

GUILHERME DIAS DUARTE

O Controle da Qualidade em Processos de Produção Mecânica
Não-Seriada

São Paulo

-- 2010 --

GUILHERME DIAS DUARTE

O Controle da Qualidade em Processos de Produção Mecânica
Não-Seriada

Trabalho de formatura apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Graduação em Engenharia Mecânica

Orientador: Adherbal Caminada Netto

Área de Concentração: Engenharia Mecânica

São Paulo

-- 2010 --

FICHA CATALOGRÁFICA

Duarte, Guilherme Dias

O controle da qualidade em processos de produção mecânica não-seriada / G.D. Duarte. – São Paulo, 2010.

100p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Ensaio não-destrutivo 2. Administração da qualidade 3. Processos de fabricação 4. Máquinas operatrizes I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II. t.

RESUMO

Objetivou-se nesse Projeto estudar o Controle de Qualidade aplicado a processos de produção mecânica não-seriada na empresa Confab Industrial S.A (divisão Confab Equipamentos da TenarisConfab).

Para tanto, se fez necessária pesquisa bibliográfica direcionada à área de ensaios não-destrutivos, mecanismos amplamente utilizados em qualquer indústria mecânica pesada, cada qual embasado em uma teoria diferente.

A partir de visitas técnicas e um canal de comunicação direta com funcionários da empresa, pôde se estabelecer a metodologia de Controle de Qualidade da empresa, baseada na divisão interna de responsabilidades estabelecida pela Alta Gerência.

Num momento final, foram analisadas as peculiaridades do Controle da Qualidade da empresa parceira frente a outras indústrias mecânicas pesadas, estabelecendo uma comparação para identificar pontos fortes e pontos fracos da metodologia.

Palavras-chave: Ensaios não-destrutivos, processos, equipamentos pesados, Controle de Qualidade.

ABSTRACT

The objective of this Project is to study the Quality Control applied to non-serial mechanic processes of production, in Confab Industrial S.A (TenarisConfab's subdivision, Confab Equipamentos).

First, a bibliographic research oriented to the field of non-destructive tests was conducted. Non-destructive tests are mechanisms with a large application in any heavy mechanical industry and each one of them is based in a different theory.

In order to determine the company's Quality Control methodology, some technical visits (to shop-floor, and offices as well) were made with the aid of some of the company's employees. It was possible to determine, for instance, how the methodology is actually based on the internal division of responsibility (by the High Management).

At the end, there is a critical analysis of the strengths and weaknesses of the Quality Control methodology, along with a comparison between the company's and other heavy mechanical industries' methodologies.

Keywords: Non-destructive tests, industrial process, heavy equipment, Quality Control.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo de Deming, ou PDCA.....	12
Figura 2 - Ensaio por ultra-som em uma viga de concreto.....	13
Figura 3 - Visão geral da planta da Tenaris Confab em Pindamonhangaba, SP.....	15
Figura 4 - Processo de manufatura de tubos pelo método U-O-E.....	16
Figura 5 – Etapa de conformação do método SAW – Formação U-O-E (prensa U)....	17
Figura 6 - Caldeiraria pesada - Confab Equipamentos.....	23
Figura 7 - Ensaio visual de solda com iluminação auxiliar.....	23
Figura 8 - Trinca superficial numa junta soldada.....	25
Figura 9 - Aplicação de líquido penetrante fluorescente (Tipo I).....	26
Figura 10 - Líquido penetrante, Tipo II C.....	27
Figura 11 – Superfície antes da limpeza inicial.....	28
Figura 12 - Aplicação de líquido penetrante por pincel.....	29
Figura 13 - Aplicação de líquido penetrante por aerossol.....	29
Figura 14 - Remoção do excesso de líquido penetrante.....	30
Figura 15 - Absorção do líquido penetrante pelo revelador.....	30
Figura 16 - Partículas magnéticas fluorescentes.....	32
Figura 17 - Esquematização de um campo de fuga magnético.....	33

Figura 18 - Yoke de pernas fixas.....	34
Figura 19 - Esquematização da técnica dos eletrodos.....	35
Figura 20 - Ensaio de um virabrequim pela técnica da bobina.....	36
Figura 21 - Esquematização da técnica do contato direto.....	36
Figura 22 - Esquematização de um método eficaz de magnetização por yoke ou eletrodos.....	37
Figura 23 - Aplicação de partículas magnéticas via seca.....	38
Figura 24 – Representação de uma onda senoide.....	40
Figura 25 - Cristais piezoelétricos usados em um captador para violão.....	41
Figura 26 - Aparelho de ultra-som analógico, marca Krautkramer, modelo USM-2 (Todos os direitos reservados).....	42
Figura 27 - Aparelho de ultra-som digital, marca Krautkramer, modelos USM-50 e USM-52 (Todos os direitos reservados).....	43
Figura 28 - Metilcelulose, acoplante ideal para materiais não-ferrosos.....	43
Figura 29 - Cabeçote normal.....	44
Figura 30 - Cabeçote de duplo cristal.....	45
Figura 31 - Cabeçote angular.....	45
Figura 32 - Esquematização da técnica PE.....	46
Figura 33 - Esquematização da difração de uma onda ao encontrar uma descontinuidade.....	47

Figura 34 - Técnica da transparência.....	48
Figura 35 - Técnica de imersão e transdutores para imersão.....	49
Figura 36 - Esquematização do arranjo combinado TOFD & PE.....	49
Figura 37 - Aparelho para medição de espessura por ultra-som.....	50
Figura 38 - Radiologia industrial aplicada à aeronáutica.....	53
Figura 39 – Escala representativa de diversas ondas eletromagnéticas.....	55
Figura 40 - Esquematização básica de um tubo de Coolidge.....	58
Figura 41 - Inspeção radiográfica de tubos.....	59
Figura 42 - Acelerador LINAC, da Mitsubishi (Todos os direitos reservados).....	60
Figura 43 - Esquematização de um irradiador gama industrial.....	61
Figura 44 - Esquematização de um filme radiográfico.....	61
Figura 45 - Foto (esquerda) e imagem radiográfica (direita) de uma junta soldada com falta de penetração.....	62
Figura 46 - Instalação para radiografia industrial (Cabine JV 160G, da Julio Verne Automação – Todos os direitos reservados).....	65
Figura 47 - Inspeção dimensional por trena.....	67
Figura 48 - Verificação por PMI.....	68
Figura 49 - Teste de estanqueidade em uma conexão.....	69
Figura 50 - Organograma do CQ - jan/2010.....	71
Figura 51 - Plano de Inspeção e Testes (PIT).....	74

Figura 52 - Relatório de Não Conformidade (RNC).....	75
Figura 53 - Pátio externo - Confab Equipamentos.....	76
Figura 54 - Pátio interno (almoxarifado) - Confab Equipamentos.....	77
Figura 55 - Plano de amostragem disponibilizado para os inspetores.....	78
Figura 56 - Chapas com identificação dimensional e de material.....	79
Figura 57 - Exemplo de item liberado para estoque.....	80
Figura 58 - Inspetor realizando ensaio dimensional.....	81
Figura 59 - Procedimento de US, com aceite do órgão responsável.....	84
Figura 60 – Folha de Exames Realizados (FER).....	85
Figura 61 – Conexão submetida a US.....	85
Figura 62 - Trena danificada devido a mau uso.....	88
Figura 63 - Etiqueta indicativa de instrumento vetado a uso em campo.....	88
Figura 64 - Listagem mensal da calibração de instrumentos - Confab Equipamentos.	89
Figura 65 - Política do grupo Tenaris	90
Figura 66 - Gestão por processo (melhoria contínua).....	91
Figura 67 - Interface do sistema IDM.....	92
Figura 68 - Informe Mensal da Qualidade - Confab Equipamentos (nov/2009).....	93

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.1.MOTIVAÇÃO.....	11
1.2.APLICAÇÃO DIRETA.....	12
2. A EMPRESA.....	15
2.1.GRUPO TENARISCONFAB (CONFAB INDUSTRIAL S.A.).....	15
2.2.CONFAB EQUIPAMENTOS.....	19
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	23
3.1.INSPEÇÃO VISUAL/ENSAIO VISUAL (EVS).....	23
3.2.ENSAIO POR LÍQUIDO PENETRANTE (LP).....	25
3.3.ENSAIO POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS (PM).....	32
3.4.ENSAIO POR ULTRA-SOM (US).....	40
3.5.RADIOLOGIA INDUSTRIAL.....	53
3.6.INSPEÇÃO DIMENSIONAL/ENSAIO POR METROLOGIA.....	67
3.7.OUTROS ENSAIOS.....	68
4. O CONTROLE DA QUALIDADE NA CONFAB EQUIPAMENTOS.....	71
4.1.DIVISÃO INTERNA.....	71
4.2.ENGENHARIA DA QUALIDADE.....	73
4.3.INSPEÇÃO DE RECEBIMENTOS.....	76
4.4.INSPEÇÃO DE FÁBRICA.....	81
4.5.INSPEÇÃO OPERACIONAL.....	83
4.6.DOCUMENTAÇÃO.....	86
4.7.METROLOGIA.....	87
4.8.GARANTIA DA QUALIDADE.....	89
5. ANÁLISE CRÍTICA E COMPARAÇÃO.....	94
6. CONCLUSÃO.....	96

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....97

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....99

1. INTRODUÇÃO

1.1. MOTIVAÇÃO

O conceito “qualidade” não é de fácil compreensão. Mesmo entre os Gurus da Qualidade, como são chamados os grandes conhecedores do assunto, não existe uma definição única.

Segundo Deming (1990) “qualidade é a satisfação das necessidades do cliente, em primeiro lugar”. Juran (1992) define qualidade como sendo a adequação ao uso. Já para Crosby (1990), qualidade é definida como a conformidade às especificações.

Se o tema já é abrangente por natureza, a sua aplicação prática é mais larga ainda. Seja numa linha de montagem de automóveis, na concepção de um projeto de engenharia ou mesmo na cozinha de um restaurante familiar, atualmente elementos da qualidade estão cada vez mais presentes, em uma fatia cada vez maior de organizações que visem o lucro.

Montgomery (2004) define uma linha do tempo dos métodos de qualidade, onde se destacam:

- 1946: Formação da *American Society for Quality Control* (ASQC) e a *Japanese Union of Scientists and Engineers* (JUSE);
- 1950: Instituição do “Prêmio Deming”, pela JUSE, para resultados significativos em controle e metodologia de qualidade;
- 1960: Introdução do círculo de controle de qualidade no Japão, por K. Ishikawa;
- 1989: Surgimento da revista *Quality Engineering* e ponto de partida da iniciativa *Six-Sigma* pela Motorola;
- 1990: Crescimento das atividades da certificação ISO9000 na indústria americana.



Figura 1 - Ciclo de Deming, ou PDCA

Pela pesquisa realizada, percebe-se um *boom* recente (últimos 20 anos) de novas técnicas, ferramentas e idéias ligadas à metodologia da qualidade. Sejam ferramentas já consagradas como *Lean Manufacturing* (Manufatura Enxuta), *Six-Sigma* e Gerência da Qualidade Total (GQT), ou novos conceitos, como o *Lean Six-Sigma* (integração entre elementos da Manufatura Enxuta e da filosofia *Six-Sigma*). Ou o Sistema Toyota de Desenvolvimento de Produto (aplicação dos conceitos da filosofia do Sistema Toyota, geralmente ligada a processos de produção, na concepção do produto – o projeto).

1.2. APLICAÇÃO DIRETA

Se as ferramentas tradicionais da Engenharia da Qualidade são aplicáveis a processos onde, geralmente, é possível realizar um controle estatístico (uma linha de montagem automotiva, p.e), como seria feito o controle da Qualidade em processos onde essa relação de linearidade e produção em massa não fosse identificada?

Quando o produto final é fruto de uma série de processos independentes, cada um com suas peculiaridades, não há como se prever um padrão sob o qual poderia se realizar algum tipo de controle. Isso é particularmente crítico numa indústria mecânica pesada, onde

o produto final serve a aplicações onde não é permitido desempenho ruim, ou qualquer falha.

Manutenção, reposição de peças defeituosas e reconstrução, nesse caso, não são alternativas viáveis, tanto sob o ponto de vista financeiro, quanto funcional (interrupção de um segmento de refino de petróleo inteiro, para reparo de um forno reformador, p.e).

Assim, excelência é palavra-chave no mundo das indústrias mecânicas pesadas. É necessário que se garanta, em cada processo, que não haja falhas. E mais, é necessário garantir que, no caso de algum problema, a fonte seja facilmente encontrada.

Nesse cenário se insere o Controle da Qualidade, através de normas, ensaios não-destrutivos, procedimentos, etc. Cada empresa tem sua própria maneira de lidar com esse delicado aspecto. Entretanto, no geral, existe um conjunto de procedimentos que estão presentes em todas as empresas.



Figura 2 - Ensaio por ultra-som em uma viga de concreto

O objetivo do projetista é oferecer uma visão geral sobre o assunto, através do ponto de vista de uma única empresa. A partir desse ponto de vista, então, será possível estabelecer comparação entre o Controle da Qualidade de diversas empresas, possibilitando a identificação de pontos fortes e pontos fracos, focando a melhoria contínua.

2. A EMPRESA

2.1. GRUPO TENARISCONFAB (CONFAB INDUSTRIAL S.A.)

TenarisConfab é a marca utilizada no Brasil por Confab Industrial S.A., empresa do grupo multinacional Tenaris. Líder na produção e fornecimento de tubos de aço soldados para a indústria energética brasileira e líder na exportação desses produtos para o Mercosul e América Latina. Sua planta localizada em Pindamonhangaba, SP, tem uma capacidade anual de produção de 550 mil toneladas de tubos de aço soldado.

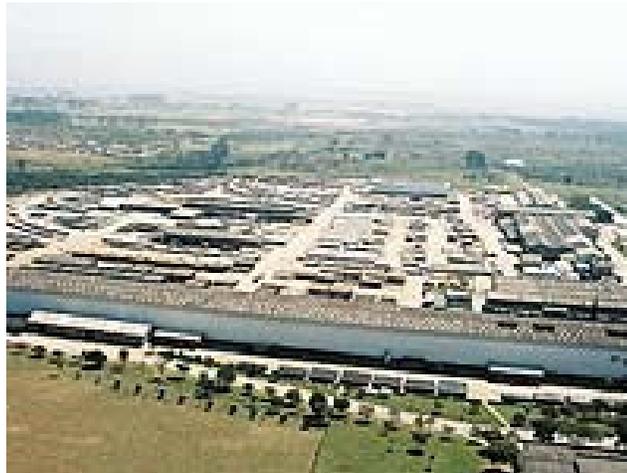


Figura 3 - Visão geral da planta da Tenaris Confab em Pindamonhangaba, SP

A empresa também conta com uma divisão que produz equipamentos industriais pesados para o mercado brasileiro e para exportação (Confab Equipamentos), uma divisão especializada em revestimentos para tubos de aço (Socotherm Brasil) e uma divisão responsável pelas compras (Exiros).

A Tenaris é líder no fornecimento de tubos e serviços para a indústria energética mundial, assim como para certas aplicações industriais, contando com 23.500 funcionários e vendas anuais de U\$S 10 bilhões.

A divisão TenarisConfab trabalha com três métodos de manufatura de tubos:

- SAW – Formação U-O-E;
- ERW – Produção em Linha Contínua;
- SAW – Formação Contínua Helicoidal.

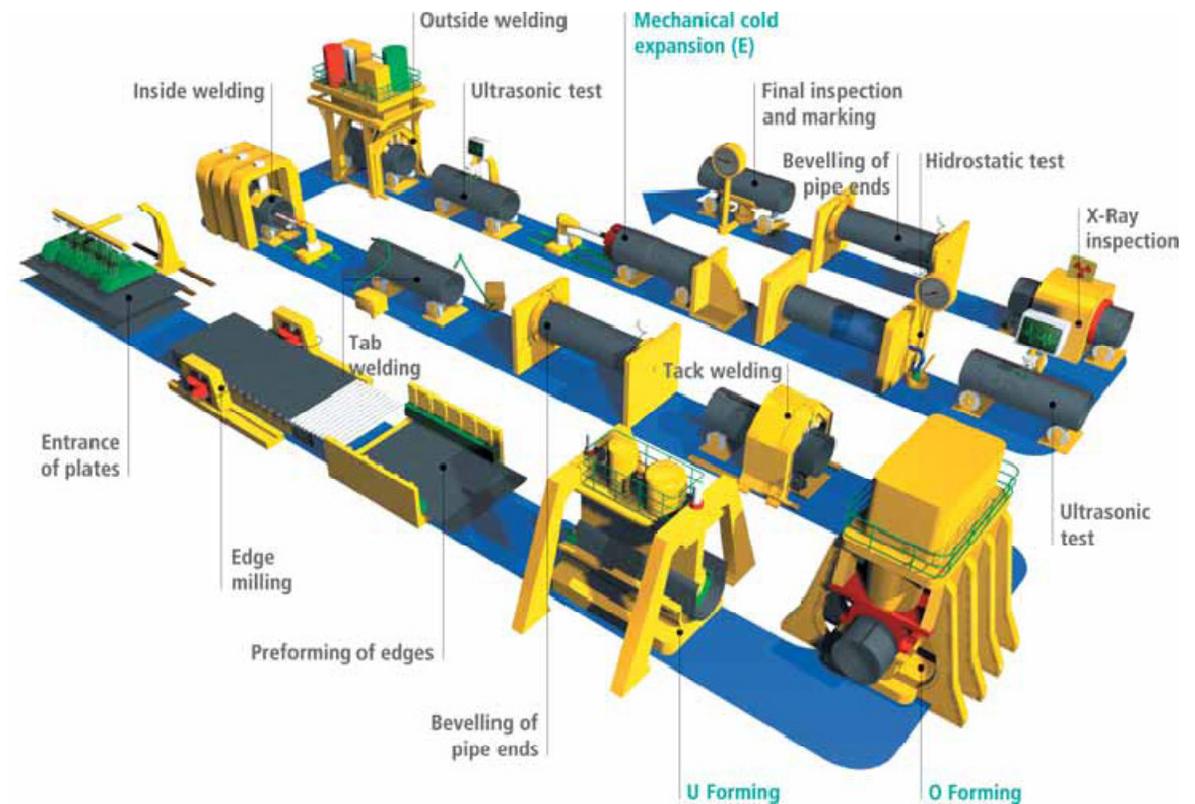


Figura 4 - Processo de manufatura de tubos pelo método U-O-E



Figura 5 – Etapa de conformação do método SAW – Formação U-O-E (prensa U)

Os acontecimentos mais importantes na história da TenarisConfab até a história recente são listados a seguir (de acordo com *website* da empresa, <www.tenarisconfab.com.br>):

- 1943: Compra da Fábrica Nacional de Tambores. Início da história da Confab;
- 1953: Criação da Petrobras. Fabricação de Equipamentos para Indústria de base;
- 1954: Expansão do negócio com a compra da unidade de São Caetano do Sul;
- 1961: Início da produção de tubos aço soldado. Fornecimento de estacas tubulares para a construção da Usiminas;
- 1970: Conquista de novos mercados;
- 1974: Construção da Confab Tubos em Pindamonhangaba;
- 1977: Construção da Confab Equipamentos em Moreira César;
- 1980: Abertura de capital na BOVESPA (CNFB4);
- 1982: Contrato com PEMEX de US\$ 60 milhões;

- 1985: Fornecimento de tubos de aço para a All American Pipeline, EUA. Contrato de US\$ 20 milhões para o Poliduto Replan-Brasília;
- 1993: Troca de ações com a Siat;
- 1994: Gasbel Rio – Belo Horizonte. 21 mil toneladas de tubos – US\$ 19 milhões;
- 1995: Poliduto Replan – Brasília. 24 mil toneladas de tubos – US\$ 21 milhões;
- 1998: Contrato de US\$ 600 milhões para a construção do Gasoduto Bolívia-Brasil;
- 1999: Siderca assume o controle da Confab. Venda da Confab para a Organização Techint Confab em associação com a Socotherm inauguram a Soco-Ril do Brasil, planta de revestimento especial para tubos de aço;
- 2000: Criação da marca Tenaris;
- 2001: Fornecimento de tubos de aço para p projeto Camisea (Peru), OCP (Equador), GASYRG (Bolívia) e Carina & Aires (Argentina).
- 2002: Início das operações da Base em Macaé, RJ;
- 2003: Inauguração da Planta de Tratamento Térmico, TenarisConfab. Consolidação da Tenaris como uma única empresa. A TenarisConfab adere ao Nível 1 de Governança Corporativa;
- 2004: A empresa passou a produzir hastes de bombeio e acessórios para aplicação no mercado *onshore*;
- 2005: Por intermédio da Socotherm Brasil, investimento na construção da planta de revestimentos especiais no Espírito Santo para atender a projetos offshore. Comemoração dos 25 anos de capital aberto na Bolsa de Valores de São Paulo.

Diante ao atual cenário de recuperação da crise que atingiu vários setores da indústria mundial, a empresa se encontra em período de produção moderada, com algumas plantas trabalhando em apenas dois turnos, outras paradas, etc. O maior cliente da empresa atualmente é a Petrobras, e o principal fornecedor de matéria-prima é a Usiminas.

2.2. CONFAB EQUIPAMENTOS

A divisão Confab Equipamentos é a marca utilizada pela divisão de equipamentos industriais da Confab Industrial S.A. Com sua planta localizada em Moreira César, SP, esta divisão produz equipamentos pesados utilizados nas indústrias:

- Química;
- Petroquímica;
- Siderúrgica;
- Energética e geração de vapor;
- Petróleo e gás;
- Papel e celulose;
- Infra-estrutura;
- Engenharia;
- Construção e serviços.

A Confab Equipamentos possui uma área total de 904.239 m², sendo 83.700 m² construídos. Sua capacidade de produção é de 1 milhão de homens-hora por ano. Preparada para atender aos mercados nacional e internacional a empresa é certificada com as normas pelo Lloyd's Register Assurance: ISO 9000, American Society of Mechanical Engineers – ASME (selos U, U2, U3 e S), National Board (selo R), Instituto Brasileiro para Qualidade Nuclear (IBQN) e pelo TUV, da Alemanha.

Com tecnologias próprias ou parcerias com diversas empresas, a Confab Equipamentos fornece sistemas completos para os segmentos em que atua, trabalhando junto ao cliente desde o desenho até o *start up* do projeto. Sua infra-estrutura é tal que permite disponibilizar aos seus clientes (de acordo com *website*, <www.tenaris.com/ConfabEquipamentos>):

- Logística integrada, que garante a entrega dos produtos, de acordo com o sistema *just-in-time*;

- Assistência técnica;
- Comissionamento;
- Projetos básicos e detalhamento;
- Reformas em equipamentos;
- Engenharia completa, comprimindo a gerência dos pedidos, do projeto básico, passando pela assistência no comissionamento, partida até a operação assistida, garantindo a performance ideal de cada empreendimento;
- Disciplinas: mecânica, elétrica, instrumentação, tubulação, cálculo mecânico e processo;
- Desenvolvimento de projetos via estações de CAD;
- Uso de programas (*softwares*) internacionais para cálculos;
- Contratação de consultores internacionais de acordo com o tipo de equipamento produzido;
- Gerenciamento de montagem de equipamentos e plantas completas;
- Planejamento e gerenciamento de todas as atividades relacionadas ao fornecimento de plantas completas pelo sistema *turnkey* (termo usado para designar que a planta é entregue já em plenas condições de funcionamento).



Figura 6 - Caldeiraria pesada - Confab Equipamentos

A Confab Equipamentos está preparada para emitir especificações técnicas de Materiais com controles especiais para atender aos requisitos de soldabilidade, conformação e condições de tratamento térmico.

O sólido conhecimento de suas equipes em Tecnologia da Soldagem permite desenvolver processos de solda para materiais como aço carbono-manganês, cromo-molibdenio de alta e baixa ligas, duplex e outros aços inoxidáveis, ligas de níquel, de alumínio e chapas cladeadas. Os procedimentos de solda são qualificados conforme as normas aplicáveis (ASME, AWS D1.1, NF A88-110, entre outras).

O planejamento e a execução dos exames de soldagem são de responsabilidade de funcionários qualificados, de acordo com códigos e normas internacionais e *bureaus* nacionais, como o Instituto Brasileiro de Qualidade Nuclear (IBQN), a Fundação Brasileira de Tecnologia da Soldagem (FBTS).

Atualmente, todos os grandes contratos vigentes são para o principal cliente, Petrobras. Assim, as plantas da empresa estão voltadas basicamente para a produção de:

- equipamentos para estocagem de líquidos e gases;
- vasos e reatores de alta pressão (*multiwall*);
- colunas de processos e bandejas;
- fornos petroquímicos;
- equipamentos para *offshore*;
- hastes de bombeio.

Pequenas e médias empresas costumam contratar os serviços da Confab Equipamentos para assistência técnica, reparos, etc. Num futuro próximo a empresa espera retomar a produção de equipamentos voltados para a área nuclear, que já foi o carro-chefe da empresa em meados dos anos 80. Isso porque foi aprovada a retomada do desenvolvimento da usina nuclear Angra 3, em setembro de 2008.

Também há perspectivas de expansão da produção da Confab Equipamentos, já que está sendo construído um novo pavilhão na unidade de Moreira César, além do investimento em uma unidade avançada em Paranaguá, PR, para a produção e acabamento de componentes para unidades semi-submersíveis (plataformas Petrobras).

O Controle da Qualidade dessa indústria mecânica pesada será especificado nas próximas seções desse relatório.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No contexto do Controle da Qualidade em uma indústria mecânica pesada, existem várias normas e procedimentos que regem cada atividade envolvida num processo. Dentre essas atividades, destacam-se os ensaios não-destrutivos.

Ensaaios não-destrutivos são definidos no *Metals Handbook* (volume 11) como “ensaaios que, quando realizados sobre peças semi-acabadas e acabadas, não prejudicam nem interferem com o uso futuro das mesmas”. Nesses ensaios estão envolvidos todos os métodos para a medição e detecção de propriedades, capacidade de desempenho dos materiais (ou peças, ou equipamentos, etc.) em questão, por meio de energias físicas que não danificam os mesmos.

Não é pretensão do projetista se aprofundar em qualquer um desses ensaios, e sim oferecer uma visão geral da teoria que os rege, com o intuito de facilitar a compreensão dos procedimentos de Controle da Qualidade da empresa.

3.1. INSPEÇÃO VISUAL/ENSAIO VISUAL (EVS)

O ensaio visual é considerado o ensaio não-destrutivo básico. Todos os outros ensaios não-destrutivos devem ser precedidos por uma boa inspeção visual, que pode ser realizada à vista desarmada ou com o auxílio de uma lupa ou outros instrumentos e aparelhos para inspeção remota.



Figura 7 - Ensaio visual de solda com iluminação auxiliar

Além de sua principal aplicação, no controle de qualidade da soldagem, esse ensaio também pode ser aplicado para detecção de irregularidades superficiais de vários tipos, como, por exemplo, dobras de laminação de chapas, pontos de corrosão, evidências de vazamento e afins.

3.1.1. Finalidades do ensaio

O ensaio visual como parte do controle de qualidade ligado à soldagem é geralmente realizado antes e depois desse processo.

Antes da soldagem, a inspeção visual tem por finalidade detectar:

- Defeitos de geometria da junta:
 - Ângulo do bisel;
 - Ângulo do chanfro;
 - Nariz do bisel;
 - Abertura da raiz;
 - Alinhamento das partes a serem soldadas.

- Descontinuidades no metal-base, como dupla-laminação e segregação.

Quando o ensaio é realizado após a solda, o objetivo é detectar possíveis descontinuidades induzidas no processo de soldagem.

3.1.2. Sequência do ensaio

A sequência de cada ensaio visual se compõe de apenas duas etapas:

- Preparação da superfície (se necessário);
- Inspeção pelo método visual previsto no procedimento em questão (sob iluminação adequada).

3.1.3. Vantagens

- Baixo custo;
- Permite a detecção e eliminação de possíveis descontinuidades de soldagem antes de se iniciar ou completar a soldagem de uma junta;
- Otimiza a realização de ensaios não-destrutivos consequentes, por meio de análise prévia de pontos de possíveis descontinuidades, proporcionando diminuição da quantidade de reparos de solda.

3.1.4. Limitações e desvantagens

- É limitado à detecção de defeitos superficiais.

3.2. ENSAIO POR LÍQUIDO PENETRANTE (LP)

O ensaio por líquido penetrante é um ensaio relativamente simples, rápido e de fácil execução, baseado no fenômeno da capilaridade. Utiliza-se esse ensaio para detecção de descontinuidades abertas para a superfície de materiais sólidos não-porosos. A detecção das

descontinuidades independe de seu tamanho e configuração, ou da estrutura interna e composição do material.

O desenvolvimento da tecnologia para o ensaio por líquido penetrante surgiu da necessidade de se avaliar defeitos (descontinuidades) superficiais que o ensaio por partículas magnéticas (descrito no próximo item) não era capaz de identificar, por se tratar de ligas não-ferrosas, ou seja, materiais não-magnéticos.

Há aplicação desse tipo de ensaio, também, para detectar vazamentos em tanques, tubos, etc. Os materiais nos quais o ensaio pode ser utilizado variam de cerâmica, vidro, passando por aço inoxidável, ligas de titânio até os materiais magnéticos. É indicado principalmente para controle de qualidade em camadas de revestimento, soldas e zonas termicamente afetadas (ZTA).

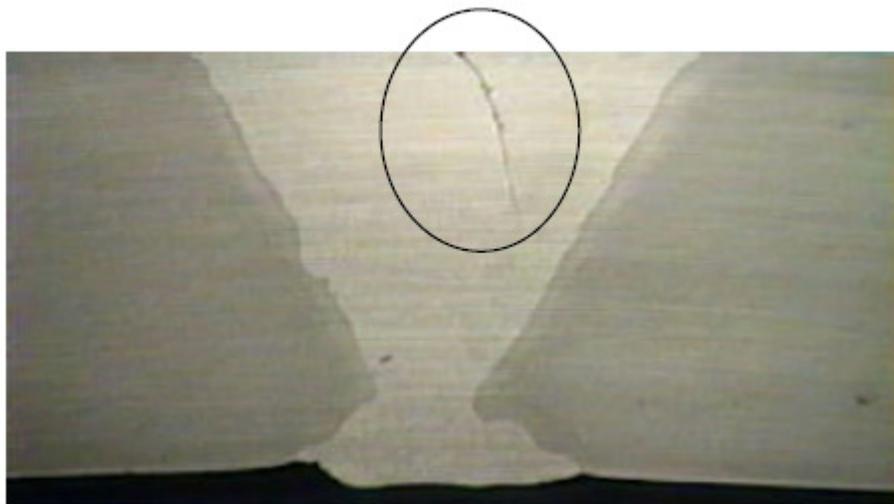


Figura 8 - Trinca superficial numa junta soldada

3.2.1. Características e tipos de líquido penetrante

O líquido penetrante deve ser um líquido com grande poder de penetração e alta ação capilar. Além disso, outras características são importantes para um líquido penetrante de boa qualidade, por exemplo:

- Não evaporar ou secar rapidamente;
- Ter habilidade de espalhar-se em superfícies, formando camadas finas (molhabilidade);
- Ter um forte brilho, que deve permanecer quando exposto ao calor, luz ou luz negra (ultravioleta);
- Não ser facilmente inflamável, nem demasiadamente tóxico.

Os líquidos penetrantes contêm, em solução ou suspensão, pigmentos coloridos ou fluorescentes que vão definir a sua utilização:

- Tipo I – Penetrante fluorescente: utilizado em ambientes escuros, sendo visível com luz negra;
- Tipo II – Penetrante visível: utilizado em ambientes claros, sendo visível com luz natural.

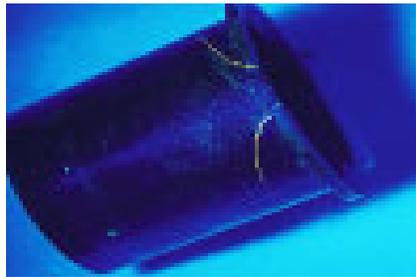


Figura 9 - Aplicação de líquido penetrante fluorescente (Tipo I)

Além da visibilidade os penetrantes também podem ser classificados quanto à forma em que é removido o seu excesso:

- Tipo A – removível com água;
- Tipo B – removível com emulsificante lipofílico;
- Tipo C – removível com solvente;
- Tipo D – removível com emulsificante hidrofílico.



Figura 10 - Líquido penetrante, Tipo II C

3.2.2. Características e tipos de revelador

O revelador é, fundamentalmente, um material aplicado de forma seca, úmida ou líquida, que tem como função retirar o penetrante das discontinuidades e conduzi-lo para a superfície, dando uma indicação (colorida ou fluorescente) destas discontinuidades.

Um bom revelador deve ser capaz de absorver o penetrante da discontinuidade, ser facilmente removível, ter granulação fina, etc. Podem ser classificados em:

- Tipo a – pó seco;
- Tipo b – suspensão aquosa de pó (solúvel em água);
- Tipo c – solução aquosa (em suspensão na água);
- Tipo d – suspensão do pó em solvente (diluído em solvente).

3.2.3. Sequência do ensaio

Basicamente, o ensaio por líquido penetrante se compõe de cinco etapas:

- Limpeza inicial: A superfície a ser examinada (e todas as áreas adjacentes que estejam a, pelo menos, 25 milímetros de cada borda da superfície) deve estar seca, sem graxa, óleo, ferrugem ou sujeira.

No caso de inspeção de solda toda a escória deve ser cuidadosamente removida. O objetivo dessa preparação é evitar fatores contaminantes que possam mascarar possíveis descontinuidades, inutilizando o ensaio;

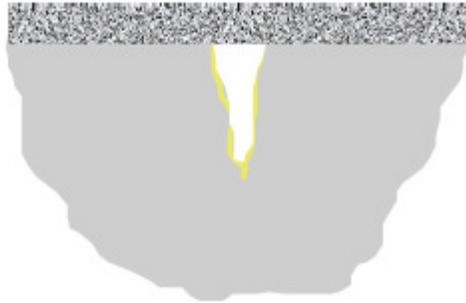


Figura 11 – Superfície antes da limpeza inicial

- Aplicação do penetrante: Depois de passado o tempo de evaporação do produto utilizado na limpeza inicial, aplica-se o líquido penetrante de modo que se cubra toda a área a ser examinada.

Esta aplicação pode ser feita por pincel, pulverização, por aerossol ou derramamento. O penetrante, por ação capilar, migra para dentro da possível descontinuidade durante o tempo de penetração.



Figura 12 - Aplicação de líquido penetrante por pincel

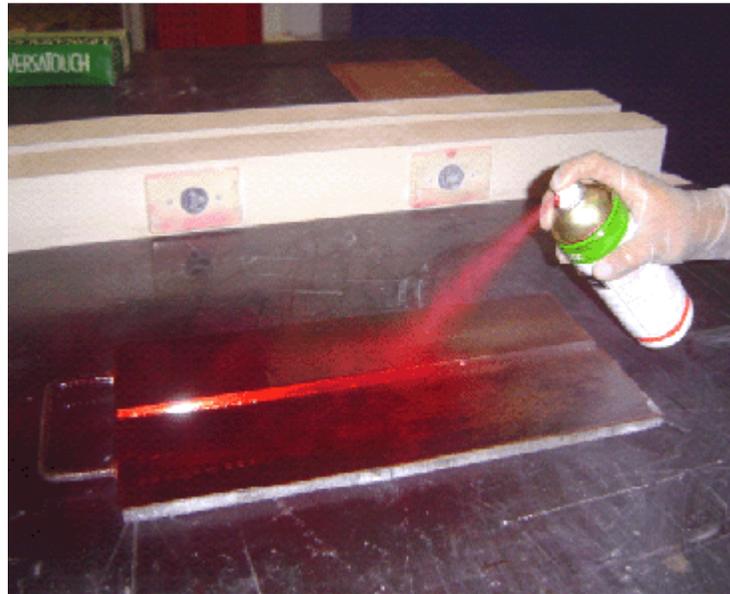


Figura 13 - Aplicação de líquido penetrante por aerossol

A temperatura ideal para a aplicação do penetrante é de 20°C, e é importante que a temperatura da superfície seja, pelo menos, 5°C. Isso impede a evaporação ou inflamação do penetrante;

- Remoção do excesso do penetrante: Uma vez que o tempo de penetração tenha sido respeitado, deve se remover o excesso de penetrante, respeitando sempre as características do mesmo, até que não haja resíduos na superfície examinada;



Figura 14 - Remoção do excesso de líquido penetrante

- Aplicação do revelador: Deve se esperar o período de secagem do removedor utilizado na etapa anterior para proceder à aplicação de uma fina camada do revelador adequado sobre toda a superfície examinada.

Deve ser previsto também um tempo para a revelação, para sucesso do ensaio;

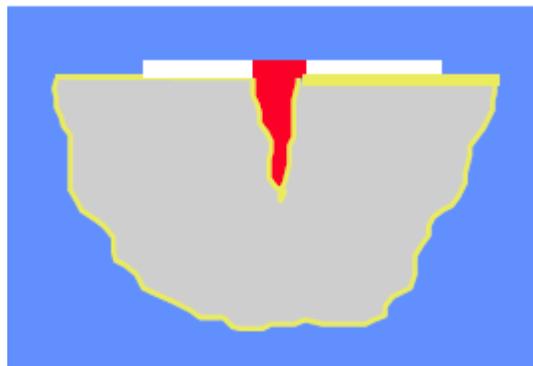


Figura 15 - Absorção do líquido penetrante pelo revelador

- Inspeção Final: Um inspetor qualificado verifica visualmente a superfície examinada procurando indicações de descontinuidades, como trincas, falta de fusão, poros, etc.

A análise deve levar em conta todas as normas e especificações regentes. Deve ser emitido um relatório escrito, que mostre as condições de ensaio, resultado da inspeção e condição de aprovação ou rejeição da peça;

- Limpeza pós-ensaio: Após a inspeção final, deve se retirar qualquer resíduo (penetrante, revelador ou removedor) da superfície examinada que possa vir a prejudicar os processos de fabricação subseqüentes.

3.2.4. Vantagens

- Ensaio de simples execução e interpretação;
- Baixo custo e rapidez, tanto para treinamento de pessoal quanto para a realização do ensaio;
- É capaz de detectar discontinuidades extremamente finas (da ordem de 0,001 milímetros de abertura);
- É aplicável em qualquer tipo de material, e em peças de qualquer formato;

3.2.5. Limitações e desvantagens

- O ensaio não é aplicável a superfícies porosas;
- Detecção de discontinuidades superficiais, apenas;
- Trabalhosa preparação (e limpeza, se necessário) da superfície examinada;
- A temperatura da superfície examinada deve estar inserida num intervalo adequado (de 5°C a 52°C) por causa das propriedades do penetrante (volatilidade e inflamabilidade).

3.3. ENSAIO POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS (PM)

O ensaio por partículas magnéticas é utilizado para localizar discontinuidades superficiais e sub-superficiais em peças de material ferromagnético, como ligas de ferro e níquel. Pode ser aplicado a peças usinadas, soldadas, forjadas, etc. Normalmente, os defeitos detectados a partir desse ensaio são:

- Trincas;

- Inclusões;
- Gota fria;
- Dupla laminação;
- Falta de penetração;
- Dobramentos.

Existem alguns conceitos importantes ligados ao ensaio por partículas magnéticas:

- Magnetismo: fenômeno físico de atração (ou repulsão) entre determinados tipos de material;
- Pólos magnéticos: pontos de concentração de força magnética, seja de atração, ou repulsão;
- Campo magnético: uma região do espaço que foi modificada pela presença de um ímã. As linhas de condução (ou linhas de fluxo) são sempre contínuas e indicam a forma do campo magnético;
- Materiais ferromagnéticos: materiais que são fortemente atraídos por ímãs. São ideais para aplicação nesse tipo de ensaio. A fim de aumentar o contraste com a superfície em inspeção, as partículas podem ser coloridas (cinza, preta, fluorescente);

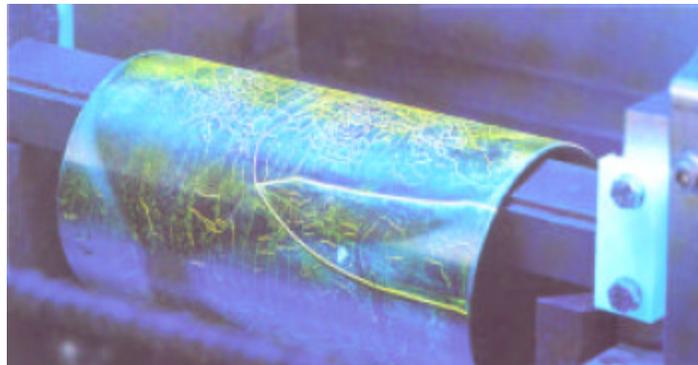


Figura 16 - Partículas magnéticas fluorescentes

- Campo de fuga: O desvio das linhas de força acarreta na formação de novos pólos (dispersão das linhas de fluxo). Esse fenômeno de dispersão, que

geralmente só ocorre nos pólos, cria o campo de fuga na zona das descontinuidades, fazendo com que sejam identificadas no ensaio.

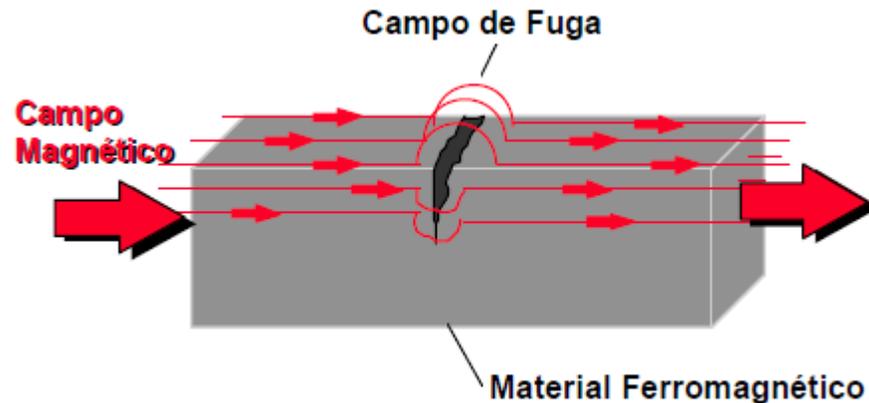


Figura 17 - Esquemática de um campo de fuga magnético

O método consiste na aplicação de uma corrente de magnetização (ou um campo magnético) à peça inspecionada. Aplica-se um pó composto por partículas ferromagnéticas finamente divididas (pó magnético) sobre a peça a ser inspecionada.

A presença de descontinuidades superficiais irá produzir campos de fuga na região da descontinuidade, causando uma polarização localizada que é detectada pelas partículas ferromagnéticas que são aplicadas sobre a peça. Esse fenômeno fornece a visualização do formato e da extensão da descontinuidade.

Observou-se que, na prática, deve-se fazer com que as linhas de força sejam perpendiculares ao plano da descontinuidade e proporcionar valores mínimos de intensidade de campo para que haja um campo de fuga adequado (reunião nítida de partículas em torno da descontinuidade).

Vale ressaltar que não há um tamanho mínimo de descontinuidade para que ocorra o campo de fuga, ou seja, é possível detectar mesmo as menores descontinuidades a partir do ensaio por partículas magnéticas.

3.3.1. Técnicas de magnetização

Serão apresentadas aqui as principais técnicas de magnetização para o ensaio por partículas magnéticas.

3.3.1.1. Técnica do Yoke

O Yoke consiste basicamente de uma bobina enrolada em um entreferro ou núcleo em forma de “U”, que é apoiado na peça a ser inspecionada. Por esse eletroímã circula corrente contínua ou alternada (prevê-se em algumas normas, como a Petrobras N-1598, que se utilize a corrente alternada, para fornecer melhores características de detecção).

Durante a inspeção, as discontinuidades são detectadas entre os pontos de contato do Yoke, em uma direção aproximadamente perpendicular às linhas de força do campo magnético estabelecido na peça.



Figura 18 - Yoke de pernas fixas

3.3.1.2. Técnica dos eletrodos

Essa técnica consiste na injeção de corrente na peça através de dois eletrodos, alimentados por um gerador de corrente contínua ou retificada de meia-onda. A intensidade da corrente (portanto, do campo magnético) depende da distância entre os eletrodos e da espessura da peça.

As discontinuidades aparecem entre os pontos de contato dos eletrodos, numa direção perpendicular às linhas de força. O espaçamento entre os eletrodos deve estar num intervalo de três e oito polegadas.

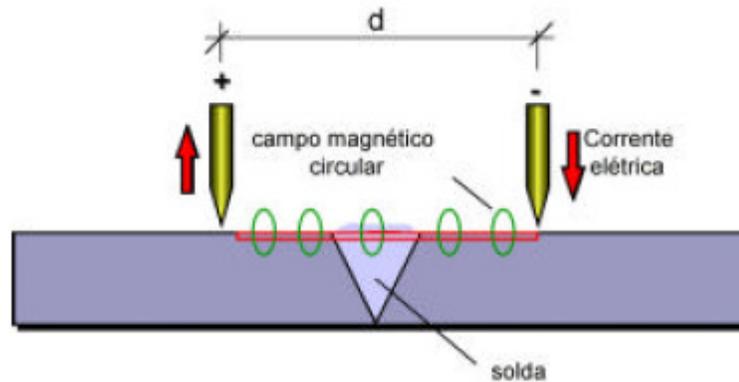


Figura 19 - Esquemática da técnica dos eletrodos

3.3.1.3. Técnica da bobina

A técnica é baseada na indução de um campo magnético longitudinal à peça, podendo ser feita de duas maneiras:

- Enrolando-se um cabo em torno da peça, fazendo com que ela se comporte como o núcleo de uma bobina;
- Colocando-as no interior de uma bobina (mais adequado para peças pequenas).

A intensidade de campo necessária é calculada a partir do comprimento e do diâmetro da peça a ser inspecionada. As discontinuidades são detectadas simultaneamente em toda a peça, numa direção aproximadamente perpendicular às linhas de força do campo magnético gerado.

Conjunto da Bobina e sistema de spray de água contendo pó magnético.



Figura 20 - Ensaio de um virabrequim pela técnica da bobina

3.3.1.4. Técnica do contato direto

Essa técnica consiste na indução de um campo magnético circular à peça pela aplicação de corrente contínua ou retificada de meia-onda pelas extremidades da peça. A intensidade de campo deve ser calculada a partir da maior dimensão da peça transversal à passagem de corrente.

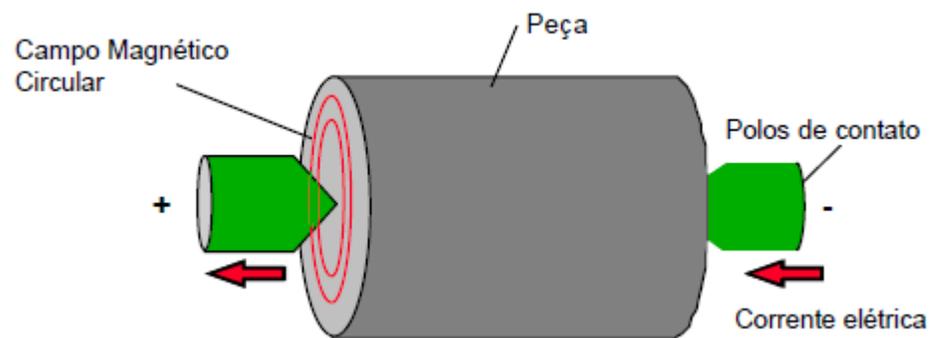


Figura 21 - Esquematização da técnica do contato direto

3.3.2. Sequência do ensaio

O ensaio por partículas magnéticas é restrito a cinco etapas:

- Limpeza: A superfície a ser inspecionada (e áreas adjacentes a menos de 25 milímetros da mesma) deve estar livre de sujeira, graxa, óleo, escória, etc.;
- Magnetização da peça: Escolhe-se a técnica de magnetização segundo o procedimento de inspeção. Observar que a peça deve ser magnetizada em duas direções diferentes, isto é, as linhas de força da primeira magnetização devem ser perpendiculares às da segunda magnetização. Isso garante que toda descontinuidade, independente de sua orientação, seja detectada;

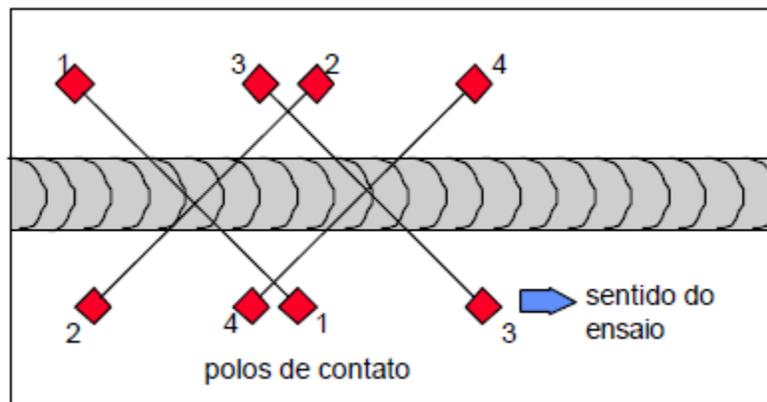


Figura 22 - Esquematização de um método eficaz de magnetização por yoke ou eletrodos

- Aplicação das partículas: Enquanto a peça está sujeita ao campo magnético, aplicam-se as partículas magnéticas na peça, que serão atraídas para os possíveis campos de fuga existentes na peça. A aplicação das partículas pode ser feita por via seca (pó seco) ou via úmida (suspensão em meio líquido – água ou querosene).



Figura 23 - Aplicação de partículas magnéticas via seca

- Inspeção final: Avaliação imediata, pelo inspetor, da região inspecionada quanto a descontinuidades.
- Desmagnetização: Se faz necessário na medida em que a magnetização da peça pode ocasionar efeitos indesejados. Interferência em instrumentos de medição e em processos de fabricação, como usinagem (magnetização das ferramentas de corte) e soldagem (deflexão do arco elétrico, com conseqüente desvio da região de soldagem) são os principais.

3.3.3. Vantagens

- Exige pouca ou nenhuma preparação prévia da superfície a ser inspecionada;
- Fornece resultados imediatos;
- Detecta descontinuidades sub-superficiais de até 12 milímetros.

3.3.4. Limitações e desvantagens

- A geometria da peça pode dificultar a inspeção ou até mesmo torná-la inviável;
- Restrição à inspeção de materiais ferromagnéticos;

- Possibilidade de aquecimento da peça ensaiada devido à corrente elétrica empregada;
- A inspeção de áreas com materiais com características magnéticas diferentes entre si dificulta o trabalho do inspetor.

3.4. ENSAIO POR ULTRA-SOM (US)

O ensaio por ultra-som é baseado na teoria da transmissão do som, energia mecânica em forma de ondas, a frequências acima da faixa audível. Tem como objetivo a detecção de descontinuidades internas presentes em todo o tipo de peças, fabricados a partir de qualquer tipo de material.

3.4.1. Conceitos importantes envolvidos

Alguns conceitos são fundamentais para a compreensão do ensaio por ultra-som. A maioria deles é relacionada à teoria de ondas. Os mais importantes serão descritos a seguir.

3.4.1.1. Ondas sonoras

Ondas sonoras têm características mecânicas (originadas pela deformação de um meio elástico, para um meio material) e periódicas (se repetem em intervalos de tempos bem definidos).

Uma onda sonora pode possuir, p.e, a forma de uma senóide, na qual é possível identificar uma frequência (ou velocidade de oscilação, medida em hertz) e uma amplitude (ou energia, medida em decibéis).

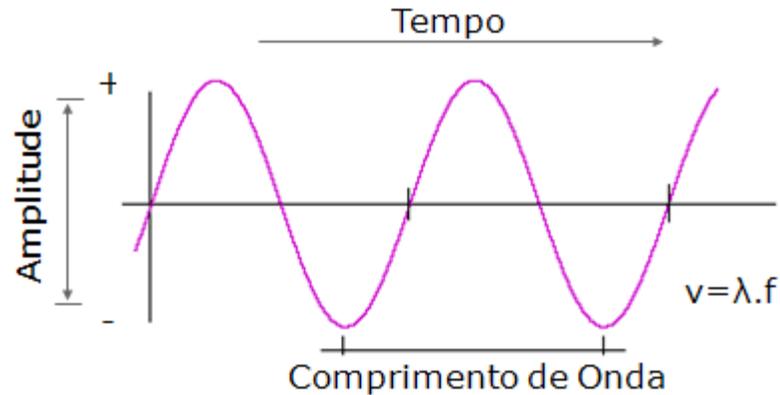


Figura 24 – Representação de uma onda senoide

Os sons audíveis pelo ouvido humano se encontram na faixa de frequência definida pelos extremos 20 Hz e 20 kHz. Acima e abaixo dessa faixa, encontram-se as regiões de ultra-som e infra-som, respectivamente.

No ensaio por ultra-som, são utilizadas ondas sonoras com frequências muito altas (e amplitudes muito pequenas), inaudíveis e impossíveis de serem percebidas sensorialmente pelo ser humano. A faixa de frequências utilizada em ensaios vai de 0,5 MHz até 20 MHz.

3.4.1.2. Efeito piezoelétrico

Alguns materiais têm a capacidade de produzir eletricidade quando sujeitos a pequenos esforços mecânicos. A esse fenômeno se dá o nome de efeito piezoelétrico. Diversos materiais possuem essa propriedade, como quartzo, sulfato de lítio, metaniobato de bário, titanato de bário e zirconato-titanato de chumbo (PTZ). Dá-se a eles o nome de cristais piezoelétricos.

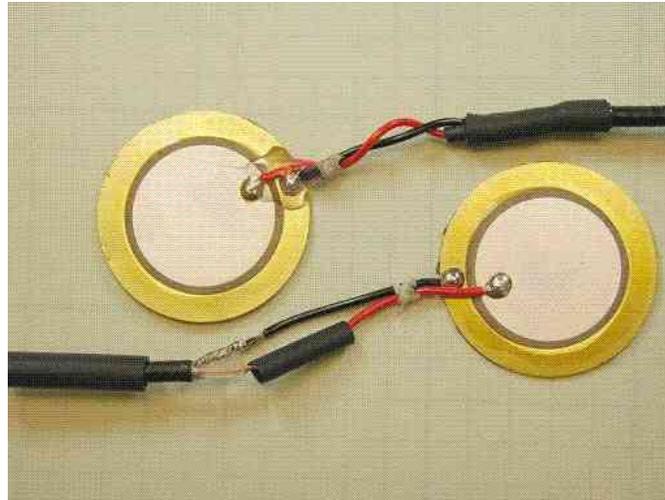


Figura 25 - Cristais piezoelétricos usados em um captador para violão

A aplicação desses cristais é extensa: Relógios digitais, fornos a gás, impressoras *ink-jet*, microscópios, etc.

Uma propriedade interessante para a aplicação dos cristais piezoelétricos nos ensaios por ultra-som é que eles são utilizados tanto como emissores quanto receptores de ondas sonoras. Ou seja, quando o cristal é ligado a um gerador elétrico de pulsos de alta frequência, ele vibra, emitindo ondas sonoras para o material ensaiado. Por sua vez, quando recebe o estímulo, ou a pressão de ondas sonoras, surge em sua superfície cargas elétricas que podem ser interpretadas a partir de aparelhagem adequada.

3.4.2. Aparelhagem básica

Os três componentes básicos no ensaio por ultra-som são o aparelho de ultra-som, o acoplante e os transdutores, ou cabeçotes.

3.4.2.1. Aparelho de ultra-som

O aparelho de ultra-som possui circuitos eletrônicos que permitem transmitir ao cristal piezoelétrico, a partir de um cabo coaxial, pulsos elétricos controlados. Também recebe os sinais captados pelo cristal, mostrando-os numa tela, permitindo a interpretação pelo inspetor.

A calibração do aparelho é indispensável para a acuidade do ensaio. Sendo assim, deve se recalibrar o aparelho cada vez que o aparelho for desligado, houver troca de transdutores ou operadores, ou a cada 90 minutos de operação.

Todos os aparelhos de ultra-som, analógicos ou digitais, têm os seguintes controles básicos:

- Escolha da função: Para permitir a utilização de transdutores monocristal ou de duplo cristal;
- Potência de emissão: Diretamente relacionado com a amplitude de oscilação do cristal ou do tamanho do sinal transmitido;
- Ganho: Relacionado com a amplitude do sinal na tela ou da amplificação do sinal recebido;
- Escala: Graduações na tela do aparelho;
- Velocidade de propagação: Auxílio na calibração, para que a leitura seja precisa.

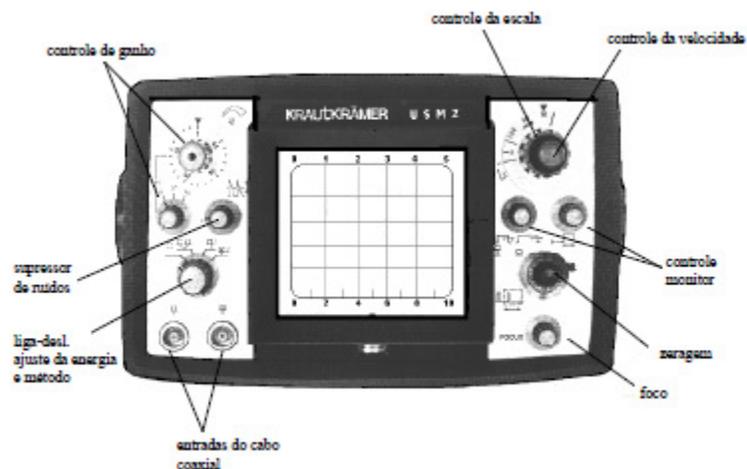


Figura 26 - Aparelho de ultra-som analógico, marca Krautkramer, modelo USM-2 (Todos os direitos reservados)

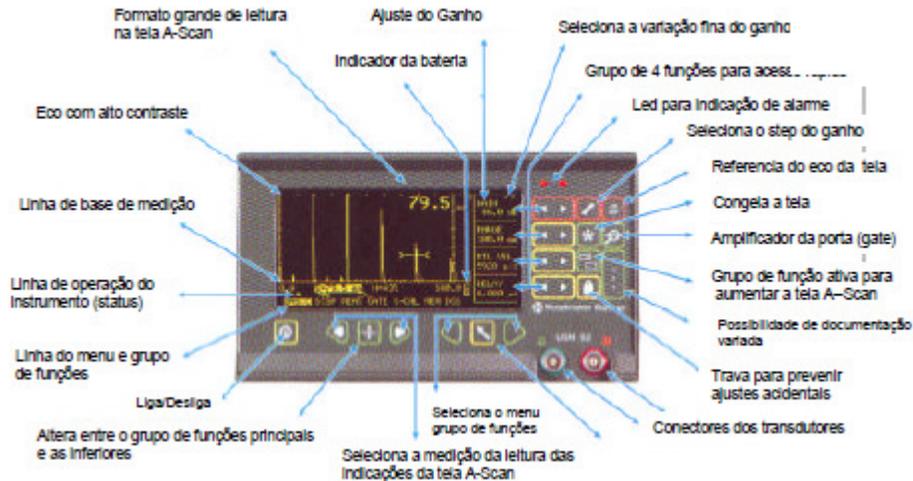


Figura 27 - Aparelho de ultra-som digital, marca Krautkramer, modelos USM-50 e USM-52 (Todos os direitos reservados)

3.4.2.2. Acoplante

O acoplante é qualquer substância (usualmente líquida, semi-líquida ou pastosa), introduzida entre o transdutor e a superfície da peça a ser inspecionada, com o objetivo de maximizar a eficiência da transmissão das vibrações de energia supersônica entre ambos.

Os acoplantes mais utilizados no ensaio por ultra-som são água, óleo, gel, graxa e metilcelulose. A escolha do acoplante deve ser baseada nas condições superficiais e no material da peça que será ensaiada.



Figura 28 - Metilcelulose, acoplante ideal para materiais não-ferrosos

3.4.2.3. Cabeçotes e transdutores

Os transdutores (cristais piezoelétricos) utilizados na construção dos cabeçotes de ultra-som são os responsáveis pela transmissão de energia mecânica para a peça, e também são eles que transformam a energia mecânica recebida no sinal elétrico que é visto na tela do aparelho.

- Cabeçote normal: É composto de um cristal piezoelétrico disposto em um plano alinhado ao plano da superfície da peça a ser examinada. Tem maior aplicação na detecção de descontinuidades na direção perpendicular à superfície da peça, como em chapas;

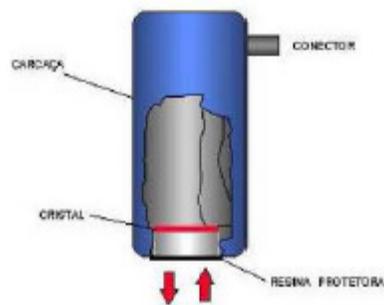


Figura 29 - Cabeçote normal

- Cabeçote de duplo cristal: Compõe-se basicamente de dois cristais piezoelétricos, um agindo como emissor e outro como receptor. Eles são dispostos em um plano aproximadamente paralelo ao da peça a ser examinada, ou focados num ponto situado a uma distância determinada. São ideais para detecção de descontinuidades próximas da superfície;

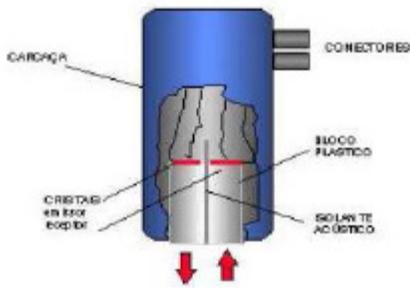


Figura 30 - Cabeçote de duplo cristal

- Cabeçote angular: Tem um cristal piezoelétrico disposto em ângulo em relação ao plano da peça a ser examinada. Os cabeçotes angulares mais usuais são os de 45°, 60°, 70°, 80°. Mais indicado para a inspeção de soldas.

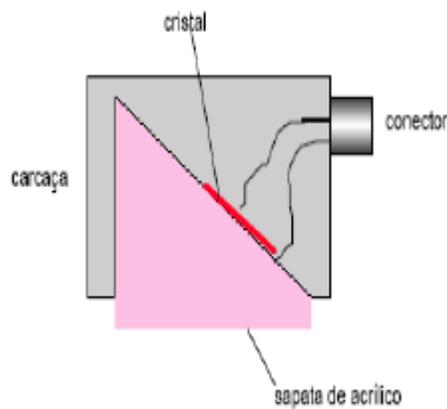


Figura 31 - Cabeçote angular

3.4.3. Técnicas de ensaio por ultra-som

Basicamente, existem três técnicas de inspeção: PE (Pulso-Eco), TOFD (time of Flight Diffraction) e Transparência. A técnica mais utilizada em indústrias é a técnica PE.

Entretanto, o desenvolvimento tecnológico vem trazendo novas alternativas, mais completas, para a inspeção por ultra-som.

3.4.3.1. Técnica PE (Pulso-Eco ou Impulso-Eco)

Nessa técnica, somente um transdutor (cristal piezoelétrico) é responsável pela emissão e recepção das ondas ultra-sônicas propagadas pela peça ensaiada. O transdutor é acoplado em apenas um lado do material.

Faz-se necessário a utilização de um acoplante (geralmente líquido) que facilite a transmissão de energia sônica entre transdutor e peça, já que o ar não tem propriedades tão favoráveis a esse propósito.

Os pulsos emitidos são refletidos quando encontram uma descontinuidade ou outra superfície da peça ensaiada, e estimulam o transdutor, gerando sinais elétricos. Pelo aparelho de ultra-som são interpretados esses impulsos, sendo possível assim a medição da profundidade, as dimensões e a localização de qualquer descontinuidade.



Figura 32 - Esquemática da técnica PE

3.4.3.2. Técnica TOFD (Time of Flight Diffraction)

Transdutores são divididos em transmissores e receptores nessa técnica. As ondas geradas são longitudinais, ou seja, com a vibração na mesma direção de propagação. A técnica é baseada no fenômeno da difração.

A difração ocorre nas pontas das discontinuidades que recebem as ondas longitudinais. As pequenas ondas emitidas nas pontas das discontinuidades vão para todas as direções, portanto não há a restrição angular percebida na técnica PE.

A profundidade das discontinuidades é obtida através da análise do tempo de trânsito (*time of flight*) das ondas difratadas e de equações trigonométricas simples (depende da geometria da peça).

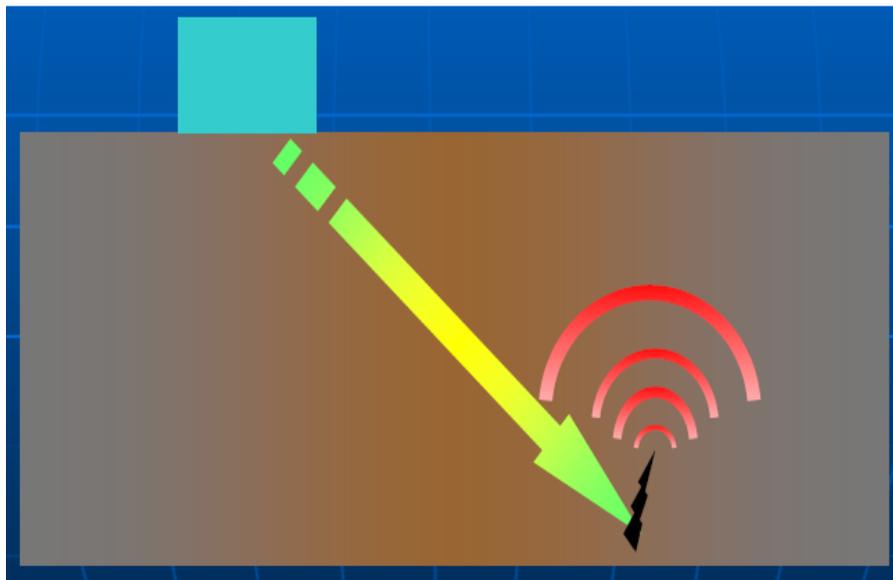


Figura 33 - Esquemática da difração de uma onda ao encontrar uma descontinuidade

A amplitude das ondas emitidas pela difração é muito menor do que a amplitude encontrada nas ondas refratadas (ou refletidas). Essa diferença é da ordem de 20 decibéis, e

implica que o receptor tenha uma sensibilidade boa o suficiente para interpretar as ondas difratadas.

3.4.3.3. Técnica da transparência

É uma técnica que utiliza dois transdutores (um emissor e outro receptor) acoplados aos dois lados da peça ensaiada. Para o sucesso dessa técnica, os transdutores devem estar perfeitamente alinhados.

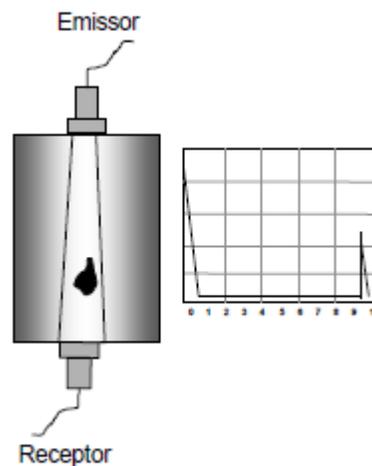


Figura 34 - Técnica da transparência

O intuito é prover um critério comparativo a partir do sinal recebido (altura do eco no aparelho de ultra-som), de tal maneira que uma determinada queda na indicação do aparelho de ultra-som indique a ausência de descontinuidades.

Assim, é impossível para o inspetor determinar as características das indicações (dimensões, posição e profundidade das descontinuidades), fazendo com que o laudo seja apenas do tipo aprovado/reprovado.

3.4.3.4. Técnica da imersão

Um transdutor PE à prova d'água, preso a um dispositivo, é livremente movimentado pelo tanque d'água onde se encontra a peça a ser ensaiada. Assim, o

acoplamento é favorável (e constante) e os graus de liberdade permitem uma avaliação mais completa, já que o feixe de entrada pode ser inserido a qualquer inclinação.

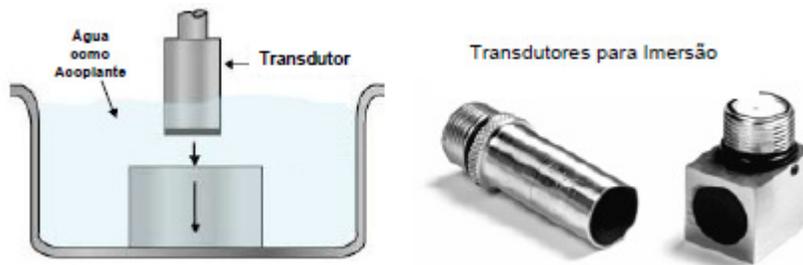


Figura 35 - Técnica de imersão e transdutores para imersão

3.4.3.5. Arranjo combinado (TOFD & PE)

Na análise de discontinuidades em soldas, o arranjo combinado TOFD & PE é ideal, já que as duas técnicas se complementam.

A técnica TOFD é mais abrangente sobre o volume de solda, mas tem “zonas mortas” próximas a superfície. Por sua vez, a técnica PE é mais restrita devido à inclinação de seu transdutor, mas identifica muito bem defeitos na superfície.

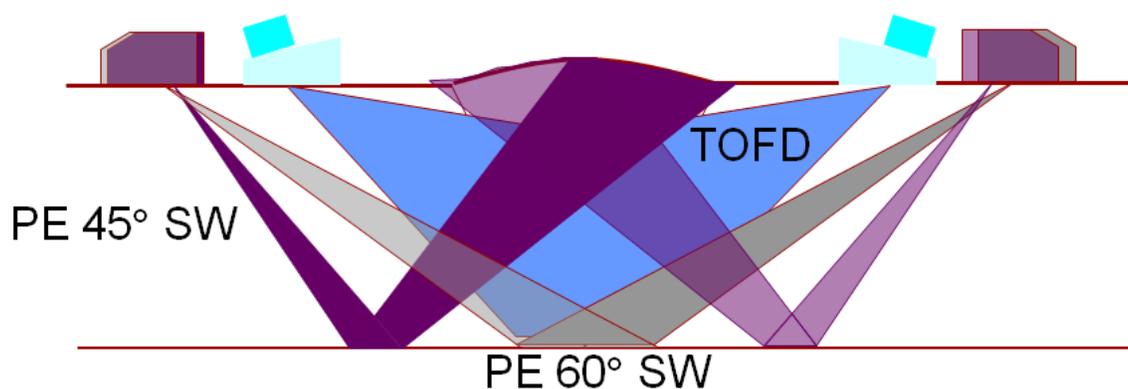


Figura 36 - Esquematização do arranjo combinado TOFD & PE

Assim, com um arranjo adequado, se cobre 100% do volume de solda. Isso minimiza o tempo do ensaio, facilita a identificação das características de descontinuidades quaisquer (superficiais ou não), podendo até substituir o exame radiográfico (segundo Code Case 2235 da norma ASME).

3.4.4. Aplicações do ensaio por ultra-som

São três as aplicações principais do ensaio por ultra-som no contexto do controle de qualidade.

3.4.4.1. Medição de espessura

O ensaio é feito normalmente com o auxílio de cabeçotes duplo-cristal. O ensaio é feito após calibração do aparelho, feito em blocos padrões de dimensões padronizadas, de material similar ao da peça a ser medida.



Figura 37 - Aparelho para medição de espessura por ultra-som

3.4.4.2. Detecção de dupla laminação

Ensaio feito em chapas, é muito útil na análise da orientação do plano de corte de chapas. Na técnica PE, é feito preferencialmente com o auxílio de cabeçotes normais e/ou de duplo cristal.

3.4.4.3. Inspeção de solda

É a modalidade do ensaio que visa detectar descontinuidades oriundas de operações de soldagem tais como falta de penetração, falta de fusão, inclusões de escória, porosidades, trincas, etc. É usualmente feito com cabeçotes angulares, utilizando-se a técnica PE.

Para facilitar a interpretação, costuma-se traçar, sobre a tela do aparelho, curvas de referencia, que servem para avaliar as descontinuidades existentes. Essas curvas são traçadas a partir de refletores padronizados, de acordo com a norma de projeto ou de construção/montagem do equipamento.

A aceitação ou não da peça após a inspeção depende das normas adequadas, procedimento escrito ou especificações do cliente. Ou seja, o inspetor é capaz de avaliar as características e os tipos das descontinuidades encontradas e, por critérios impostos, liberar ou não o prosseguimento dos processos de fabricação (ou montagem).

3.4.5. Vantagens

- Portabilidade;
- Segurança no uso;
- O ensaio é aplicável a peças de qualquer tipo de material;
- O acesso a uma superfície da peça ensaiada é suficiente para obter informações sobre a superfície oposta;
- Fornece informações completas sobre as descontinuidades encontradas, ou espessura procurada;
- Os resultados são obtidos logo após a realização do ensaio.

3.4.6. Limitações e desvantagens

- Custo da aparelhagem é alto;
- Algumas geometrias de peças não permitem o acoplamento ideal do cabeçote à peça;
- Qualificação de inspetores exige treinamento extenso, maior que para outros ensaios não-destrutivos;

- Interpretação dos resultados é complexa, depende muito da experiência e do conhecimento dos inspetores;
- A melhor detecção da descontinuidade depende da orientação do defeito na solda, ou seja, mesmo inspetores experientes podem ter dificuldades para interpretar os resultados com precisão.

3.5. RADIOLOGIA INDUSTRIAL

Esse ensaio não-destrutivo fundamenta-se na capacidade que os raios X e gama possuem de penetrar em sólidos. Capacidade essa que é resultado da soma de vários fatores, como comprimento de onda da radiação, tipo e espessura do material, etc.

A inspeção é baseada na mudança da atenuação da radiação eletromagnética (raios X ou gama) causada pela presença de descontinuidades internas, quando a radiação passar pelo material e deixar sua imagem gravada num filme, sensor radiográfico ou intensificador de imagem.

A radiografia foi o primeiro método de ensaio não destrutivo introduzido na indústria para descobrir e quantificar defeitos internos em materiais. Seu enorme campo de aplicação inclui o ensaio em soldas de chapas para tanques, navios, oleodutos, plataformas *offshore*; uma vasta aplicação em peças fundidas principalmente para as peças de segurança na indústria automobilística; produtos moldados, forjados, materiais compostos, plásticos, componentes para engenharia aeroespacial, etc.



Figura 38 - Radiologia industrial aplicada à aeronáutica

Atualmente, a radiologia industrial abrange diferentes técnicas:

- Radiografia: é a técnica convencional de inspeção, por análise de filme radiográfico, tendo como fonte de radiação raios-X gerados por uma ampola metálica ou de vidro. Um filme mostra a imagem de uma posição de teste e suas respectivas descontinuidades internas;
- Gamagrafia: análoga à radiografia, sua fonte de radiação é um componente radioativo (por definição, isótopo radioativo) que pode ser o Iridio, Cobalto, ou Selênio;
- Radioscopia: nessa técnica, a peça é manipulada a distância dentro de uma cabine a prova de radiação, proporcionando uma imagem instantânea de toda peça em movimento (portanto, tridimensional), através de um intensificador de imagem acoplado a um monitor de TV. Imagens da radioscopia agrupadas digitalmente de modo tridimensional em um *software* possibilitam um efeito de cortes, mostrando as descontinuidades em três dimensões (“tomografia industrial”).

No contexto das indústrias mecânicas pesadas nacionais, a radiografia é a técnica mais difundida da radiologia industrial, seguida pela gamagrafia.

3.5.1. Conceitos ligados à radioatividade

Radioatividade é, por definição, a emissão espontânea de radiação de um núcleo que se encontra num estado excitado de energia. Existem três tipos diferentes de radiação:

- Partículas alfa (α): Compostas por dois prótons e dois nêutrons (núcleo do Hélio). Possuem carga positiva (+2). São desviadas por campos elétricos e magnéticos;
- Partículas beta (β): Elétrons de alta energia ou pósitrons emitidos de núcleos atômicos num processo conhecido como decaimento beta. Possuem carga elétrica negativa. Também são desviadas por campos elétricos e magnéticos e são mais penetrantes que as partículas alfa;
- Raios gama (γ): Tipo de radiação eletromagnética geralmente produzida por elementos radioativos. Por causa das altas energias que possuem, raios gama constituem um tipo de radiação ionizante capaz de penetrar na matéria mais profundamente que partículas alfa ou beta. Não são desviados por campos elétricos ou magnéticos.

Dessa maneira, é possível separar os três tipos de radiação pela aplicação de um campo elétrico (ou magnético) numa amostra de material radioativo, conforme esquema na figura abaixo.

3.5.1.1. Ondas eletromagnéticas

As ondas eletromagnéticas são resultantes da combinação entre um campo elétrico e outro magnético, que oscilam perpendicularmente um ao outro, transportando energia. Não necessitam de um meio material para se propagarem, ou seja, podem se propagar até no vácuo.

Ondas eletromagnéticas, ou radiação eletromagnética, são classificadas de acordo com a frequência de onda. Em ordem crescente de frequência, temos: Ondas de rádio, microondas, radiação terahertz (raios T), radiação infravermelha, luz visível, radiação ultravioleta, raios-X, radiação gama.

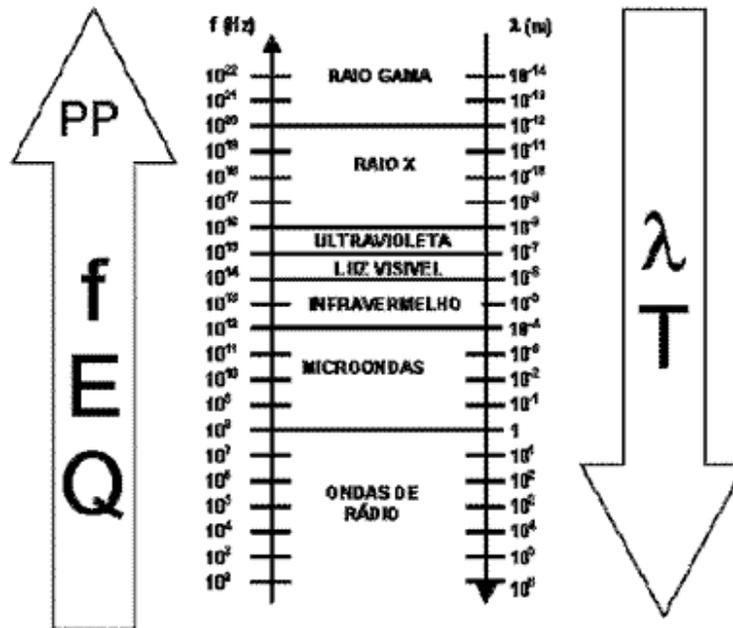


Figura 39 – Escala representativa de diversas ondas eletromagnéticas

3.5.1.2. Raios-X

Os raios-X são ondas eletromagnéticas produzidas eletricamente, formados a partir da interação de elétrons de alta velocidade com a matéria. Seu comprimento de onda varia de 0,05 angstrom até centenas de angstroms.

Quando elétrons com suficiente energia colidem com elétrons de um átomo, podem ser gerados raios-X característicos. Cada elemento químico, quando atingido por elétrons em alta velocidade, emite os seus raios-X característicos.

Analogamente, quando elétrons com suficiente energia colidem com o núcleo de um átomo, são gerados raios-X contínuos. Essa denominação vem do fato de que o espectro de energia desses raios-X é contínuo.

As condições necessárias para a geração de raios-X são:

- Fonte de elétrons;
- Alvo para ser atingido pelos elétrons (foco);

- Acelerador de elétrons na direção desejada.

3.5.1.3. Raios gama

Os isótopos de alguns elementos químicos têm seus núcleos em estado de desequilíbrio, devido ao excesso de nêutrons. Tendem, portanto, a evoluir para uma configuração mais estável, de menor energia.

As transformações nucleares são sempre acompanhadas de uma emissão intensa de ondas eletromagnéticas, denominadas raios gama. Os raios gama compartilham das mesmas propriedades dos raios-X, mas possuem um baixo comprimento de onda (e alta frequência – da ordem de 10^{21} hertz).

As poucas fontes radioativas seladas usadas na indústria moderna para emissão de raios gama são:

- Cobalto-60 (^{60}Co , número atômico 27);
- Irídio-192 (^{192}Ir , número atômico 77);
- Túlio-170 (^{170}Tm , número atômico 69);
- Césio-137 (^{137}Cs , número atômico 55);
- Selênio-75 (^{75}Se , número atômico 34).

O Cobalto-60 e o Irídio-192 são os isótopos mais utilizados, sendo que o Selênio-75 vem ganhando espaço atualmente, por proporcionar imagens de alta qualidade.

3.5.1.4. Comparação entre raios-X e raios gama

A principal diferença entre raios X e gama é a adaptabilidade. Enquanto é possível se regular a tensão anódica e, por conseqüência, o poder de penetração dos raios-X, as características de onda dos raios gama são imutáveis (dependem apenas do isótopo utilizado).

O principal objetivo da radiologia industrial é proporcionar imagens de qualidade elevada, de forma que facilite a análise requerida. Sob esse aspecto, os raios-X são mais adequados do que os raios gama.

Entretanto, existem características que fazem com que os raios gama apresentem interesse prático:

- Portabilidade da fonte radioativa (facilita acesso e posicionamentos);
- Emissão espontânea de radiação (não requer energia elétrica);
- Maior poder de penetração (para peças cuja espessura exceda 90 milímetros, o poder de penetração dos raios-X convencionais não é suficiente).

3.5.2. Aparelhagem básica

3.5.2.1. Equipamentos de raios-X

O componente básico para geração de raios-X industriais é o tubo de Coolidge, ampola de vidro composta de duas partes:

- Ânodo: ligado ao pólo positivo, é composto por uma pequena parte de tungstênio denominada alvo.
- Cátodo: ligado ao pólo negativo, composto por um pequeno filamento por onde passa corrente elétrica da ordem de miliampères (fonte de elétrons).

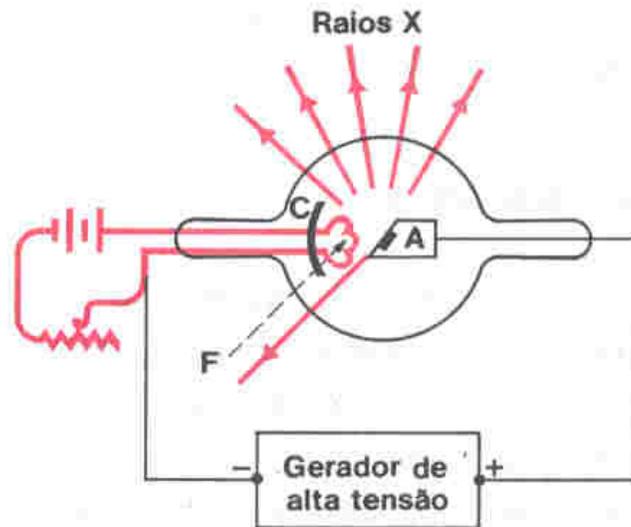


Figura 40 - Esquemática básica de um tubo de Coolidge

Quando o tubo é ligado, a corrente elétrica do filamento se aquece e passa a emitir espontaneamente elétrons, que são atraídos e acelerados em direção ao alvo. Nesta interação dos elétrons com os átomos de tungstênio ocorre a desaceleração repentina dos elétrons, transformando a energia cinética adquirida em raios-X.

Os equipamentos de raios-X industriais são usualmente compostos por duas partes: O painel de controle e o cabeçote.

O painel de controle é o conjunto de componentes responsável pelo acionamento do aparelho e ajuste de voltagem e amperagem. Fazem parte desse painel todos os controles, chaves, indicadores e medidores, além do equipamento do circuito gerador de alta voltagem.

No cabeçote estão alojados a ampola e os dispositivos de refrigeração. A refrigeração da ampola pode ser feita por irradiação, convecção ou circulação forçada de água. A conexão entre painel de controle e cabeçote se faz por cabos especiais de alta tensão.



Figura 41 - Inspeção radiográfica de tubos

As principais características de um equipamento de raios-X, que determinam sua capacidade de operação e, por conseqüência, sua aplicação prática, são:

- Tensão (expressa em quilovolts) e corrente elétrica (expressa em miliamperes) máxima;
- Tamanho do ponto focal (ou alvo) e tipo de feixe de radiação (forma geométrica do ânodo);
- Peso do equipamento.

Raios-X podem ser gerados também a partir de equipamentos conhecidos como aceleradores lineares, aparelhos similares aos convencionais, com a diferença que os elétrons são acelerados por ondas elétricas de alta frequência, adquirindo altas velocidades ao longo de um tubo retilíneo. São equipamentos mais robustos, de custo elevado, mas têm aplicação na inspeção de peças de espessura maior que 100 milímetros.



Figura 42 - Acelerador LINAC, da Mitsubishi (Todos os direitos reservados)

3.5.2.2. Equipamentos de raios gama

O equipamento básico de raios gama industriais é denominado irradiador. Sua função é fornecer blindagem contra a radiação que é constantemente emitida da fonte, mas permitir que a fonte seja retirada de seu interior para a realização da gamagrafia.

Um irradiador é composto de três partes: A blindagem, a fonte radioativa (item já abordado) e um mecanismo que permita que a fonte seja retirada da blindagem.

A blindagem pode ser construída de diversos materiais. Geralmente, ela é construída a partir de chumbo ou urânio exaurido, inserida dentro de um recipiente externo de aço (para protegê-la contra choques mecânicos). É importante notar que cada blindagem é dimensionada de acordo com a fonte radioativa que irá abrigar.

Os dispositivos para a retirada da fonte podem ser mecânicos, de acionamento elétrico, manual, ou pneumático, desde que permitam que o operador exerça sua função a uma distância segura da fonte.

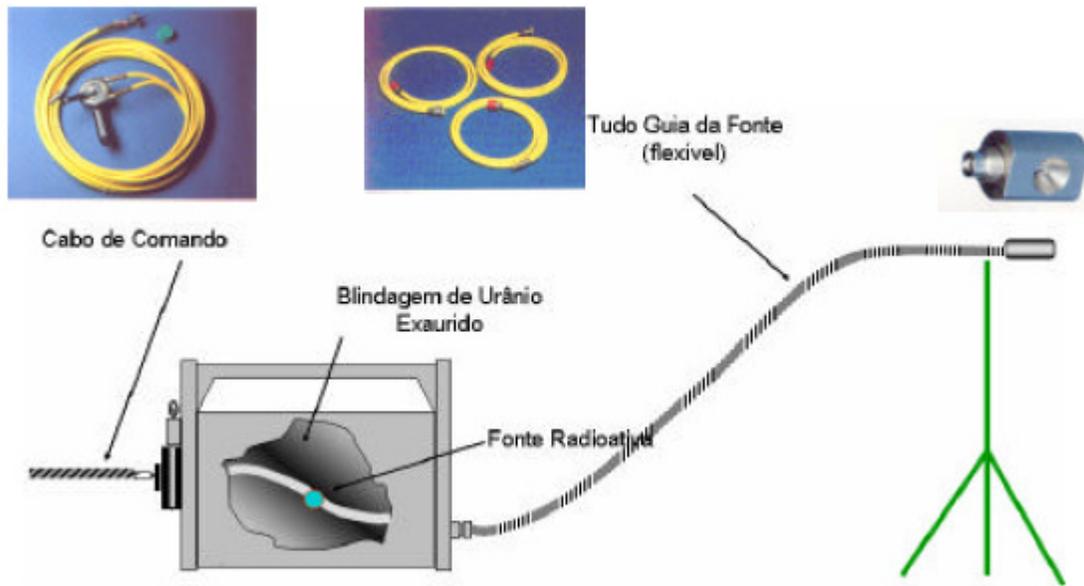


Figura 43 - Esquemática de um irradiador gama industrial

3.5.2.3. Filmes Radiográficos

Os filmes radiográficos são constituídos de uma fina chapa de plástico transparente (a base) revestida por uma emulsão de gelatina composta por finos grãos de brometo de prata. Esse revestimento tem, em média, 0,025 milímetros de espessura.

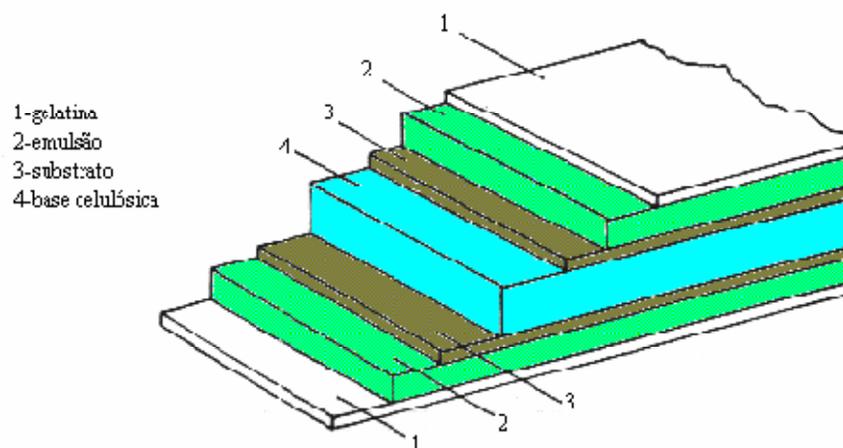


Figura 44 - Esquemática de um filme radiográfico

Os cristais (grãos) de brometo de prata, ao serem expostos à luz visível, raios-X ou raios gama, sofrem uma reação que os tornam mais sensíveis ao processo químico da revelação (os converte em depósitos negros de prata metálica).

Assim, a exposição à radiação cria uma imagem latente no filme, e a revelação torna essa imagem visível. Quando o inspetor interpreta uma radiografia, ele está vendo os detalhes da peça em termos da quantidade de luz que passa a partir do filme revelado.

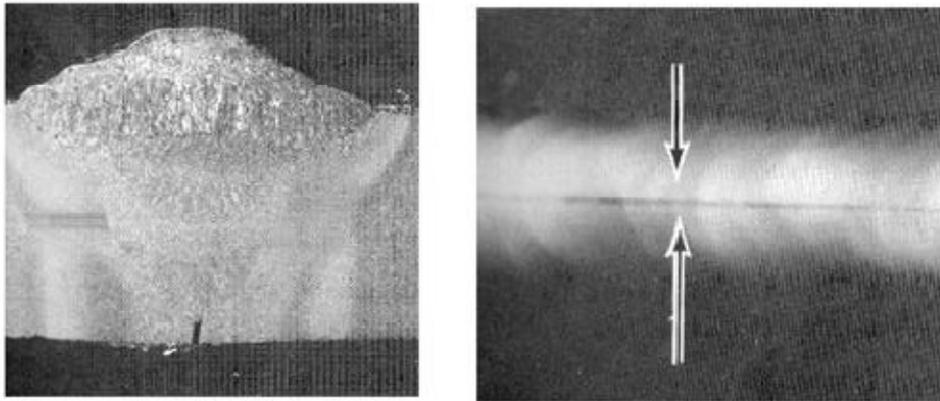


Figura 45 - Foto (esquerda) e imagem radiográfica (direita) de uma junta soldada com falta de penetração

Define-se densidade, nesse contexto, como o grau de enegrecimento do filme. A densidade é medida a partir de aparelhos chamados densitômetros, que podem ser eletrônicos ou de fita. O contraste entre áreas de alta e baixa densidade compõe a imagem do objeto radiografado.

Áreas de alta densidade, ou seja, expostas a grandes quantidades de radiação, aparecem com coloração cinza escuro. Áreas de baixa densidade, por sua vez, têm coloração cinza clara na exposição à luz visível.

Para minimizar o tempo de exposição das peças ensaiadas à radiação e proteger o filme contra radiações dispersas, pode usar telas intensificadoras, geralmente de chumbo. Isso ajuda a garantir a nitidez (e conseqüentemente, a qualidade) da imagem radiográfica.

3.5.3. Processamento do filme radiográfico

Existem dois tipos de processamento para o filme radiográfico: O automático e o manual. O custo-benefício do processamento automático só é vantajoso para situações onde haja grande volume de trabalho, caso de clínicas médicas. No contexto de indústrias mecânicas pesadas, onde os ensaios por radiologia só ocorrem em poucas e pré-determinadas fases da fabricação, faz-se o processamento manual dos filmes radiográficos.

O processamento manual consiste de cinco etapas:

- Revelação: Reação química entre o revelador (geralmente composto de sais, como sulfito de potássio) e o brometo de prata contido no filme. A imagem é formada porque o revelador tem a propriedade de interagir diferentemente com grãos de brometo de prata que foram expostos a diferentes níveis de radiação;
- Banho de parada: Após a revelação, tira-se o excesso do revelador sacudindo o filme. Mesmo assim, os resíduos que ficam são suficientes para continuar reagindo com o filme, causando manchas na imagem. Para garantir uma revelação homogênea, sem as manchas, deixa-se o filme descansando numa mistura de água com ácido acético (ou ácido glacial) por cerca de 40 segundos;
- Fixação: O filme é colocado num tanque com um composto denominado fixador, que tem a propriedade de remover o brometo de prata da porção não-exposta à radiação, sem prejudicar a parcela exposta. Para uma boa fixação o filme deve ficar nesse tanque por, em média, 15 minutos;
- Lavagem: O filme deve ser lavado com água corrente, para que todo o fixador seja removido. Sucessivos banhos de água devem ser realizados (lembrar-se que a água deve ser trocada a cada novo banho) por aproximadamente 30 minutos (de quatro a oito trocas de água do tanque);
- Secagem.

3.5.4. Instalações e proteção radiológica

As radiações provenientes de raios-X e raios gama têm ação nociva sobre o organismo humano. Os efeitos dependem da quantidade de raios a que o corpo é exposto. Os sintomas observados, na ordem crescente de exposição:

- Dores de cabeça;
- Falta de apetite;
- Diminuição de glóbulos vermelhos no sangue;
- Esterilidade;
- Destruição de tecidos.
- Morte.

Por esse motivo, o processo da radiologia industrial deve ser cercado por várias medidas de segurança, tanto em relação ao pessoal envolvido quanto com as instalações. Todos os trabalhadores envolvidos devem ter qualificação da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). O treinamento requerido prevê adequação a cada situação específica, ou seja, áreas a serem isoladas, controles a serem efetuados, etc.

Já as instalações devem ser dotadas de determinados itens, para garantir a segurança e saúde dos profissionais que ali trabalham. São eles:

- Blindagem de paredes e portas;
- Sinalização luminosa;
- Interruptores na sala onde o equipamento se encontra (interrupção de emergência);
- Medidores de radiação (contador Geiger, canetas dosimétricas, etc.);
- Plano de Proteção Radiológica de acordo com as atividades realizadas.



Figura 46 - Instalação para radiografia industrial (Cabine JV 160G, da Julio Verne Automação – Todos os direitos reservados)

3.5.5. Vantagens

- Registro permanente dos resultados;
- Detecção eficaz de defeitos volumétricos (porosidades, inclusões).

3.5.6. Limitações e desvantagens

- Custo alto de equipamento e material de consumo;
- Deslocamento da peça para as instalações é trabalhosa e interrompe os processos de fabricação (trabalhos próximos devem ser interrompidos, caso o equipamento seja portátil);

- A radioatividade pode ser perigosa e causar danos graves à saúde, se todos os cuidados necessários não forem tomados;
- Determinadas geometrias podem dificultar a realização do ensaio.

3.6. INSPEÇÃO DIMENSIONAL/ENSAIO POR METROLOGIA

O ensaio por metrologia, mais conhecido por inspeção dimensional, apesar de mais simples, é tão importante no controle de qualidade quanto os outros ensaios acima descritos. Consiste na medição das peças (ou chapas, equipamentos, etc.) para a verificação de sua conformidade em relação a parâmetros definidos por norma e/ou pedidos do cliente.

Os requisitos básicos para que se faça uma inspeção dimensional adequada são:

- Definição de unidades padronizadas;
- Instrumentos bem calibrados em termos dessas unidades.

Os instrumentos de medição podem variar desde os mais simples (trena), passando por paquímetro e micrômetro, até máquinas tridimensionais associadas a sistemas computadorizados.



Figura 47 - Inspeção dimensional por trena

A grande vantagem da inspeção dimensional é a menor dependência de experiência dos inspetores. Em contrapartida, a inspeção é extremamente dependente da calibração dos instrumentos de medição.

Os maiores problemas encontrados em ambientes industriais (“chão de fábrica”) são a manipulação errônea e o descuido com os instrumentos de medição, causando perda da calibração ou, em casos mais extremos, da própria funcionalidade do instrumento.

3.7. OUTROS ENSAIOS

Os ensaios descritos acima são os mais utilizados nas indústrias mecânicas pesadas. Entretanto, existem outros ensaios não-destrutivos aplicáveis, como o teste por emissão acústica, a termografia, etc. Entre eles, merecem destaque:

- Teste por pontos: Ensaio aplicável quando se deseja identificar (confirmar) a composição de metais e ligas metálicas. O reconhecimento da composição é feito a partir da identificação de suas propriedades químicas, verificadas pela

capacidade de reação (espontânea ou forçada) quando na presença de certas soluções químicas;

- Positive Material Identification (PMI): O objetivo desse ensaio não-destrutivo é o mesmo que o do teste por pontos. A análise química dos materiais, nesse caso, é feita por um espectrômetro por fluorescência de raios-X portáteis. Por ser portátil, e não requerer corpos de prova, geralmente é mais vantajoso que o teste por pontos, apesar do custo mais elevado do equipamento;



Figura 48 - Verificação por PMI

- Teste de estanqueidade: A estanqueidade deve ser perfeita em peças que abriguem substâncias tóxicas, como tanques e tubulações. Portanto, o objetivo principal desse ensaio é a detecção de defeitos passantes em soldas, chapas e fundidos. Existem vários métodos para checar a estanqueidade de componentes industriais (medição de pressão ou vácuo com alta precisão, método da bolha, método da variação de pressão, etc.);



Figura 49 - Teste de estanqueidade em uma conexão

- Teste por correntes parasitas: O campo magnético gerado por uma sonda ou bobina alimentada por corrente alternada produz correntes induzidas (correntes parasitas) na peça sendo ensaiada. A presença de descontinuidades superficiais e sub-superficiais, assim como mudanças nas características físico-químicas ou da estrutura do material alteram o fluxo das correntes parasitas, possibilitando a sua detecção.

4. O CONTROLE DA QUALIDADE NA CONFAB EQUIPAMENTOS

4.1. DIVISÃO INTERNA

Como todas as grandes indústrias mecânicas pesadas, a Confab Equipamentos destaca um largo contingente para o setor do Controle da Qualidade, composto por inspetores, técnicos, supervisores, auditores, etc.

Pode-se entender melhor a distribuição das responsabilidades desse setor a partir de análise de seu organograma (retratando divisão no nível gerencial, em janeiro de 2010).

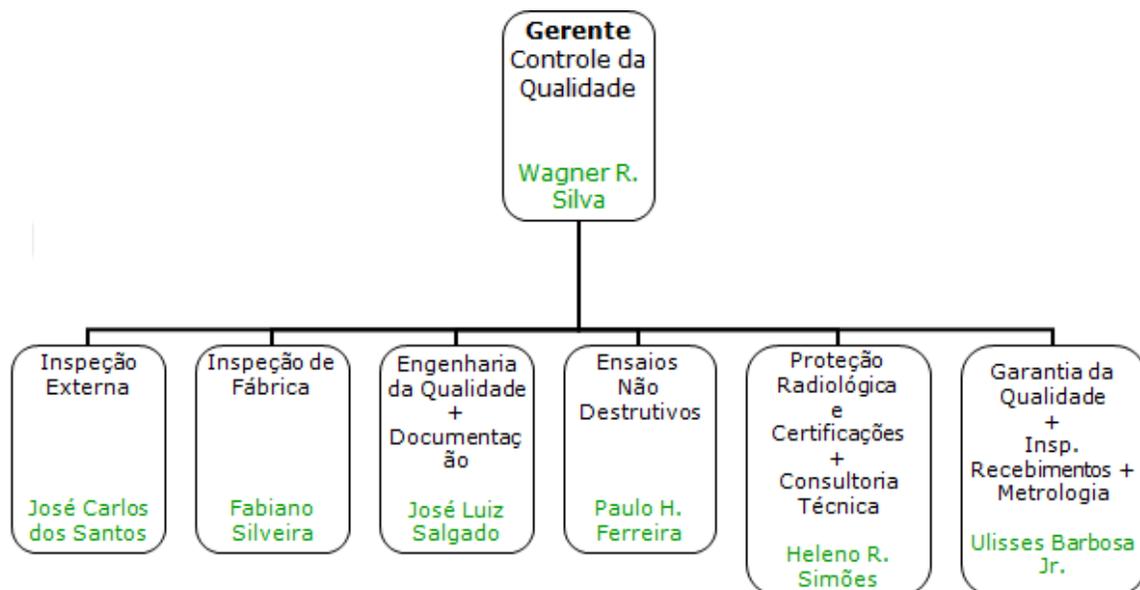


Figura 50 - Organograma do CQ - jan/2010

- Engenharia da Qualidade: Cuida da confecção dos planos de inspeção e testes (PITs), documento principal emitido pelo Controle da Qualidade;
- Inspeção de Recebimentos: A inspeção de recebimentos é uma etapa de verificação dos materiais que chegam à empresa e que serão efetivamente utilizadas na confecção do produto final;

- Inspeção de Fábrica: Setor que organiza e realiza a parte de inspeções de solda, pintura, jateamento, etc.
- Inspeção Operacional: Setor que organiza e realiza a parte de inspeção compreendida pelos ensaios não-destrutivos;
- Documentação: O objetivo principal desse setor é compilar os *Data Books* relativos a cada obra. Nesses *books* constam todos os documentos importantes requeridos por normas e/ou pelo cliente (listas de materiais, desenhos, relatórios, etc.);
- Metrologia: Toda a parte de medição, aferição, calibração e relatórios de calibração de instrumentos utilizados é responsabilidade do setor;
- Garantia da Qualidade: Responsável por proporcionar um sistema estruturado e organizado, gestão sobre os processos e procedimentos.

4.2. ENGENHARIA DA QUALIDADE

O principal documento emitido pelo Controle da Qualidade é o Plano de Inspeção e Testes, ou PIT. Esse documento é de suma importância porque compila todas as etapas de inspeção que devem ser cumpridas durante uma obra. Ou seja, desde o projeto, passando pela produção, até a entrega do produto.

O PIT deve apresentar linguagem técnica compreensível aos diferentes setores de fabricação e inspeção, pois é disponibilizado pelo chão de fábrica junto com outros documentos.

A primeira contribuição do Controle de Qualidade para a empresa vem bem antes do início da obra. Antes mesmo de o contrato ser firmado, na etapa comercial (cotação do serviço) é necessário que se faça uma estimativa de todos os custos que serão envolvidos para garantir a qualidade do produto final. Essa cotação, feita pelos supervisores, envolve cálculo-base de matéria-prima requerida, homens/hora, etc. e é feita a partir de experiências passadas.

O responsável pela elaboração do PIT se baseia em análise dos requisitos do cliente (no caso da Petrobras, engloba a Requisição de Material – RM, o Pedido de Compra e Serviços – PCS e as Especificações Técnicas – ETs), em normas (Petrobras, ASME, EWS, API, etc.) e em experiências passadas.

PETROBRAS		PLANO SEQUENCIAL DE FABRICAÇÃO E TESTE		Nº	ET-5210.00-2315-570-FAB-301		REV.	0
OBJETO:		AS-ME UN-04-PC - CARTERA DE GASOLINA			FOLHA		5/16	
TÍTULO:		SEGUNDO REATOR DE HIDROTREATAMENTO R-2315-04						
ATIVIDADES DE INSPEÇÃO E TESTES		DOCUMENTOS APLICÁVEIS		QC C/F	PC-CONFORME	PS-PPSC	Relatório(s) Requerido(s)	
FABRICAÇÃO DO COSTADO								
0.0	CONFORMAÇÃO DAS VIROLAS DO COSTADO - VERIFICAÇÃO DIMENSIONAL	DESENHOS APROVADOS / ASME VIII DIV 2-ED-04-AD-05 N-258 F / CO-EG-004 rev.3 Tolerâncias dimensionais folha 14		HP	W/P			
0.1	*** VER NOTA 10 NA PÁGINA 16							
0.2	CONTROLE E SPECIFICAÇÃO MÍNIMA DE PRODUTO DA VIROLA	DESENHOS APROVADOS / ASME VIII DIV 2-ED-04-AD-05 N-258 F / CO-EG-004 rev.3 Tolerâncias dimensionais folha 14		HP	W/P			X
0.2	***Atentar para o ajustamento do CLAD antes da soldagem do metal base - fazer ataque químico para verificação da eliminação do clad							
0.2	***Atentar para a avaliação das entalhas dos sistemas para uma perfeita montagem.							
0.4	MONITORAMENTO DOS TRÁNSITOS DE SOLDAÇÃEM CIRCUNFERENCIAL E LONGITUDINAL DO METAL BASE - ***Desbastar as soldas internas ao nível do metal base .	WPS e Plano de Solda Aprovado DESENHOS APROVADOS Ver nota 6 - folha 15		W/P	W/P			X
0.5	EXAMES VISUAL E DIMENSIONAL DAS SOLDAS DO METAL BASE.	DESENHOS APROVADOS / ASME VIII DIV 2-ED-04-AD-05 N-258 F / N-133 J / WPS e Plano de Solda Aprovado COEQM-015 rev.10 / Tolerâncias dimensionais folha 14		HP	W/P			X
0.5	***As soldas devem ser examinadas antes da aplicação do revestimento para eliminar qualquer tipo de contaminação tais como: óleos, graxa, soldagem e materiais em geral.							
0.5	EXAMES NÃO DESTRUTIVOS NAS SOLDAS DO METAL BASE- VER TABELA END	I-ET-5210.00-2315-500-PPC-005-REV.B ASME VIII Div 2 - ED-04-AD-05 Procedimentos CONFAB - ver tabela de END-folha 16		HP	HP			X
0.5	***Inspeções após os DNTs, as especificações devem ser limpas para remoção de resíduos dos materiais usados nos exames.							
0.7	PMT - IDENTIFICAÇÃO POSITIVA DO MATERIAL (das soldas do metal base) ***Análise qualitativa - quantidade dos principais elementos de liga (Cr / Ni) da solda do metal base. (Características de análise - 05 por solda longitudinal e circunferencial)	I-ET-5210.00-2315-500-PPC-005-REV.B-Item-7.5 Ver notas 7 - folha 15		HP	HP			X
0.8	EXAMES VISUAL E DIMENSIONAL DO COSTADO MONTADO	DESENHOS APROVADOS / ASME VIII DIV 2-ED-04-AD-05 N-258 F / CO-EG-004 rev.3 Tolerâncias dimensionais folha 14		HP	HP			X
0.9	MONITORAMENTO DOS TRÁNSITOS DE COMPLEMENTAÇÃO DO CLAD POR OVERLAY NAS REGIÕES DAS SOLDAS DO METAL BASE. ***Executar LP após completar primeira e segunda camada do revestimento.	WPS e Plano de Solda Aprovado / DESENHOS APROVADOS Ver notas 6 , 7, 8, 9, 10, folha 15		W/P	W/P			X
0.10	ANÁLISE QUÍMICA - O CONTROLE DE FERRO DO REVESTIMENTO PARA RECOMPOSIÇÃO DO CLAD. *** Fazer amostras para análise em duas profundidades sendo - 1,5mm da superfície e a partir de 1,5mm até 3,0mm. O teor de ferro deve ser determinado pelo diagrama WTC DELTA FERRITE DIAGRAM e deve estar com FN de 300	I-ET-5210.00-2315-500-PPC-005-REV.B-Item-6.2.2 ENCL. GENERAL IT-060707 Rev. 1 ASME SEC. III DIV. 1-SUBSECTION NB- ARTICLE NB-2000 - FIG.NB-2433.1-1-WRC DELTA FERRITE DIAGRAM.		HP	HP			X
0.11	EXAMES VISUAL E DIMENSIONAL DO COSTADO MONTADO ***Verificar a realização do revestimento nas regiões onde foram retiradas as amostras para análise química.	DESENHOS APROVADOS / ASME VIII DIV 2-ED-04-AD-05 N-133 J / COEQM-015 rev.10 WPS e Plano de Solda Aprovado		W/P	W/P			X
0.12	EXAMES NÃO DESTRUTIVOS NAS SOLDAS DO REVESTIMENTO - VER TABELA END ***Inspeções após os DNTs, as especificações devem ser limpas para remoção de resíduos dos materiais usados nos exames.	I-ET-5210.00-2315-500-PPC-005-REV.B ASME VIII Div 2-ED-04-AD-05 Procedimentos CONFAB - ver tabela de END-folha 16		HP	HP			X
0.13	PMT - IDENTIFICAÇÃO POSITIVA DO MATERIAL (do revestimento) ***Análise qualitativa para confirmação de liga SS-317. Características de análise - 05 por solda do revestimento.	I-ET-5210.00-2315-500-PPC-005-REV.B-Item-7.5 Ver notas 7, 8- folha 15		HP	HP			X
0.14	MEDIDA DO CONTEÚDO DE FERRITA COM FERROSCOPIO PORTÁTIL NO REVESTIMENTO. ***Medido das tiras: 05 para cada junta circunferencial e longitudinal	I-ET-5210.00-2315-500-PPC-005-REV.B-Item-7.7		HP	HP			X
0.15	VISUAL E DIMENSIONAL FINAL DO COSTADO COM REGISTRO	DESENHOS APROVADOS / ASME VIII DIV 2-ED-04-AD-05 N-258 F / CO-EG-004 rev.3 Tolerâncias dimensionais folha 14		HP	HP			X

Figura 51 - Plano de Inspeção e Testes (PIT)

A participação do cliente durante as etapas de inspeção também é prevista no PIT. Os clientes podem exigir, dependendo do nível crítico da etapa de inspeção, a confecção de relatórios, acompanhamento simples ou, em alguns casos, a parada completa das atividades referentes àquela obra (geralmente, produção) até que seja dado o aceite pelos inspetores enviados pelo cliente.

Se alguma não-conformidade for detectada em qualquer etapa de inspeção (defeitos de solda, virolas mal dimensionadas, pintura não-aderente, p.e.) e não houver como contorná-la sem que haja retrabalho que impeça o andamento normal da produção, abre-se um Relatório de Não-Conformidades (RNC).

 Relatório de Não Conformidade Nonconformity Report		RNC: NCR: 042/09 TIPO: TYPE: 9
Desenho/posição/material/peça : 87288AA-CON-10DE001 Rev. " E " / (Instrução técnica nr. MEPR_87288AA_IT-058/09 - rev.0) Drawing/positio/material/part PB nr: DE-5295.00 -2222-570-FAB-001		
Obral/Item : 87288AA Job/Item	Departamento responsável : PROJETOS Department responsible	
Cliente : AB - RE / UN - REPAR Client	Tag número: ZONA DE REDUÇÃO / R -2222001/002/003 Tag number	
Descrição da não conformidade: VAZAMENTO ENTRE OS REATORES PELAS TAMPAS INTERMEDIÁRIAS PROVISÓRIAS DURANTE O TESTE HIDROSTÁTICO ALTERANDO AS PRESSÕES ESPECIFICADAS. (o início da pressurização foi as 18:00h. Houve queda de energia elétrica das 16:15 as 16:45 h) Description of nonconformity : FALHA NO TRANSDUTOR (NA ZONA DE REDUÇÃO) QUE EMITE SINAL PARA O REGISTRADOR.		
<p>1) O transdutor utilizado na ZONA DE REDUÇÃO não emitiu sinal para o registrador. (pressão de teste especif 69,03Kg/cm²) CONCLUSÃO: Não houve emissão do gráfico e a pressão do teste foi verificada visualmente através dos manômetros pela inspeção BV/CONFAB com registro fotográfico, todos os demais parâmetros foram atendidos.</p> <p>2) O reator de TAG R-2222001 atingiu a pressão de teste especificada (37,66Kg/cm²) as 17:42 h, sofreu queda e elevação gradual de pressão durante 14 minutos (até 17:56 h) sendo 35,58 kgf/cm² o menor valor registrado nesse intervalo. A partir das 17:56 h até as 18:53 h (57 minutos), a pressão ficou entre 36,58 e 36,67Kg/cm² (pressão média 36,62 Kg/cm²). CONCLUSÃO: Pressão de teste 2,76% abaixo do especificado mantido nesse patamar por 57minutos.</p> <p>3) O reator de TAG R-2222002 atingiu a pressão de teste especificada (35,34Kg/cm²) as 17:41 h e até as 18:59 h (1h 18min.) sofreu elevação gradual de pressão sendo 36,8 Kg/cm² o maior valor registrado nesse intervalo de tempo. CONCLUSÃO: Pressão do teste chegou a 4,2% acima do especificado.</p> <p>4) O reator de TAG R-2222003 atingiu a pressão de teste especificada (32,01Kg/cm²) as 16:58 horas, sofrendo elevação gradual de pressão durante 1 hora e 55 minutos chegando a pressão máxima de 36,74 Kg/cm² as 18:53 h decaindo em seguida para pressão de teste especificada as 19:07 h. CONCLUSÃO: Pressão do teste chegou a 14,8% acima do especificado.</p>		
Disposição : Descrição da concessão, permissão de desvio ou correção. Disposition : Description of the concession, acceptance as is or correction.		CONFAB EQUIPAMENTOS José Luiz Salgado Jr. Superv. Eng. Qualidade assinatura / signature: <i>[assinatura]</i> data / date: 27/10/2009
<div style="border: 1px dashed black; padding: 10px; width: fit-content; margin: auto;"> VER DISPOSIÇÃO DA ENGENHARIA DE PROJETOS NO ANEXO 1 </div>		<input checked="" type="checkbox"/> Concessão - Aceitar como está Concession - Accept as is <input checked="" type="checkbox"/> Permissão do desvio Permission for deviation <input type="checkbox"/> Retrabalho / Reparo Rework / Repair <input type="checkbox"/> Reclassificação Reclassification <input type="checkbox"/> Rejeição / Refugo Rejection / refusal assinatura / signature: <i>[assinatura]</i> data / date: 28/10/09
AÇÃO CORRETIVA <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO		
Concessão do Cliente / Client Concession : <i>Disposição aceita.</i> <i>TH - teste testemunhado pela PETROBRAS (Bureau Veritas) incluindo torquemento</i> <i>Anexar: - Relatório de teste assinado CONFAB e Bureau Veritas)</i> <i>- Registros obtida durante os testes.</i> <i>- Instrução Técnica: MEPR-87288AA-IT-058/09</i>		
Aceitação pela Engenharia de Projetos: Designs Engineering acceptance <i>(Vide disposição ANEXO 1)</i>		José Ribens Piccoli Consultor Técnico assinatura / signature: <i>[assinatura]</i> data / date: <i>[data]</i> Bens e Serviços Regional São Paulo-Sul
Aceitação pelo Inspetor Autorizado : Authorized Inspector acceptance <i>N/A</i>		assinatura / signature: <i>[assinatura]</i> data / date: <i>[data]</i>
Verificação do retrabalho/repou : Rework/repair check : <i>N/A</i>		assinatura / signature: <i>[assinatura]</i> data / date: <i>[data]</i>
Copy/Cópias : <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
CREQ-F-015/03		

Figura 52 - Relatório de Não Conformidade (RNC)

Cabe ao supervisor da Engenharia da Qualidade buscar uma disposição adequada para eliminar a não-conformidade, seja em normas, ou com contatos em outros departamentos da empresa (Engenharia de Projeto, Engenharia Industrial, etc.).

Caso todas as etapas do Controle da Qualidade sejam cumpridas com sucesso, ao final da obra obtém-se, junto ao cliente, o Certificado de Liberação do Material, ou CLM, que é a liberação para que o produto final seja transportado para o seu sítio de operação, especificado no PCS. É crítico que essa disposição seja encontrada com rapidez, já que, enquanto todos os RNCs não forem fechados, o CLM não é obtido.

4.3. INSPEÇÃO DE RECEBIMENTOS

Os insumos que chegam à fábrica (armazenados no almoxarifado) podem ser divididos de acordo com a sua utilização: os diretamente ligados às obras (chapas, válvulas, consumíveis de solda, p.e.) e os complementares, necessários à empresa (EPIs, galões de água, papéis, etc.).

Nesse contexto, passam pela Inspeção de Recebimentos todos os insumos que, de uma forma ou de outra, estarão presentes nos processos de fabricação.



Figura 53 - Pátio externo - Confab Equipamentos



Figura 54 - Pátio interno (almoxarifado) - Confab Equipamentos

Entre esse tipo de insumos, existem aqueles que são manufacturados (itens “engenhirados”). Para estes itens, se faz necessária uma inspeção externa, ou seja, na própria empresa fornecedora.

A inspeção externa se dá com a Confab Equipamentos tendo o papel de cliente, requerendo de seus fornecedores PITs, acompanhamento de inspeção – solda, pintura, teste hidrostático, etc. (quando suposto necessário), documentação necessária e mais. Existe, dentro do organograma do CQ, uma equipe destacada para realizar a inspeção externa.

Para os demais itens, a inspeção se dá qualitativamente e quantitativamente. Os inspetores seguem a norma NBR-5426, que trata de níveis de amostragem para lotes de diferentes tamanhos.

PLANO DE AMOSTRAGEM

>> norma: NBR-5426
>> nível geral de inspeção: II
>> NQA: 0,65

Inspeção: NORMAL

Lote até:	Inspeccionar:	Rejeitar com:
8	2	1
15	3	1
25	5	1
50	8	1
90	13	1
150	20	1
280	32	1
500	50	2
1200	80	2
3200	125	3
10000	200	4
35000	315	6
150000	500	8
500000	800	11
9999999	1.250	15

Figura 55 - Plano de amostragem disponibilizado para os inspetores

Além da inspeção visual (qualitativa e quantitativa), para muitos materiais se fazem necessários outros tipos de testes. Para chapas, por exemplo, é mandatório se fazer a inspeção dimensional. Muitas vezes, é feito algum teste para verificar se a composição do material (PMI, p.e.) está de acordo com o certificado do fornecedor.



Figura 56 - Chapas com identificação dimensional e de material

A rastreabilidade dos insumos dentro da fábrica é tratada com muito cuidado. Os inspetores desse setor são capacitados para utilizar o *software* de gestão SAP, onde gerenciam a liberação dos insumos inspecionados para o estoque. Os materiais inspecionados só se tornam disponíveis para uso caso tenham sido liberados pelos inspetores responsáveis.

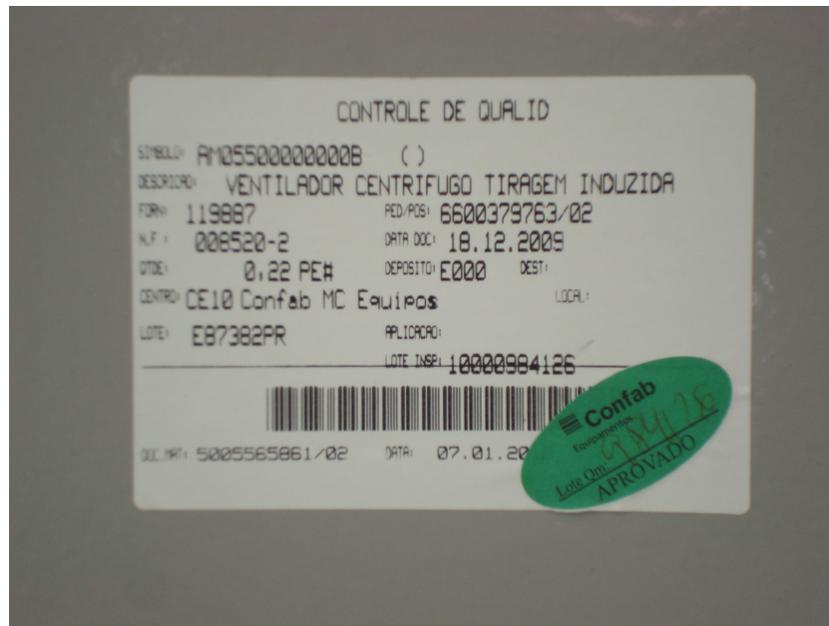


Figura 57 - Exemplo de item liberado para estoque

Caso os inspetores detectem alguma não-conformidade que impeça a liberação de determinado item para o estoque, devem abrir um RNC e encaminhá-lo ao supervisor da Engenharia da Qualidade, até receber a disposição final.

Como auxílio ao sistema SAP, existe também um procedimento que determina o uso de etiquetas (anexas à rastreabilidade) para identificar o estado dos itens no almoxarifado com maior facilidade:

- Verde – aprovado;
- Azul – retrabalho;
- Vermelho – reprovado;



Figura 58 - Inspetor realizando ensaio dimensional

4.4. INSPEÇÃO DE FÁBRICA

A inspeção de fábrica compreende:

- Inspeção Dimensional;
- Inspeção de Solda;
- Inspeção de Jateamento e Pintura;

Cada modalidade de inspeção requer qualificação específica. Segundo a ABENDI, com seus certificados há a “comprovação das características e habilidades, segundo procedimentos escritos e com resultados documentados, que permitem a um indivíduo exercer determinadas tarefas.”

4.4.1. Inspeção Dimensional

Para a inspeção dimensional, existem dois níveis de qualificação (nível I e nível II).

A equipe de inspetores dimensionais é composta por um inspetor nível II, alguns inspetores nível I e auxiliares de processo (sem qualificação).

Os documentos essenciais para a Inspeção Dimensional são o PIT e os desenhos técnicos, disponibilizados na sala dos inspetores e no sistema interno (virtual).

As atividades básicas são verificar, de acordo com o que se pede no PIT: dimensões, traçagem geral, alturas, inclinações, diâmetros, plumo, espessuras de peças, etc. e depois, quando necessário, emitir relatórios de aceitação ou reprovação (abertura de um RNC).

4.4.2. Inspeção de Solda

A qualificação de pessoal nessa área segue o Sistema Nacional de Qualificação e Certificação de Pessoal - Inspeção de Soldagem, ou SNQC-IS, que é credenciado pelo INMETRO. É regulamentado pela norma NBR-14842. Esta norma define dois níveis de certificação com diferentes atribuições – nível I e nível II.

Os documentos essenciais para a Inspeção de Solda são o PIT e o Plano de Soldagem. Dentro deste, existe a Especificação do Procedimento de Soldagem – EPS e os parâmetros que devem ser cumpridos durante a soldagem.

Cabe aos inspetores, além de fazer o EVS, acompanhar:

- Qualificação dos soldadores de acordo com o tipo de soldagem;
- Aquecimento da área a ser soldada – com termômetro digital ou lápis térmico;
- Utilização de eletrodo ou arame correto para o material de solda especificado;
- Medição da dureza da área de soldagem;
- Voltagem e amperagem;
- Emitir relatórios de aceitação ou reprovação (abertura de um RNC).

4.4.3. Inspeção de Jateamento e Pintura

A qualificação de pessoal nessa área está migrando para o SNQC - Sistema Nacional de Qualificação e Certificação, sendo a Associação Brasileira de Corrosão - ABRACO, a entidade responsável até o momento. Existem dois níveis de qualificação (nível I e nível II).

Os documentos principais para a Inspeção de Jateamento e Pintura são o PIT e o Plano de Pintura. Os inspetores de pintura atuam junto à Inspeção de Recebimentos para verificar qualitativamente os certificados dos fornecedores de tinta.

No jateamento, a inspeção monitora temperatura de superfície, temperatura ambiente, umidade relativa e ponto de orvalho, além de verificar visualmente perfil e rugosidade. Já na pintura, a inspeção consiste em verificar o visual, espessura (camada de tinta) e aderência (conforme espessura). Assim como nos outros tipos de Inspeção de Fábrica, é responsabilidade dos inspetores emitir relatórios e, se necessário, RNCs.

4.5. INSPEÇÃO OPERACIONAL

O setor de Inspeção Operacional, ou de ENDS conta com um sistema de qualificação interno da ASME, em adição ao realizado pelo SNQC (ABENDI),

Por meio de treinamento interno, os inspetores podem se capacitar para realizar obras que peçam o selo ASME. Entretanto, a maioria das obras tem como contratante a Petrobras, que exige em suas especificações a qualificação externa, ou seja, pelo órgão SNQC. Assim, no procedimento que rege a qualificação de pessoal, se especifica que os inspetores devem ter qualificação pela ABENDI (de acordo com norma ISO 9712), em um dos três níveis possíveis:

- Nível I: Executante – Restrito;
- Nível II: Executante – Pleno;
- Nível III: Apto a elaborar procedimentos.

A equipe conta com um inspetor nível III, que é responsável pela elaboração de todos os procedimentos e revisões para ENDs, além de fornecer suporte técnico, devido ao seu *knowhow* e experiência. Os procedimentos, por sua vez, devem ser aceitos por um inspetor de mesmo nível, pertencente ao órgão responsável (SEQUI – Setor de Certificação, Qualificação e Inspeção da Petrobras, por exemplo).

18.2. As descontinuidades reprovadas serão indicadas na peça, através de giz de cera ou m industrial.

19. RELATÓRIO DE REGISTRO DE RESULTADOS

19.1. Será emitido um relatório (Anexo I) contendo no mínimo:

- logotipo da CONFAB Equipamentos ou CONFAB MONTAGENS;
- identificação numérica;
- identificação da peça, equipamento ou tubulação;
- número e revisão deste procedimento;
- identificação do aparelho de ultra – som (incluindo o número de série do fabricante);
- identificação do cabeçote de ultra – som (incluindo o número de série do fabricante);
- ângulo nominal dos cabeçotes utilizados;
- tipo e comprimento do cabo de ligação aparelho – cabeçote;
- identificação do Bloco de Referência;
- superfície na qual o exame foi conduzido;

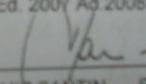
MP/CQ/A25 REV.: 10 FOLHA 39/42	Procedimento Qualificado e de acordo com as normas ASME Section V, Ed. 2007 Ad 2008 - PETROBRÁS N-11
ELAB.: _____ HRS _____ 07/07/09	 _____ JORGE LUIZ SANTIN - SNQC - END 020 Inspetor de Ultra-som - Nível 3
VERIF.: _____ PHF _____ 08/07/09	

Figura 59 - Procedimento de US, com aceite do órgão responsável

Para auxiliar no gerenciamento dos exames realizados em cada obra, o supervisor faz uso de uma planilha interativa, na qual constam todas as etapas de inspeção de determinada obra.

FASE		Requisição de compra		3.3		3.4 / 5.17 / 6.2 / 6.31 / 8.16		3.5		3.7		4.3 / 5.2 / 5.3 / 6.5 / 6.6 / 6.16 / 6.22 / 7.5 / 8.4 / 8.19 / 8.20		4.4 / 5.6 / 6.8 / 6.23 / 7.6 / 8.5 / 8.20 / 8.31 / 8.34		5.5 / 6.7		5.7 / 6.9 / 6.24 / 7.7 / 8.6 / 8.21 / 8.32		
ENSAIOS		MT Material base (virolas)		MT 100% após goivagem		MT 100% chanfros / biséis (bocais, virolas e tampos?)		MT 100% remoção soldas provisórias		IV / ID 100% Gabarito de chumbadores		IV / ID soldas estrat. e acessórios		MT 100% soldas		Análise química material base (PMI)		UT soldas estruturais		
D E S C R I P T O R	S E R I A L	DESCRIÇÃO Description	EXAMINADOR	RELATÓRIO NR.	EXAMINADOR	RELATÓRIO NR.	EXAMINADOR	RELATÓRIO NR.	EXAMINADOR	RELATÓRIO NR.	EXAMINADOR	RELATÓRIO NR.	EXAMINADOR	RELATÓRIO NR.	EXAMINADOR	RELATÓRIO NR.	EXAMINADOR	RELATÓRIO NR.	EXAMINADOR	RELATÓRIO NR.
			DATA		DATA		DATA		DATA		DATA		DATA		DATA		DATA		DATA	
BAR	L5	LONGITUDINAL DA VIROLA I	Fábio Guilherme Jardim de Lima	115/09	Fábio Guilherme Jardim de Lima	1152/09	Fábio Guilherme Jardim de Lima	1146/09			Huan Mikael de Silva	004/09	Fábio Guilherme Jardim de Lima	1155/09	Sergio Luiz Redelli	141/09				
BAR	L5	LONGITUDINAL DA VIROLA II	Fábio Guilherme Jardim de Lima	115/09	Fábio Guilherme Jardim de Lima	1152/09	Fábio Guilherme Jardim de Lima	1146/09			Huan Mikael de Silva	004/09	Fábio Guilherme Jardim de Lima	1155/09	Sergio Luiz Redelli	141/09				
BAR	L5	LONGITUDINAL DA VIROLA III	Fábio Guilherme Jardim de Lima	115/09	Fábio Guilherme Jardim de Lima	1152/09	Fábio Guilherme Jardim de Lima	1146/09			Huan Mikael de Silva	004/09	Fábio Guilherme Jardim de Lima	1155/09	Sergio Luiz Redelli	141/09				
BAR	L5	LONGITUDINAL DA VIROLA IV	Fábio Guilherme Jardim de Lima	115/09	Fábio Guilherme Jardim de Lima	1152/09	Fábio Guilherme Jardim de Lima	1146/09			Huan Mikael de Silva	004/09	Fábio Guilherme Jardim de Lima	1155/09	Sergio Luiz Redelli	141/09				

Figura 60 – Folha de Exames Realizados (FER)

Os documentos indispensáveis aos inspetores operacionais são o PIT, o Plano de Soldagem e os desenhos técnicos. A emissão de relatórios após a realização dos ensaios, de aceitação ou reprovação, é responsabilidade desses inspetores.

Em geral, existe a interface entre inspetores e soldadores para discutir a necessidade e a viabilidade de reparo em soldas antes da abertura de um RNC, já que a até a disposição do mesmo, tempo de trabalho é perdido. Assim, reserva-se a abertura de RNC para casos críticos, onde um reparo seria complicado ou ineficiente, por exemplo.



Figura 61 – Conexão submetida a US

A Confab Equipamentos possui um *bunker* preparado para a realização de ensaios radiológicos, segundo normas de proteção (isolamento, plano de proteção radiológica, etc.), interligado ao chão de fábrica por trilhos pelos quais é facilitado o transporte da peça a ser inspecionada.

Nesse *bunker* trabalham os inspetores de RX, que além da qualificação SNQC (ou interna), têm treinamento específico segundo a Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN.

4.6. DOCUMENTAÇÃO

Os funcionários alocados no setor de Documentação têm como objetivo principal compilar todos os documentos envolvidos em cada obra num só arquivo, o *Data Book*. O *Data Book* é o “certificado de garantia” para o cliente, ou seja, nele consta toda a informação com a rastreabilidade necessária.

A compilação dos documentos é um processo paralelo ao andamento da obra, desde o início até a entrega do produto final. O *Data Book* deve ser enviado ao cliente de acordo com o contrato (em versão virtual e/ou papel). Uma cópia é arquivada na área de documentações.

Geralmente um *Data Book* é composto de três seções:

- Seção I – Documentos de Projeto:
 - Lista de documentos;
 - Desenhos técnicos;
 - Lista de sobressalentes;
 - Folha de dados;
 - Memoriais de cálculo;
- Seção II – Manual de instalação, operação e manutenção do produto final;
- Seção III – Documentação da Qualidade:
 - Plano de Inspeção e Testes;

- Relatório de aceite do PIT – certificado pelo cliente;
- Registros da qualidade (relatórios) referentes às etapas de fabricação descritas no PIT;
- Lista de materiais elaborada de acordo com desenhos técnicos e códigos de rastreabilidade;
- Certificados de matéria prima (forjados, tubos, chapas, etc.);
- *Data Books* de itens manufaturados;
- Documentação de soldagem;
- Procedimentos de tratamento térmico (se aplicável);
- Procedimento de refratamento (se aplicável);
- RNCs “fechadas” (disposições aceitas pelo cliente);
- CLM – Certificado de liberação de Material.

4.7. METROLOGIA

Os funcionários da metrologia são responsáveis pelo controle dos instrumentos utilizados na Confab Equipamentos e na Confab Montagens. Seu objetivo é garantir que todos os instrumentos em uso estejam em condições adequadas de calibração.

Um dos maiores problemas encontrados no chão de fábrica é a escassez de instrumentos disponíveis. Entretanto, o mau uso desses instrumentos faz com que o seu reparo (ou calibração) seja dificultado ou até impossibilitado. Nesse caso, se faz necessário a compra de novos instrumentos, ação que requer contato com a Exiros (empresa que gerencia todas as compras feitas pelas empresas do grupo Tenaris).



Figura 62 - Trena danificada devido a mau uso

Cada instrumento recebe uma etiqueta com sua identificação (rastreadabilidade) e com sua situação atual:

- Etiqueta azul: Instrumento apto para uso em campo;
- Etiqueta amarela: Instrumento retido para ajuste, manutenção ou calibração;
- Etiqueta verde: Instrumento que não requer calibração;
- Etiqueta vermelha: Instrumento danificado, uso vetado.

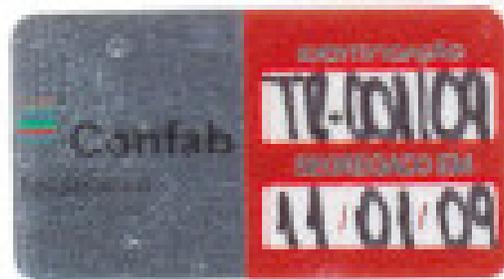


Figura 63 - Etiqueta indicativa de instrumento vetado a uso em campo

O controle dos instrumentos disponíveis é feito através de *software* específico, denominado CALIBRA. A partir deste, é emitido mensalmente um informe com todos os instrumentos cuja calibração vence naquele período.

Caso haja extravio ou quebra de instrumentos, existe formulário específico que deve ser preenchido pelo funcionário responsável. A hierarquia deve ser respeitada também na hora da retirada dos instrumentos, que devem sempre ter o aval de um superior.

		CONFAB INDUSTRIAL S/A - PINDAMONHANGABA DEPARTAMENTO DA QUALIDADE QUALITY DEPARTMENT		FOLHA: 6/26 SHEET	
LOCALIZAÇÃO: CJS-PRODUÇÃO PLACE		LISTAGEM MENSAL DE CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS CALIBRATION OF INSTRUMENTS MONTHLY LIST		EMISSÃO: 05/01/2009 ISSUE	
				HORÁRIO: 08:31:03 TIME	
CODIGO CODE	INSTRUMENTO INSTRUMENT	STATUS	DATA PROX.CALIB. NEXT CALIB. DATE		
TR-011/08	TRENA COM TRAVA	ATIVO	01/01/2009		
TR-015/08	TRENA COM TRAVA	ATIVO	09/01/2009		
ES-018/02	ESQUADRO SIMPLES	ATIVO	14/01/2009		
ES-002/08	ESQUADRO SIMPLES	ATIVO	15/01/2009		
ES-005/08	ESQUADRO SIMPLES	ATIVO	15/01/2009		
ES-009/08	ESQUADRO SIMPLES	ATIVO	15/01/2009		
			Total da Folha: 6		

Figura 64 - Listagem mensal da calibração de instrumentos - Confab Equipamentos

Os funcionários da Metrologia seguem as Folhas de Ensaio de Calibração – FECs, que são os procedimentos para a calibração. Existem alguns instrumentos cuja calibração não pode ser realizada no laboratório da empresa. Esses instrumentos seguem para calibração externa, em laboratórios especializados.

4.8. GARANTIA DA QUALIDADE

O setor da Garantia da Qualidade se diferencia do restante dos setores do Controle da Qualidade porque foca a qualidade do sistema de gestão, e não do produto a ser

fabricado.

Os documentos principais para esse setor são o Manual da Qualidade, que traduz o sistema de gestão proposto na ISO 9001 para a Confab Equipamentos e a Política de Qualidade, Saúde, Segurança e Meio Ambiente do Grupo Tenaris. Esses documentos são considerados de nível 1, cuja aprovação é responsabilidade da alta direção.

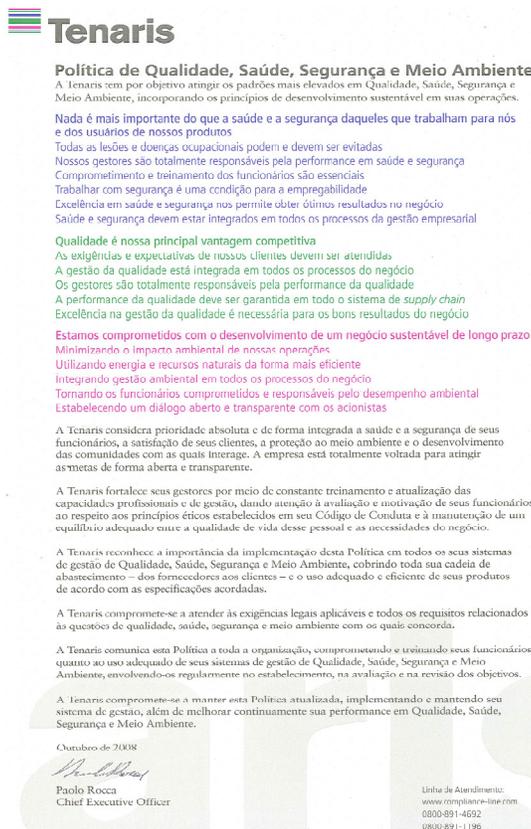


Figura 65 - Política do grupo Tenaris

Documentos de nível 2 englobam procedimentos que envolvem as diretrizes do Sistema de Gestão da Qualidade para todas as plantas, enquanto documentos de nível 3 e 4 são procedimentos e práticas específicos, cuja aprovação está ligada à gerência local.

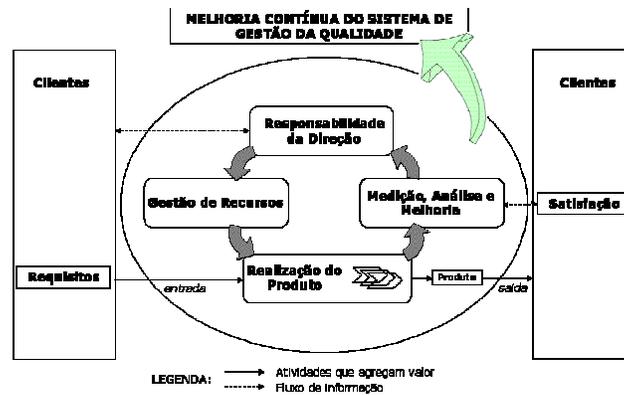


Figura 66 - Gestão por processo (melhoria contínua)

Todo o gerenciamento da documentação interna da Confab Equipamentos e das normas técnicas está sob responsabilidade da Garantia da Qualidade. Atualmente, está sendo implementada na Confab Equipamentos uma transição da documentação interna de papel para um sistema de compartilhamento do Grupo Tenaris, denominado Integrated Document Manager – IDM.

Nesse ambiente de compartilhamento, todos os documentos de todos os níveis estão disponíveis para visualização de qualquer funcionário do Grupo Tenaris. Só os procedimentos relacionados a ENDS são apenas encontrados no escritório do Controle da Qualidade, porque devem ter aprovação externa a cada revisão.

Título	Sistema	Código Anterior	IDM Code/Version	Data de Vigência	Área Emissora	Esopo de Aplicação	Idioma	Nível	Documento Tipo
Auditoria da Qualidade	Normativo, Qualidade		PRD05330/1	05-Out-2009		Confab Equipamentos	PT	Level 3	Procedimento
Ação de Melhoria	Normativo, Qualidade		PRD05245/1	05-Out-2009		Confab Equipamentos	PT	Level 3	Procedimento
CONTROLE DE EQUIPAMENTOS DE INSPEÇÃO, MEDIÇÃO E ENSAIOS	Normativo, Qualidade	CQEQ-027	PRD02121/4	04-Sep-2009		Confab Equipamentos	PT	Level 3	Procedimento
Controle de Documentos	Normativo, Qualidade		PRD05099/0	01-Jun-2009		Confab Equipamentos	PT	Level 3	Procedimento
Controle de Registros	Normativo, Qualidade		PRD05194/1	05-Out-2009		Confab Equipamentos	PT	Level 3	Procedimento
Gestão da Satisfação do Cliente	Normativo, Qualidade		PRD05098/2	05-Out-2009		Confab Equipamentos	PT	Level 3	Procedimento
Inspecão Dimensional em Flanges, Conexões, Válvulas, Purgadores e Filtros	Normativo, Qualidade		OPP03756/0	12-Mai-2009		Confab Equipamentos	PT	Level 4	Prática/Instrução Operativa/Instructivo
Inspecão de Recebimento de Consumíveis para Soldagem	Qualidade		OPP04615/0	21-Out-2009		Confab Equipamentos	PT	Level 4	Prática/Instrução Operativa/Instructivo
Inspecão de Recebimento de Materiais	Normativo, Qualidade	CQEQ-003	PRD02107/2	01-Sep-2009		Confab Equipamentos	PT	Level 3	Procedimento
Inspecão de Recebimento de Recipientes fechados de Tintas e Abrasivos Metálicos	Qualidade		OPP04616/0	21-Out-2009		Confab Equipamentos	PT	Level 4	Prática/Instrução Operativa/Instructivo
Manual da Qualidade Equipamentos	Normativo, Qualidade	QM-01	QUM00011/3	02-Out-2009		Confab Equipamentos	PT	Level 1	Manual da Qualidade
Mapeamento do Processo da Garantia da Qualidade	Normativo, Qualidade		FLC00176/0	26-Jun-2009		Confab Equipamentos	PT	Level 3	Flowchart
Mapeamento do Processo do Controle da Qualidade	Normativo, Qualidade		FLC00180/0	01-Sep-2009		Confab Equipamentos	PT	Level 3	Flowchart
Política de Qualidade, Saúde, Segurança e Meio Ambiente	HSE, Qualidade	OP 00-00/10-02	POL00002/2	01-Out-2008		Tenaris	EN, PT, ES, FR, IT	Level 1	Política

Figura 67 - Interface do sistema IDM

A auditoria é um processo de avaliação realizado por pessoa independente ao processo e avaliado com o objetivo de evidenciar a conformidade no desenvolvimento dos processos auditados. Auditorias podem ser classificadas em:

- Auditorias de 1ª parte: Internas, realizadas por próprios funcionários da empresa, independentes ao processo que vão auditar. Precisam ter recebido treinamento interno;
- Auditorias de 2ª parte: Realizadas pelo cliente, ou por auditores que o representem;
- Auditorias de 3ª parte: Realizadas pelo órgão certificador, Lloyd's Register Quality Assurance. Tem como objetivo garantir que a empresa auditada esteja aplicando com excelência os preceitos da melhoria contínua, caso tenha certificação ISO 9001.

Quando alguma não-conformidade ligada à qualidade da gestão é detectada em uma

auditoria, abre-se uma Solicitação de Ação de Melhoria – SAM. Cabe aos funcionários da Garantia da Qualidade encontrar a raiz dessa não-conformidade e, junto ao setor responsável, elaborar um Plano de Ação para tratar as SAMs.

O Plano de Ação deve ser levado ao auditor responsável, em uma reunião onde firma-se um acordo, com a parte auditada se comprometendo a tratar as não-conformidades em prazo pré-determinado.

No início de cada mês, a gerência e a alta direção se reúnem para definir e discutir indicadores relacionados a fatores como a percepção dos clientes sobre a Confab Equipamentos e índices de processo (reparo de solda, p.e.). O resultado dessa reunião é mostrado no Informe Mensal da Qualidade, que é distribuído e mostrado aos diversos setores da empresa.

		INFORME MENSAL DA QUALIDADE				
2 CONTROLE DA QUALIDADE						
2.1 Índice de reparo de solda – Fábrica						
	SETEMBRO 09	OUTUBRO 09	NOVEMBRO 09	ACUMULADO (a partir de Jul/09)	META	
END – US %	0,1	0,3	0,2	0,1	0,5	
END – RX %	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	
2.2 Índice de reparo de solda – Montagem						
	SETEMBRO 09	OUTUBRO 09	NOVEMBRO 09	ACUMULADO (a partir de Jul/08)	META	
END – US (%)	0,0	0,2	2,1	1,8	1,6	
END – RX (%)	0,0	0,0	0,0	1,1	1,2	
2.3 Indicadores de Melhoria Contínua monitorada pelo LRQA						
2.3.1 Custo de retrabalho em soldagem (R\$/Hh)						
Previsão de Conclusão	SETEMBRO 09	OUTUBRO 09	NOVEMBRO 09	ACUMULADO (a partir de Jul/09)	META (máximo)	
Junho de 2010	0,02	0,06	0,04	0,032	0,03	
2.3.2 Hh aplicadas em obras/horas pagas (%)						
Previsão de Conclusão	SETEMBRO 09	OUTUBRO 09	NOVEMBRO 09	ACUMULADO (a partir de Jul/09)	META (mínimo)	
Junho de 2010	81,4	83,2	85,9	81,1	77,5	
2.3.3 Hh aplicadas em obras/Hh disponível (%)						
Previsão de Conclusão	SETEMBRO 09	OUTUBRO 09	NOVEMBRO 09	ACUMULADO (a partir de Jul/09)	META (mínimo)	
Junho de 2010	86,9	91,7	98,2	88,3	86,5	

Figura 68 – Informe Mensal da Qualidade - Confab Equipamentos (nov/2009)

5. ANÁLISE CRÍTICA E COMPARAÇÃO

A Confab Equipamentos é uma empresa com bastante tempo de mercado, mas sua participação no Grupo Tenaris é recente. Por isso, pode se dizer que a empresa ainda se encontra num período de transição estratégica.

No âmbito geral, as mudanças foram sentidas de maneira positiva. A implementação de sistemas de gestão, como o SAP e o IDM, a adoção da Política do Grupo Tenaris e a concentração das responsabilidades de compra para a empresa Exiros trouxeram impactos positivos para a Gestão da Qualidade.

Outros aspectos que já traziam resultados positivos, como a análise e avaliação da impressão dos clientes sobre a empresa, o Informe Mensal da Qualidade e os treinamentos internos (gerenciados pelo setor de Recursos Humanos) foram mantidos.

Fazendo a comparação do Controle de Qualidade com as empresas Bardella e Jaraguá Equipamentos, conforme descrição em Guimarães Filho (2009), e apontando outras ocorrências, é possível estabelecer situações onde o Projetista crê haver espaço para melhoria nessas empresas:

- A interface entre os setores da Produção e do Controle de Qualidade parece ser mais formalizada na Bardella, graças ao Roteiro de Fabricação – ROT, que funciona como padronizador de atividades, além de medir o tempo gasto em cada atividade, para identificar gargalos. Esse é um ponto crítico onde existe margem pra melhoria, segundo alguns inspetores consultados na Confab Equipamentos;
- O manuseio da documentação interna na Confab Equipamentos é mais eficiente, em grande parte graças a presença do sistema IDM. Ainda assim, ainda há relutância em alguns procedimentos, transações e relatórios terem obrigatoriamente versão impressa, dificultando a rastreabilidade;
- O PIT confeccionado na Confab Equipamentos e na Bardella são muito

similares, tanto que houve experiência onde o Controle de Qualidade da Confab Equipamentos utilizou o PIT da Bardella em uma obra, sem qualquer dificuldade de interpretação;

- A demanda por inspetores qualificados é muito maior que a oferta, o que torna economicamente inviável para as empresas capacitar seus funcionários, e correr o risco de perdê-los para alguma concorrente. A solução encontrada por essas empresas é contratar inspetores terceirizados, sob um regime diferente;
- A relação entre os inspetores do cliente Petrobras e os inspetores da Confab Equipamentos é delicada. Existe alguns procedimentos de inspeção por parte da Petrobras que causam gargalos desnecessários, como por exemplo a Inspeção Externa sobre a Inspeção de Recebimentos já realizada na Confab Equipamentos;
- O *software* de gestão SAP trouxe uma melhoria muito significativa para a Confab Equipamentos. Mesmo assim, ainda há restrições – o acesso às informações não é generalizado, a interface não permite anexar fotos, relatórios e outros itens, fazendo com que seja necessário um controle menos pragmático (via impressa ou *e-mail*), que por sua vez dificulta a rastreabilidade.

6. CONCLUSÃO

A metodologia de Controle da Qualidade aplicada na Confab Equipamentos não diverge muito das outras indústrias mecânicas pesadas. É uma metodologia cuja eficiência se comprova ao notar que são raríssimos os casos em que os equipamentos fornecidos têm problemas estruturais durante a operação.

Mesmo assim, ainda existe espaço para melhorias nessa metodologia, em duas frentes igualmente importantes. Com o avanço da tecnologia e da ciência, novos métodos de inspeção, novos instrumentos, equipamentos mais modernos, etc. servem a uma maior excelência no Controle de Qualidade.

A pesquisa e a experiência acumulada são ferramentas para promover a melhoria contínua na própria maneira de aplicar a norma ISO 9001, que apesar de ter sido implementada há algum tempo, é completa e está constantemente submetida a revisões.

A sazonalidade que é inerente às atividades de uma indústria mecânica pesada (dependência de clientes, contratos e prazos) causa variações no nível de trabalho que, de alguma maneira, podem ser ligadas a variações em índices de Qualidade maiores do que em indústrias com linhas de montagem (produção seriada).

O momento de expansão da Petrobras, principal cliente nacional das indústrias mecânicas pesadas tem sido determinante para o desenvolvimento e expansão também dessas indústrias. O nível de exigência em termos de Qualidade (tanto Controle, quanto Gestão) da Petrobras alavancou a preocupação das empresas em buscar cada vez mais excelência nessa área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR METALS. *ASM Handbook: Volume 11 – Nondestructive Inspection and Quality Control*. Materials Park, 2005.

ASSOCIAÇÃO DE ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO (ABENDI). *Informações de Ensaios Não-Destrutivos*. Disponível em: <www.abendi.org.br>. Acesso em 15 de maio de 2010.

ASSOCIAÇÃO DE ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO (ABENDI). *Qualificação de Pessoal*. Disponível em: <www.abendi.org.br>. Acesso em 18 de outubro de 2010.

ANDREUCCI, R. *A Radiologia Industrial*. São Paulo: ABENDE, 2008.

_____. *Ensaio por Líquidos Penetrantes*. São Paulo: ABENDE, 2008.

_____. *Ensaio por Partículas Magnéticas*. São Paulo: ABENDE, 2008.

_____. *Ensaio por Ultra-Som*. São Paulo: ABENDE, 2008.

CETRE DO BRASIL. *Noções Básicas sobre Ensaios Não-Destrutivos, Qualificação SNQC, Segurança, Processos de Fabricação, Processos de Soldagem e Terminologia*. São Paulo, 2009.

CROSBY, Philip B. *Qualidade, falando sério*. São Paulo: McGraw-Hill, 1990;

DEMING, William Edward. *Qualidade: A revolução da administração*. Rio de Janeiro: Marques Saraiva, 1990.

GUIMARÃES FILHO, Samuel. *Controle da Qualidade em uma indústria Mecânica Pesada*. São Paulo, 2009. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo;

JURAN, J. M.; GRYNA, Frank M. *Controle da qualidade-handbook*. 4. Ed. São Paulo: Makron Books & McGraw-Hill, 1992, v.III.

MONTGOMERY, Douglas C. *Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade*. Trad. Ana Lima de Farias e Vera Regina Lima de Farias e Flores. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ABNT ISO 9001:2008. *Sistemas de Gestão da Qualidade – Requisitos*. Rio de Janeiro, 2008.

ASME. *1998 ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section V: Nondestructive Examination*. New York, 1998

DOCUMENTAÇÃO INTERNA DA TENARISCONFAB. *Integrated Document Management*.

KUME, Hitoshi. *Statistical Methods for Quality Improvement*. Tóquio, AOTS, 1992.

LEITE, P.G de Paula. *Curso de Ensaaios Não-Destrutivos dos Metais*. ABM: São Paulo, 1966.

LIKER, Jeffrey; MORGAN, James. *Sistema Toyota de Desenvolvimento de Produto: Integrando Pessoas, Processo e Tecnologia*. Trad. Raul Rubenich. São Paulo, Bookman, 2008.

MONTGOMERY, Douglas C. *Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade*. Trad. Ana Lima de Farias e Vera Regina Lima de Farias e Flores. 4. ed. Rio de Janeiro, LTC, 2004.

MRUDULA, E. *Lean Six Sigma: An introduction*. Tripura, The Icfai Universtity Press, 2007.

NETO, Bruno Serra. *Implementação de ferramentas de manufatura enxuta em pequenas/médias empresas e seus benefícios*. São Paulo, 2009. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo;

PALADINI, Edson P. *et al.* *Gestão da Qualidade: Teoria e Casos*. São Paulo, Elsevier, 2006.