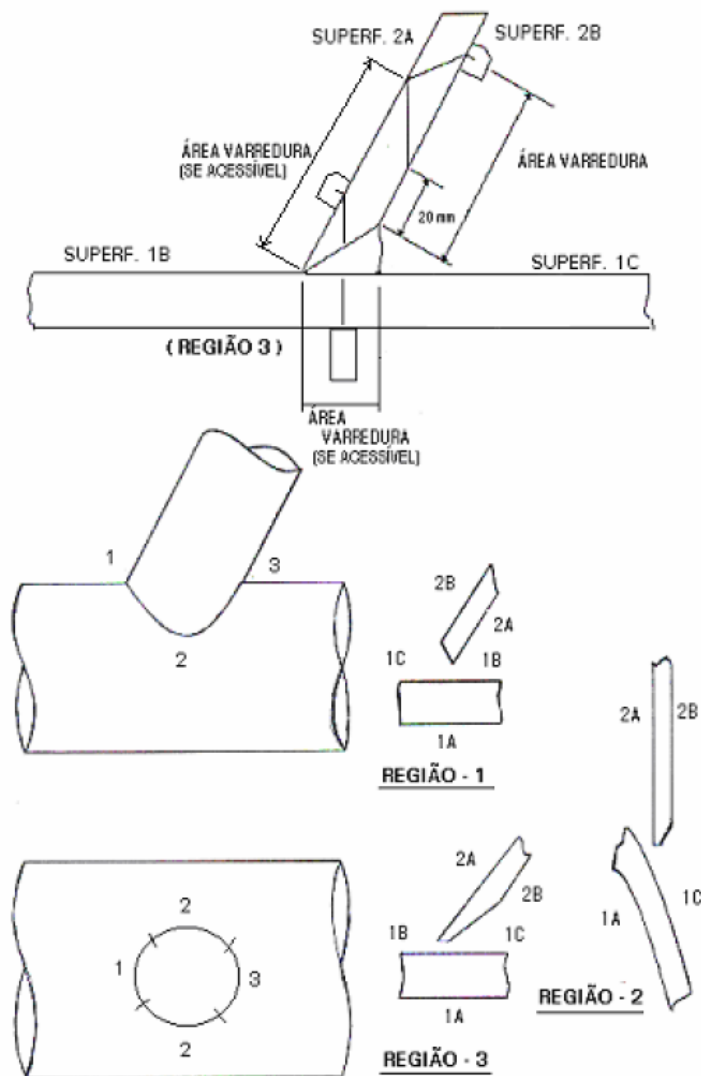
Fonte: PR 011- Abendi.

Figura 21 – Conexão com chanfro de geometria variável 4.



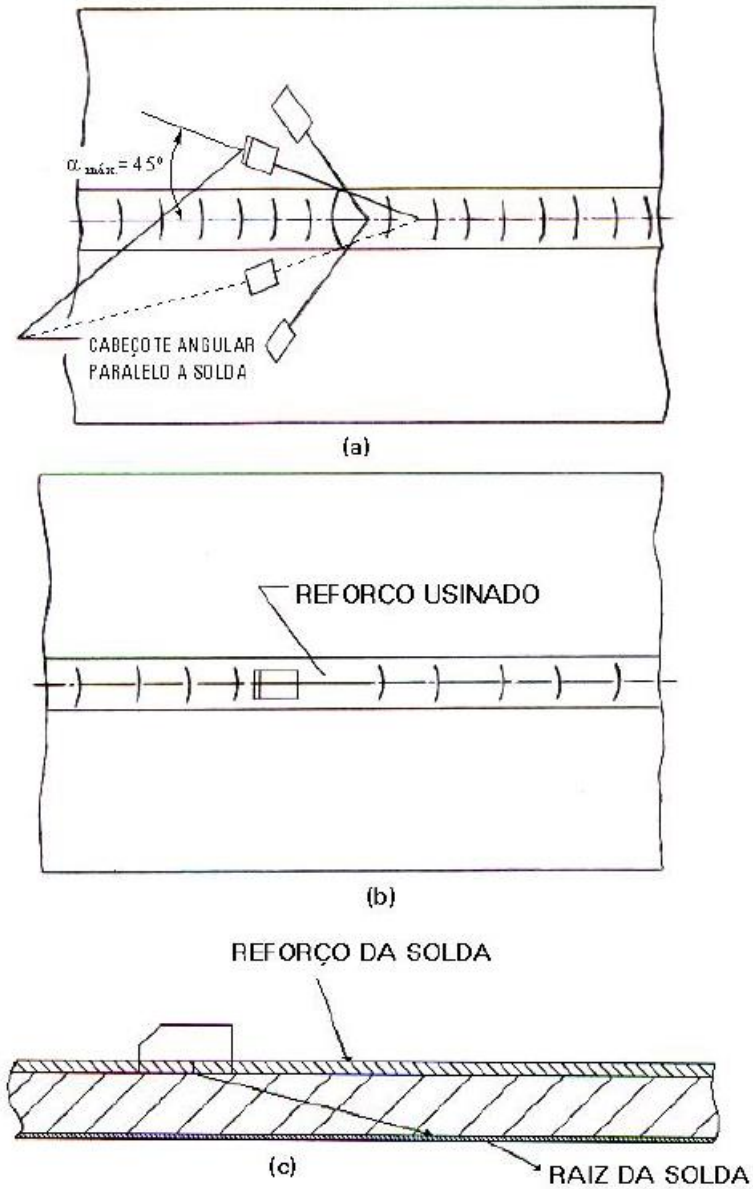
PR 011- Abendi.

Figura 22 – Junta tubular.



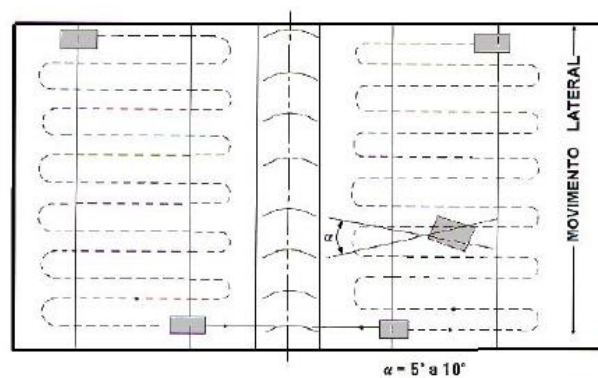
PR 011- Abendi.

Figura 23 – Varredura para detecção de descontinuidades transversais (a) solda com reforço, (b) solda com reforço usinado e (c) seção transversal mostrando a incidência do feixe.



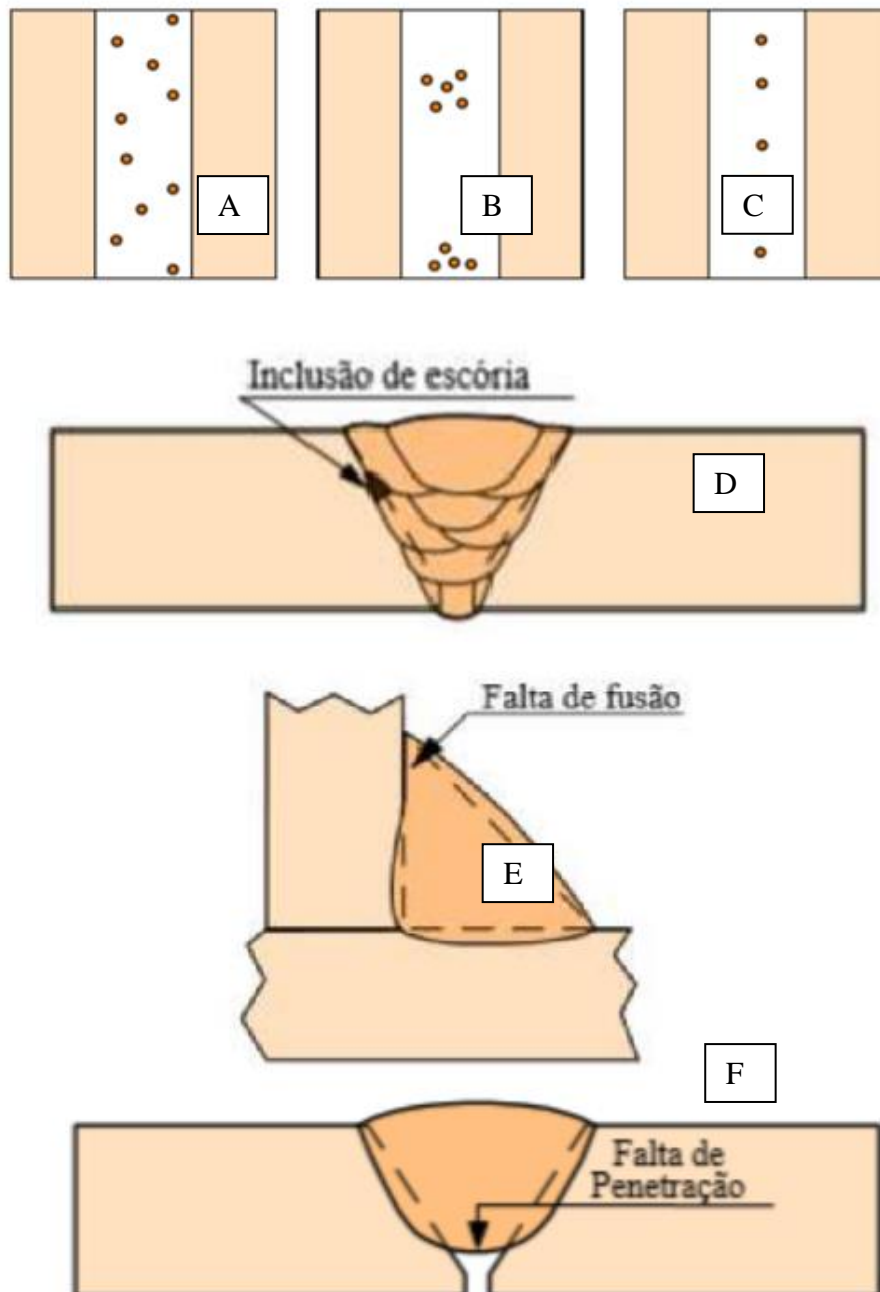
PR 011- Abendi.

Figura 24 – Varredura para detecção de descontinuidades longitudinais e movimentação do cabeçote.



PR 011- Abendi.

Figura 25 – Exemplo de indicações de descontinuidades – Porosidade distribuída (A), agrupada (B), alinhada (C) – Inclusão de escória (D), Falta de fusão (E), Falta de penetração (F).



Fonte: Modenesi, 2001

Notas: Relação de defeitos:

- Porosidade.
- Inclusão de escória.
- Falta de fusão.
- Falta de penetração.

#### 4.1.4 Execução - Ensaio Estanqueidade

Foi adotado o Ensaio de estanqueidade, aplicando-se pressão de 50% do valor da pressão de teste, durante 15 minutos. Em seguida, aplicou-se um aumento de pressão até a pressão de teste ( $23,40\text{kgf/cm}^2$ ), conservando este patamar durante o intervalo de tempo de 30 minutos, conforme representado na Figuras 26.

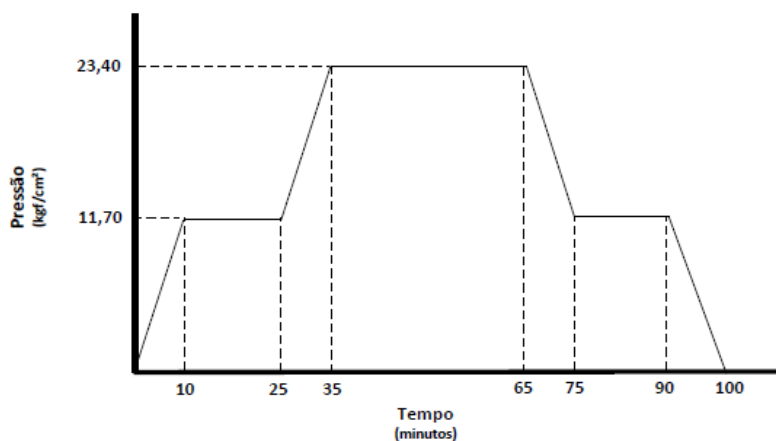
Observada no gráfico representado na Figura 27 a estabilidade da pressão aplicada durante o tempo declarado, a pressão foi diminuída em 50%, sendo a tubulação avaliada visualmente durante o intervalo de tempo de 15 minutos. Após a inspeção, a tubulação teve toda a pressão interna extinguida e o teste foi finalizado. A tubulação apresentou resistência mecânica e estanqueidade satisfatória durante todo o tempo de teste.

Figura 26 – Indicador de pressão com pressão de teste equalizada.



Fonte: Própria do autor.

Figura 27 – Gráfico de realização do teste – Pressão x Tempo.



Fonte: Própria do autor.



Segue representado na Figura 28 a configuração do sistema de pressurização da linha de transferência de amônia anidra a qual estão inseridas as juntas soldadas inspecionadas.

Figura 28 – Configuração do sistema de pressurização.



Fonte: Própria do autor.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A avaliação dos métodos de ensaio não destrutivos mais apropriados para serem utilizados na identificação de descontinuidades nas amostras está relacionada ao material de fabricação da mesma, dimensões e condição de aplicação.

Estes dois fatores, material de fabricação e espessura, impossibilitam a realização dos ensaios não destrutivos por partículas magnéticas, respectivamente. Outro ensaio não destrutivo que não foi realizado devido ao custo elevado do equipamento e ao fator de risco à segurança foi o ensaio por radiografia (RX).

### 5.1 Tempo de Execução dos Ensaios, Quantidade de Reparos e Equipe Disponível

O ensaio de inspeção visual foi realizado durante o processo de preparação das trinta e uma juntas e montagem total da tubulação, etapa esta que foi de cento e quarenta e quatro horas. Ou seja, o tempo médio de preparação, inspeção visual e processo de soldagem de cada junta soldada foi de quatro horas e trinta e seis minutos.

A equipe disponível para a execução desta atividade foi de:

- 01 Caldeireiro;
- 01 Mecânico;
- 02 soldadores;
- 01 Encarregado de solda;
- 01 Inspetor de qualidade.

O tempo total para a realização do ensaio por exame Líquido Penetrante (LP) nas trinta e uma amostras foi de doze horas, ou seja, o tempo médio de inspeção de cada junta soldada foi de vinte quatro minutos. Destas nove juntas soldadas, vinte nove por cento apresentou indicações de descontinuidades, como: Trinca na margem do cordão de solda, Mordedura e Porosidade. Estas nove juntas foram reparadas, inspecionadas novamente e aprovadas posteriormente.

Um Inspetor de qualidade ficou disponível para a execução desta atividade.

O tempo total para a realização do ensaio por exame Ultrassom (US) nas trinta e uma amostras foi de oito horas, ou seja, o tempo médio de inspeção de cada junta soldada foi de dezesseis minutos. Destas treze juntas soldadas, quarenta e dois por

cento apresentou indicações de descontinuidades, como: falta de fusão e vazio. Estas treze juntas foram reparadas, inspecionadas novamente e aprovadas posteriormente.

Um Inspetor de qualidade ficou disponível para a execução desta atividade.

O tempo total para a realização do ensaio de estanqueidade (EE) na linha de tubulação que contem as trinta e uma juntas soldadas foi de aproximadamente quatro horas, devido principalmente à complexidade do dispositivo de vedação desenvolvido. Não houve necessidade de execução de reparos.

A equipe disponível para a execução desta atividade foi de:

- 01 Mecânico;
- 01 Inspetor de qualidade.

## 5.2 Custo de Materiais e Mão de Obra de Controle de Qualidade

A execução do controle de qualidade e consequente dos ensaios utilizou oito kits aplicados durante o ensaio por líquido penetrante, com o custo total de R\$ 400,00 e custo de mão de obra de inspetor de qualidade considerando a execução de doze diárias de inspeção, com o custo total de R\$ 10.800,00, ou seja, o custo total da inspeção de qualidade executado nas trinta e uma juntas soldadas foi de R\$ 11.400,00. Este valor representa 5,32% em relação ao custo total desta implantação que foi de R\$ 214.285,00.

## 5.3 Funcionalidade

Os resultados obtidos nos materiais ensaiados mostraram claramente a localização de descontinuidades superficiais e internas, conforme necessário para garantir a confiabilidade operacional da instalação. Assim, todos os ensaios executados foram realizados de forma rápida e prática, sem quaisquer dificuldades.

Tabela 04 – Consolidação dos resultados e discursões.

Relação de ensaios executados:	Ensaio visual, líquido penetrante, Ultrassom, teste de estanqueidade
Tempo médio de execução dos ensaios em cada uma das 31 juntas soldadas:	04 horas de 06 minutos
Quantidade de juntas reparadas	22 juntas – 9 LP e 13 US
Quantidade de mão de obra	6 profissionais
Custo de mão de obra de controle de qualidade e insumos	R\$ 11.400,00

Fonte: Própria do autor.

## 6. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que os ensaios de inspeção visual, líquidos penetrantes, ultrassom e estanqueidade para a amostra de juntas descritas neste trabalho, são executados em curto intervalo de tempo, práticos e que devem ser executados sempre por profissionais habilitados, logo após o processo de soldagem. Além deste grupo de ensaios possuem custo reduzido em relação a custo de implantação do projeto, conforme detalhado neste projeto. Conclui-se também que a execução destes ensaios não destrutivo contribuem diretamente para a confiabilidade operacional desta tubulação, visto que esta conduz fluido (Amônia Anidra) que possui alta toxicidade para todo e qualquer ser vivo quando em contato direto ou indireto.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1]JUNIOR, Silvério Ferreira da Silva; MARQUES, Paulo Villani. Ensaio Não Destrutivos. Belo Horizonte, 2006.

[2]SANTOS, J.F. Oliveira. Ensaio Não Destrutivos. Portugal, Lisboa, 1999.

[3]Ensaio Não Destrutivos, Qualidade Aeronáutica. Disponível em: <<http://www.qualidadeaeronautica.com.br>>. Acesso em outubro de 2019.

[4]Ensaio Não Destrutivos: Uma Visão Geral. Revista do Parafuso. Disponível em: <<http://www.revistadoparafuso.com.br/v1/modelo/noticia.php?id=67>>. Acesso em outubro de 2019.

[5]Capítulo 2: A Inspeção Visual. UFMG. Disponível em: <<ftp://ftp.demec.ufmg.br/ema867end/>>. Acesso em: outubro de 2019.

[6]HASHIMOTO, A. P. M. B.; CABRAL, S. G.; Valle, V., *Teste de Estanqueidade em Sistema de Combustível de Gás Hélio*. EMBRAER S.A. São José dos Campos, SP, Brasil. 2003.

[7]ANDREUCCI, Ricardo. Líquidos Penetrantes. Abende, 2013.

[8]ANDREUCCI, Ricardo. Partículas Magnéticas. Abende, 2009.

[9]Capítulo 4: O Ensaio com Partículas Magnéticas. UFMG. Disponível em: <<ftp://ftp.demec.ufmg.br/ema867end/>>. Acesso em: outubro de 2019.

[10]ANDREUCCI, Ricardo. Radiologia Industrial. Abende, 2009.

[11]ANDREUCCI, Ricardo. Aspectos Industriais: Proteção Radiológica. Abende, 2013.

[12]ANDREUCCI, Ricardo. Aplicação Industrial: Ensaio por Ultrassom. Abende, 2009.

[13]END – Ensaio Não Destrutivos. Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos. 1996.

[14]Non Destructive Test, NTD Resource Center. Disponível em:<<https://www.ndeed.org>>. Acesso em: outubro de 2019

[15]NDTResourceCenter.[Online][http://www.ndted.org/EducationResources/CommunityCollege/EddyCurrents/cc\\_ec\\_index.htm](http://www.ndted.org/EducationResources/CommunityCollege/EddyCurrents/cc_ec_index.htm). Acesso em :10/11/2019

[16]MODENESI, Paulo J. Descontinuidades Inspeção de Juntas soldadas Soldagem. Belo Horizonte, nov. 2001. Disponível em: <http://demet.eng.ufmg.br/laboratorios/laboratorio-de-soldagem/textos/inspecao.pdf>