

**Ensaaios não destrutivos aplicados na fabricação e recuperação de trocadores de calor casco tubos****Non-destructive tests in the manufacture and recovery of shell and tube heat exchangers**

DOI:10.34117/bjdv5n7-085

Recebimento dos originais: 14/06/2019

Aceitação para publicação: 02/07/2019

**Alex Sander Chaves da Silva**

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo - USP

Instituição: Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ

Endereço: Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João del-Rei, Minas Gerais, CEP: 36307-352

E-mail: achaves@ufs.edu.br

**Vitor Affonso Lopes Silveira**

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de São João del-Rei,

Instituição: Universidade Federal de São João del-Rei – UFSJ

Endereço: Rua João Máximo Sobrinho, nº50, Vila Andréa, Araxá, Minas Gerais, CEP: 38182-139

E-mail: vitor-als@hotmail.com

**Henrique Carvalho de Souza**

Graduando em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de São João del-Rei,

Instituição: Universidade Federal de São João del-Rei – UFSJ

Endereço: Av general Osório, nº 511, Tejuco, São João del-Rei, Minas Gerais, CEP: 36300-168

E-mail: henrique.carvalho388@gmail.com

**RESUMO**

O presente trabalho tem como objetivo apresentar as técnicas dos ensaios não destrutivos essenciais, aplicados na fabricação de trocadores de calor casco e tubos. Para tal, será exibida a rotina de inspeção e controle de qualidade praticada pelo autor durante suas atividades de estágio. O primeiro equipamento foi totalmente fabricado pela empresa, um trocador de calor gás-gás em aço carbono bastante robusto. O segundo, em aço inoxidável, chegou na empresa para que fosse realizado um serviço de recuperação do seu feixe tubular. Devida a uma alta taxa de corrosão implementada pela troca térmica entre água e ácido sulfúrico, esse componente foi encontrado em péssimas condições para continuar em operação. A primeira parte deste artigo traz uma revisão bibliográfica sobre como é feito o processo de qualificação da mão de obra nas empresas, já que a fabricação em questão se obteve através da soldagem. Também será apresentada uma breve dissertação sobre os ensaios não destrutivos aplicados, para que se possa identificar as peculiaridades de cada técnica. Adiante, serão detalhadas todas as etapas da execução de cada ensaio e os documentos finais gerados que atestam que o

processo de fabricação foi executado de acordo com os padrões contidos nos códigos internacionais.

**Palavras-Chave:** Fabricação, Trocadores de Calor, Padrões, Inspeção, Ensaios Não Destrutivos

## **ABSTRACT**

The present work aims to present the techniques of essays non destructive essences, applied in the manufacture of heat exchangers hull and tubes. To do this, the routine of inspection and quality control practiced by the author during his / her internship activities will be displayed. The first equipment was entirely manufactured by the company, a gas-gas heat exchanger in fairly robust carbon steel. The second stainless steel heat exchanger arrived at the company to perform a service of recovery of its tubular bundle. Due to a high corrosion rate implemented by the thermal exchange between water and sulfuric acid, this component was found to be in very poor condition to remain in operation. The first part of this article brings a bibliographical review about how the process of qualification of the workforce in the companies is done, since the manufacture in question was obtained through the welding. A brief dissertation on the nondestructive tests applied will also be presented, so that the peculiarities of each technique can be identified. Next, we will detail all the steps of the execution of each test and the final documents generated that attest that the manufacturing process was executed according to the standards contained in the international codes.

**Keywords:** Manufacture, Heat Exchangers, Non-Destructive Tests, Standards

## **1 INTRODUÇÃO**

A soldagem é uma das áreas mais complexas da mecânica, pois existem vários fatores a serem analisados antes de se fazer a seleção adequada do tipo e dos parâmetros do processo. Além disso, a habilidade do soldador está diretamente ligada a qualidade do serviço oferecido pela empresa, que será responsabilizada quando a fabricação inadequada de estruturas e equipamentos resultarem em danos com perdas materiais, humanas e ambientais (Modenesi, 2011). Atualmente, para minimizar as chances destas ocorrências e garantir uma maior uniformidade, controle e rastreabilidade do processo, as operações de soldagem são reguladas por diferentes códigos e especificações. Eles estarão organizados na forma de documentos que serão previamente qualificados de acordo com normas para que possam ser usados na fabricação. Segue uma descrição dos principais documentos relacionados a fabricação de equipamentos industriais:

- Especificação de Procedimento de Soldagem (EPS): É um documento no qual os valores permitidos de diversas variáveis do processo de soldagem estarão especificados de acordo com a norma do projeto ou contrato. Para qualificar

uma EPS, é necessário executar a junta de solda nela especificada em um corpo de prova que será examinado e testado.

- Registro de Qualificação de Procedimento de Soldagem (RQPS): Armazena os resultados dos testes executados nos corpos de prova, referentes a um ou mais procedimentos. Este documento é referido na EPS, e serve como atestado de aprovação dos critérios e especificações nela estabelecidos.
- Registro de Teste de Qualificação de Soldador: Os corpos de prova são identificados com o sinete do soldador responsável pela execução da junta examinada e testada. Quando aprovado, os resultados são organizados neste documento que garante que o soldador está devidamente qualificado para os serviços da fabricação ligados a determinada EPS.

Dependendo do serviço a ser realizado, um grande número de juntas pode vir a exigir qualificação. Uma estratégia adotada pelas empresas para economizar, é manter os documentos originais RQPS e EPS guardados para que possam ser usados sempre, uma vez que eles não têm prazo de validade. Cópias da EPS devem ser encaminhadas ao chão de fábrica e colocadas próximas as juntas que serão executadas de acordo com ela. Por outro lado, o Registro de Teste de Qualificação de Soldador tem que ser renovado quando excedida sua data de validade. Inspeções periódicas são realizadas para verificar se este processo está ocorrendo (Villani, Modenesi e Queiroz, 2005)

Os Ensaio Não Destrutivos (END) são testes realizados em materiais acabados ou semiacabados para verificar a existência ou não de descontinuidade ou defeitos. Estes ensaios são feitos através de princípios físicos definidos, sem alterar suas características físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais e sem interferir em seu uso posterior. São utilizados na fabricação, construção, montagem, inspeção em serviço e manutenção. Além disso, são largamente aplicados em soldas, fundidos, forjados, laminados (Moré, J. D., 2004).

De acordo com Andreucci (2002), o ensaio ultrassônico visa diminuir o grau de incerteza na utilização de materiais para fabricação de peças de responsabilidade. Seu princípio de funcionamento se baseia na capacidade de uma onda sonora em se propagar através de um meio qualquer, podendo ser refletida nas paredes que o consistem. Esse fenômeno constitui o fundamento básico para um teste de ultrassom. Assim como uma onda sonora se reflete ao incidir num anteparo, a onda de vibração ultrassônica, ao percorrer um

meio elástico, se comporta da mesma forma ao incidir sobre uma falha ou descontinuidade no meio considerado, que pode estar contida na peça examinada.

O teste por Correntes Parasitas, também conhecidos como Eddy Current, é outro tipo de Ensaio não Destrutivo que se baseia no princípio da Indução Eletromagnética para induzir uma corrente parasita numa peça disposta no interior de uma bobina ou nas proximidades de uma sonda. Nessa bobina ou sonda, circula uma corrente alternada chamada de corrente de excitação, que produz um campo eletromagnético primário (HP), responsável por induzir o fluxo das correntes parasitas na peça sendo ensaiada. Essas correntes parasitas induzidas, por sua vez, geram um segundo campo eletromagnético, chamado de campo secundário (HS). Então, quando ocorrem variações nessas correntes parasitas, o campo resultante (HP-HS) também estará sensível a essas mudanças. De acordo com a passagem da sonda, uma resposta é gerada em tempo real e pode ser exibida na tela de um computador. Ao contrário de outros métodos de inspeção, que se aplicam apenas na detecção de descontinuidades, esses ensaios também possibilitam a determinação de características físicas dos metais, como por exemplo sua condutividade elétrica e permeabilidade magnética (Dodd, C. V. e W. E. Deeds, 1968). É um tipo de ensaio muito comum quando se deseja verificar o grau de comprometimento de equipamentos que operam em condições severas de trabalho, como meio corrosivo, altas temperaturas, pressão.

O teste do Líquido Penetrante (LP) é um dos tipos de Ensaios não Destrutivos mais evidentes na indústria. Ele é considerado um dos melhores métodos para detectar descontinuidades superficiais em materiais isentos de porosidade, por ser rápido, simples e preciso. Suas etapas consistem na aplicação do líquido penetrante, lavagem e aplicação do revelador. Este método se baseia no fenômeno da capilaridade, que é a capacidade de penetração de um líquido em áreas extremamente pequenas devido a sua baixa tensão superficial (JÚNIOR, BARKOKÉBAS, et al, 2010).

## **2 OBJETIVOS**

O objetivo deste artigo é apresentar os ensaios não destrutivos considerados como essenciais para fabricação de trocadores de calor casco e tubos de acordo com os padrões internacionais. Destaca-se que as práticas de inspeção e controle de qualidade, bem como todos os ensaios exibidos neste trabalho foram vivenciadas pelo autor.

## **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

### 3.1 DETALHAMENTO DOS EQUIPAMENTOS

O primeiro equipamento que será apresentado é um trocador de calor gás-gás. Uma das etapas que exige mais experiência na confecção de um equipamento industrial como esse, além da soldagem, é a caldeiraria de suas chapas metálicas. Nessa fase, acontece o corte e a dobra do material que dará origem principalmente ao casco e os componentes externos desse vaso de pressão. Este é um dos tipos de equipamentos mais robustos fabricados manualmente, possuindo valores elevados de peso e dimensões, o que soma na dificuldade do manuseio e posicionamento de seus componentes. Por isso, deve-se aplicar uma rotina de inspeções específicas, para verificar a integridade e as dimensões das peças. Essa rotina somada aos métodos de ensaios não destrutivos essenciais, garantem que o processo de fabricação foi realizado de acordo com os padrões internacionais. A Figura 1 exibe uma imagem do equipamento fabricado e pronto para expedição:



**FIGURA 1.** Trocador de Calor Gás-Gás

O segundo equipamento objeto dos estudos é outro trocador de calor, menor, utilizado no resfriamento de ácido sulfúrico. O poder de deterioração desse ácido está diretamente ligado ao aumento de sua temperatura, e os materiais mais resistentes aos efeitos da corrosão desse produto são os aços inoxidáveis. Assim, foi utilizado um ensaio por correntes parasitas para verificar a condição dos tubos que compõem seu feixe, para que uma proposta de recuperação fosse elaborada. A Figura 2 mostra esse equipamento na condição em que chegou para o serviço de recuperação:



**FIGURA 2.** Trocador de Calor Água-Ácido

### 3.2 QUALIFICAÇÃO DOS SOLDADORES

A fabricação de Trocadores de Calor exige tolerâncias de usinagem precisas e soldas que devem estar em conformidade com os procedimentos de soldagem aprovados (Telles, 2003). O processo de qualificação dos soldadores ocorre na presença de um inspetor de campo, profissional que possui a atribuição nível 1 (N1), e conduz a execução das juntas de solda ao lado do soldador na oficina. Ele fica responsável por checar visualmente a junta executada nos corpos de prova e verifica se os parâmetros determinados pela documentação (EPS) estão sendo seguidos. Nesse momento poderão ser qualificadas diferentes EPS's, correspondentes a diversos processos de soldagem como TIG, MIG e eletrodo revestido. A Figura 5 exibe um exemplo de EPS que foi utilizada na fabricação do trocador de calor gás-gás em questão.

Durante o processo de qualificação, cada soldador deve executar as juntas em diferentes progressões de soldagem, em dois corpos de prova com formatos distintos, como uma maneira de testar sua habilidade. As Figura 3 e 4 são imagens dos corpos de prova e suas respectivas juntas executadas para que pudessem ser realizados os ensaios mecânicos no laboratório:

**FIGURA 3.** Corpo de prova plano**FIGURA 4.** Corpo de prova cilíndrico.

Quando acabada a etapa da soldagem dos corpos de prova, o simples teste de inspeção visual já possui caráter eliminatório de acordo com os critérios adotados pelo inspetor N1. Se, aprovados na oficina, os corpos de prova são marcados com o sinete do soldador para a realização de ensaios destrutivos no laboratório. Estes poderão incluir: ensaio de dobramento, ensaio de tração, ensaio de impacto, dureza, macrografia, radiografia e testes de corrosão. Finalmente, os resultados são armazenados no documento de Registro de Qualificação de Procedimento de Soldagem (RQPS) e chegam até o Inspetor com atribuição N2, o qual possui autoridade para aprovar ou reprovar uma EPS ou Soldador.

### 3.3 ELABORAÇÃO DO PLANO DE SOLDAGEM

Para organizar visualmente as juntas que serão examinadas durante a fabricação, e identificar informações relativas ao processo de soldagem de cada uma, torna-se pertinente a elaboração de documentos conhecidos como Planos de Soldagem (PS). Assim, as informações poderão ser armazenadas como garantia de que a rotina de inspeções está sendo realizada de acordo com as normas e especificações contidas no código, além de poderem ser consultadas durante a fabricação. Geralmente esse documento exhibe o tipo de processo que será utilizado

e seus respectivos parâmetros, como por exemplo: diâmetro do eletrodo, corrente, polaridade, posição de soldagem, tornando-se um grande aliado no controle da qualidade. Além disso, podemos rastrear o soldador responsável pela execução de determinada junta, uma vez que seu sinete é outra informação fundamental contida no Plano de Solda.

As Figuras 6 e 7 mostram um exemplo do Plano de Soldagem referente a fabricação do feixe tubular do equipamento em questão:

ESPECIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM									
WELDING PROCEDURE SPECIFICATION									
Empresa / Fabricante:	Calsimec Indústria e Comércio Ltda.								
EPS qualificada por:	RQPS N° 001/06			EPS N°:	001/07				
Código / Norma:	ASME IX ed. 2004			DATA:	06/02/2017				
Processo de Soldagem:	SMAW - Shielded Metal Arc Welding								
METAL DE BASE									
BASE METALS									
Metal de Base:	ASTM A 36 x ASTM A 36								
Espessura:	De 1,6 a 16,0 mm			Ø nominal:	≥ 610,0mm				
Progressão de soldagem:	Ascendente								
Posição de soldagem:	Todas								
METAIS DE ADIÇÃO									
FILLER METALS									
Eletrodo / Arame:	SFA 5.1 - E7018								
Vazão do gás:	N/A			A number:	N/A				
Espessura do metal soldado:	de 1,6 a 16,0 mm			F number:	N/A				
Gás de proteção:	N/A								
CONTROLE DE TEMPERATURAS									
WELDING TEMPERATURE CONTROL									
Tratamento Térmico:	N/A								
Pós Aquecimento:	N/A			Pré Aquecimento:	(*1) ≥ 20°C				
Máxima Temperatura interpasse:	(*1) 230°C								
TÉCNICAS DE SOLDAGEM									
WELDING TECHNIQUE									
Limpeza Inicial:	Escovamento ou esmerilhamento			Limpeza entre passes:	Escovamento ou esmerilhamento				
Corrente:	Contínua com polaridade inversa - CC+			Velocidade de alimentação do arame:	N/A				
Modo de Transferência:	N/A			Velocidade de soldagem:	de 8 a 40 cm/min				
Junta:	Topo penetração total / Junta em Ângulo			Oscilação máxima:	Passes retilíneos				
CROQUI DA JUNTA									
JOINT DETAILS									
PARÂMETROS DA SOLDAGEM									
WELDING PROCEDURE									
Processo	Eletrodo	Ø (mm)	Passes	Polaridade	Temperatura (°C)	Corrente (A)	Tensão (V)	Velocidade (cm/min)	Apórté Térmico (J/cm)
SMAW	E 7018	2,5 3,5 4,0	Primeiro	CC+	(*1)	80 - 200	20 - 30	5 - 15	41.580
SMAW	E 7018	2,5 3,5 4,0	Demais	CC+	(*1)	80 - 200	20 - 30	5 - 15	41.580
OBSERVAÇÕES									
REMARKS									

FIGURA 5. EPS

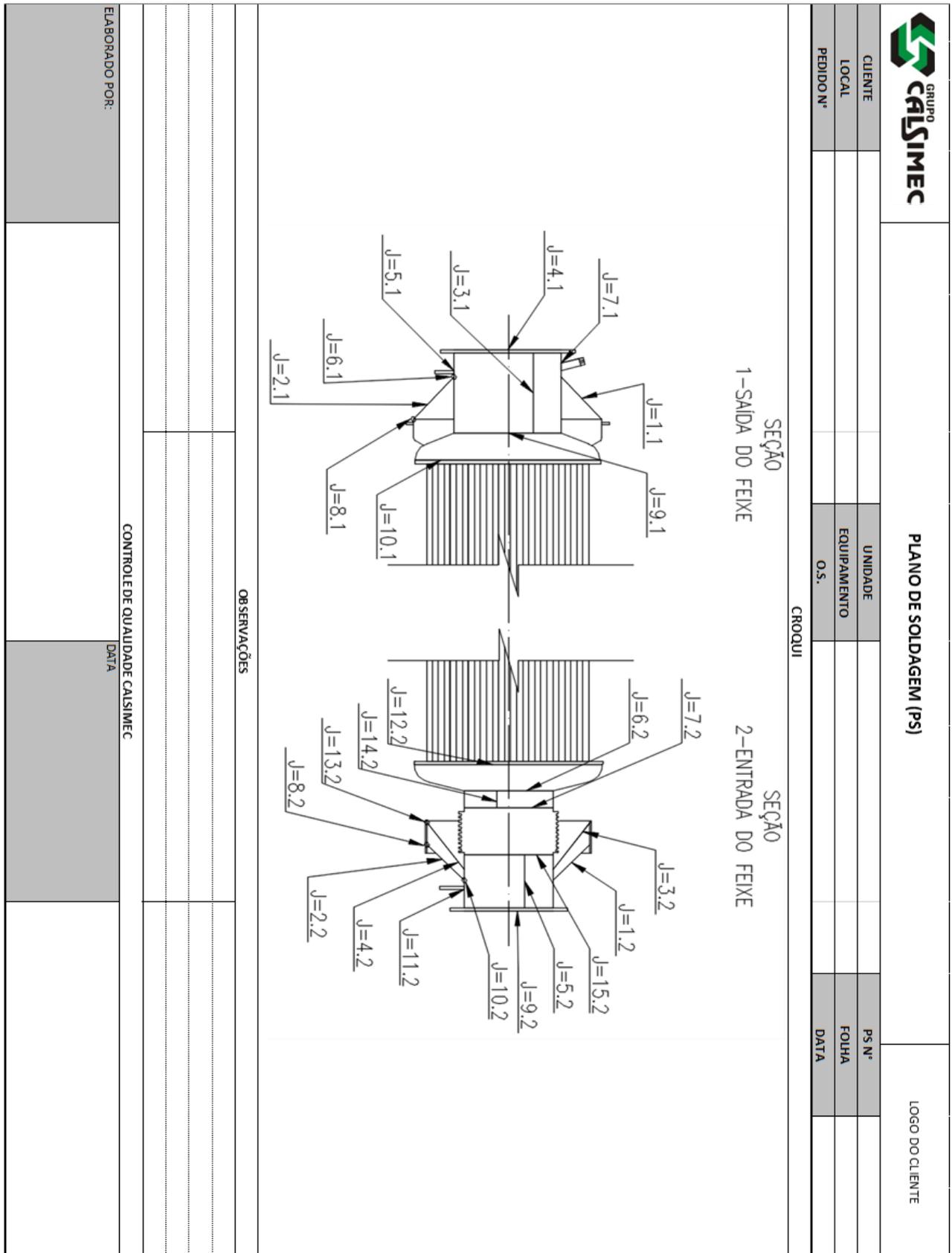


FIGURA 6. Plano de Soldagem – Organização Visual das Juntas

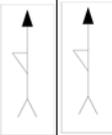
CLIENTE		PLANO DE SOLDAGEM (PS)										LOGO DO CLIENTE				
LOCAL		UNIDADE		EQUIPAMENTO		PS N°		FOLHA		DATA						
PEDIDO N°		O.S.														
<b>INSPEÇÃO DE SOLDAGEM</b>																
<b>SOLDAGEM</b>																
SEÇÃO	JUNTAS	ITEM	SINETE	SIMBOLOGIA	PROCESSO	CONSUMÍVEIS			LOTE	INSPEÇÃO						
						MARCA	NORMA	Ø BITOLA (MM)		EPS	VISUAL (%)	LP (%)	HD (PRESSÃO)	US (%)		
	1	R 1.1 A 1.1														
	2	R 2.1 A 2.1														
	3	R 3.1 A 3.1														
	4	R 4.1 A 4.1														
	5	R 5.1 A 5.1														
	6	R 6.1 A 6.1														
	7	R 7.1 A 7.1														
	8	R 8.1 A 8.1														
	9	R 9.1 A 9.1														
	10	R 10.1 A 10.1														
<b>LEGENDAS</b>																
R XX.Y	SOLDA RAIZ					LP	ENSAIO DE LÍQUIDO PENETRANTE					<b>CONTROLE DE QUALIDADE CALSIMEC</b>				
A XX.Y	SOLDA DE ACABAMENTO					HD	TESTE HIDROSTÁTICO									
Al XX.Y	SOLDA DE ACABAMENTO INTERNO					US	ENSAIO DE ULTRASSOM									
XX	NÚMERO DA JUNTA					EPS	ESPECIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDA									
Y	SEÇÃO DA JUNTA															

FIGURA 7. Informações Para Execução das Juntas

### 3.4 TESTE DO LÍQUIDO PENETRANTE

Atualmente, o código ASME trata o teste do Líquido Penetrante como uma das etapas essenciais (não dispensável) de inspeção e controle de qualidade durante o processo de fabricação dos trocadores de calor. Por exemplo, as juntas de solda executadas nos componentes metálicos desses equipamentos podem apresentar diversos tipos de imperfeições devido a fatores humanos, climáticos e até de projeto. Então, esse teste busca detectar discontinuidades superficiais em materiais isentos de porosidade, sendo muito utilizado por ser rápido, simples e preciso. Ao se aplicar o penetrante, devemos nos atentar para a temperatura superficial da região de teste e o tempo de espera, pois esses fatores estão diretamente ligados ao poder de penetração do líquido. Esses valores vêm especificados pelo fabricante na embalagem dos produtos. Após a lavagem com água, aplica-se o revelador em pó spray que irá mostrar a localização exata de possíveis trincas ou discontinuidades da superfície. A Figura 8 a seguir, exibe uma sequência de imagens que representa as etapas do ensaio com o Líquido Penetrante:



**FIGURA 8.** Passo a passo do Teste de Líquido Penetrante

### 3.5 ENSAIO DE ULTRASSOM

As juntas soldadas foram totalmente (100%) inspecionadas pelo teste do Líquido Penetrante, contudo, apenas o ultrassom possui alta sensibilidade necessária para detectar pequenas descontinuidades internas e revelar sua exata localização, podendo estimar o seu tamanho, enquanto esse outro exame não define esses fatores. O equipamento utilizado para o teste é bem simples, composto por uma sonda que emite o pulso sobre a peça e uma tela que mapeia os resultados em tempo real. Como primeira etapa de inspeção, realiza-se a marcação da área de varredura ao lado das juntas, uma vez que o equipamento demanda de um ângulo de trabalho definido. Assim, estima-se a distância entre a junta e a extremidade da área de varredura para realizar o escovamento. Portanto, a primeira etapa deste ensaio consiste na limpeza profunda da superfície de teste que irá receber a sonda. Para facilitar sua movimentação, o inspetor utiliza um lubrificante para que ela deslize livremente sobre essa superfície. A Figura 9 mostra a superfície examinada após sua etapa de escovamento:



**FIGURA 9.** Preparação da área de varredura – Superfície de teste

Então, enquanto a sonda percorre esse caminho, os resultados são exibidos instantaneamente na tela do aparelho do inspetor. No caso da detecção de algum tipo de falha ou descontinuidade, marca-se seu local, delimitando uma área para que um colaborador possa fazer os devidos reparos. Observando a Figura 10 a seguir, nota-se que um defeito foi detectado em uma região da junta de solda. Contudo, ele foi facilmente corrigido após um pequeno esmerilhamento na região de superfície detectada para que o soldador possa realizar seu enchimento. Após a correção, é importante utilizar novamente a sonda afim de verificar se o processo de correção foi executado com sucesso.



**FIGURA 10.** Detecção de defeito interno na junta

### 3.6 TESTE HIDROSTÁTICO

O teste hidrostático é geralmente a última etapa de inspeção, pois simula as condições de operação desses equipamentos. Ele é capaz de quantificar os esforços nas paredes do vaso de pressão, verificando se o ele suportará as tensões internas de projeto. É uma técnica simples e eficaz, capaz de detectar também vazamentos. Por isso, esse ensaio também é tratado como etapa essencial para fabricação de caldeiras e trocadores de calor.

O primeiro passo é encher o equipamento com água, para então serem montados manômetros e acompanhar o aumento da pressão. Tal carga foi curiosamente obtida através do bombeamento de água através de uma bomba volumétrica contida em um sistema bem simples: um jato de água convencional. A Figura 11 mostra essa última etapa:



**FIGURA 11.** Teste Hidrostático com o Jato de água

Finalmente, quando o manômetro marcou a pressão de teste (5 kgf/ cm<sup>2</sup>), cerca de cinco vezes o valor da pressão atmosférica, o ensaio pode ser encerrado.

### 3.7 ENSAIO POR CORRENTES PARASITAS

Inicialmente, o objetivo foi detectar os tubos mais comprometidos do equipamento, com perda de massa igual ou superior a cinquenta por cento (50%), para então substituí-los. Então, logo na primeira etapa de inspeção, existe a necessidade da preparação do equipamento para a passagem da sonda. Portanto, ao separar o costado do feixe tubular, verificou-se uma elevada taxa de corrosão nos tubos. A existência de uma proteção catódica não foi capaz de evitar totalmente esse efeito, onde o produto resultante acaba ficando retido no interior dos tubos causando sua obstrução em alguns casos. Em outros, causou uma perda de massa pontual tão grande que os engenheiros responsáveis pelo processo optaram por obstruir propositalmente o orifício de entrada do tubo, afim de evitar que o ácido se misturasse com a água no costado durante a operação. A Figura 11 apresenta o equipamento no estado de deterioração para que pudesse ser examinado:



**FIGURA 11.** Feixe Tubular – Corrosão.

Então, logo após a limpeza do Feixe, o segundo passo é calibrar o equipamento de inspeção para que os parâmetros adotados estejam de acordo com as características dos tubos ensaiados.

Essa calibração consiste na passagem prévia da sonda no interior de um Tubo Padrão normatizado pela ASME, que possui uma composição química e física semelhante aos tubos normatizados para fabricação de trocadores de calor e caldeiras. Esse Tubo Padrão apresenta três furos com diâmetros distintos e mais três canais com profundidades diferentes, que servem para simular as discontinuidades que poderão ser detectadas no ensaio. Portanto, a seleção

adequada dos parâmetros do processo (corrente, frequência, tensão...) também é padronizada por normas, o que facilita bastante a inspeção na indústria.

Finalmente após a preparação do feixe e a calibração da máquina, começa a passagem da sonda. Esse é um processo que exige atenção e organização por parte do inspetor, pois equipamentos assim geralmente possuem um grande número de tubos, e todos devem ser inspecionados. De acordo com a passagem da sonda, uma resposta é gerada em tempo real e exibida na tela do computador acoplado ao equipamento de inspeção. Então, o inspetor de campo N1 faz a interpretação dessas respostas e preenche uma planilha no computador que organiza os resultados de cada tubo. A Figura 12 exhibe o momento da inspeção dentro a indústria:



**FIGURA 12.** Passagem da sonda nos tubos

Para finalmente gerar o Laudo da Inspeção, esses resultados serão anexados a um documento que exhibe os parâmetros do ensaio, as normas que regularam a inspeção, o mapeamento da face de entrada da sonda, características do equipamento e outras informações referentes a inspeção. Vale ressaltar que quem terá autoridade para aprovar ou reprovar um Laudo de Inspeção, será um Inspetor com qualificação N2. Finalmente, as Figuras 13 e 14 mostram como esse laudo de inspeção é elaborado como forma de exhibir o resultado do ensaio:

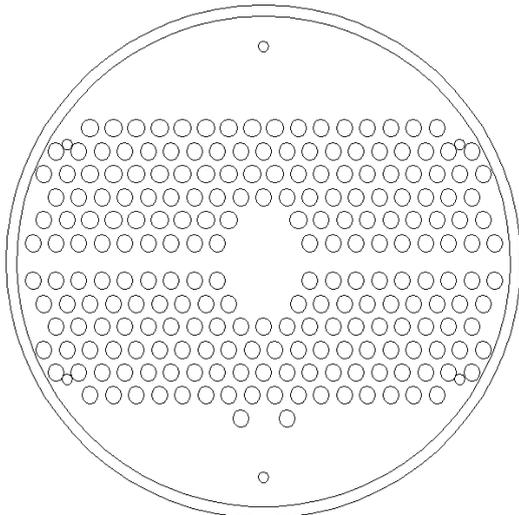
RELATÓRIO DE CORRENTES PARASITAS (EDDY CURRENT)			
CLIENTE	EQUIPAMENTO	NÚMERO DO RELATÓRIO	
CALSIMEC	TROCADOR DE CALOR		
DATA DA INSPEÇÃO	CIDADE / ESTADO	DOCUMENTOS ANEXOS	
28/04/2017	ARAXÁ - MG		
PARÂMETROS DO ENSAIO			
NORMA DE REFERÊNCIA	PROCEDIMENTO	FREQUÊNCIA (KHz)	
ASME V		F180:174 F90:82 F90/2:41 F90/8:10	
SONDA DE INSPEÇÃO	TUBO PADRÃO / N. SÉRIE	FILTRO DO CANAL ABSOLUTO	
TEA-148-150-N20 / 30KHz - 300KHz	316L_19,05x1,65	LP - 50	
INSPETOR EXECUTANTE	EQUIPAMENTO / N. SÉRIE	FILTRO (Db) CANAL DIFERENCIAL	
	MS-5800 / AATX116A	LP - 50	
DADOS DO TUBO			
ESPELHO DE INSPEÇÃO	FIXO	QUANTIDADE DE TUBOS	COMPRIMENTO (mm)
TIPO DE TUBO	SEM COSTURA	303	6250
CONDIÇÃO DA SUPERFÍCIE	BOA	DIÂMETRO EXTERNO (mm)	ESPESSURA (mm)
TIPO DE FEIXE	HORIZONTAL	19,05	1,65
TIPO DE EQUIPAMENTO	TROCADOR DE CALOR	ESPECIFICAÇÃO DO TUBO	TIPO DE FIXAÇÃO
REFERÊNCIA DOS DADOS		INOX 316 L	MANDRILHADO SELADO
CROQUI / FOTO DO ESPELHO			
			
RESULTADOS / COMENTÁRIOS			
Foram Inspeccionados 240 tubos, nestes foram observados:			
06 tubos com danos com profundidades inferiores a 20% da espessura;			
71 tubos com danos com profundidades entre 20% e 40% da espessura;			
101 tubos com danos com profundidades entre 40% e 60% da espessura;			
42 tubos com danos com profundidades entre 60% e 80% da espessura;			
20 tubos com danos com profundidades entre 80% e 100% da espessura;			
63 tubos obstruídos, não foi possível a inserção da sonda para inspeção;			
Obs.: Todas as ações efetuadas durante a inspeção seguem a norma ASME V			
Aprovado por:	Emitido por:	Data de emissão:	

FIGURA 13. Laudo de Inspeção – Correntes Parasitas

RELATÓRIO DE CORRENTES PARASITAS (EDDY CURRENT)					
CLIENTE		EQUIPAMENTO		NÚMERO DO RELATÓRIO	
CALSIMEC		TROCADOR DE CALOR			
DATA DA INSPEÇÃO		CIDADE / ESTADO		DOCUMENTOS ANEXOS	
28/04/2017		ARAXÁ - MG			
<b>LEGENDA</b>					
NDD -	SEM DANOS DETECTADOS			PEG -	PERDA DE ESPESSURA GENERALIZADA
DISO -	DANO ISOLADO			TP -	TUBO TAMPONADO
DGEN -	DANO GENERALIZADO			OBST -	TUBO OBSTRUÍDO
PEL -	PERDA DE ESPESSURA LOCALIZADA			LIND -	LIMPEZA INADEQUADA
<b>RESULTADOS</b>					
FILEIRA	TUBO	PROFUNDIDADE (%)	SUPERFÍCIE	LEGENDA	OBSERVAÇÃO
1	1	OBST		OBST	
1	2	OBST		OBST	LAUDO PARCIAL OBST A 100mm
1	3	OBST		OBST	
1	4	OBST		OBST	
1	5	49,7	INTERNA	PEG	
1	6	47,00	INTERNA	PEG	
1	7	42,00	INTERNA	PEG	
1	8	30,90	INTERNA	PEG	
1	9	98,00	INTERNA	PEG	
1	10	56,00	INTERNA	PEG	
1	11	38,00	INTERNA	PEG	
2	1	33,00	INTERNA	PEG	
2	2	OBST		OBST	
2	3	92,00	INTERNA	PEG	
2	4	32,00	INTERNA	PEG	
2	5	23,00	INTERNA	PEG	
2	6	55,00	INTERNA	PEG	
2	7	19,00	INTERNA	PEG	
2	8	OBST		OBST	LAUDO PARCIAL OBST A 2000mm
2	9	OBST		OBST	LAUDO PARCIAL OBST A 200mm
2	10	47,00	INTERNA	PEG	
2	11	72,00	INTERNA	PEG	
3	1	53,00	INTERNA	PEG	
3	2	67,00	INTERNA	PEG	
3	3	70,00	INTERNA	PEG	
3	4	31,00	INTERNA	PEG	
3	5	59,00	INTERNA	PEG	
3	6	89,00	INTERNA	PEG	
3	7	OBST		OBST	
3	8	OBST		OBST	
3	9	OBST		OBST	
3	10	66,00	INTERNA	PEG	
3	11	49,00	INTERNA	PEG	
3	12	35,00	INTERNA	PEG	
3	13	63,00	INTERNA	PEG	
3	14	54,00	INTERNA	PEG	

FIGURA 14. Laudo de Inspeção - Correntes Parasitas

#### 4 CONCLUSÃO

Os ensaios não destrutivos essenciais, são métodos eficazes que compõem o processo de fabricação de equipamentos de responsabilidade como os vasos de pressão. Atualmente, a falta de uma tradução oficial dos códigos internacionais e a dificuldade de sua interpretação, tem sido um grande problema no setor industrial. Assim, os produtores se deparam com a necessidade em terceirizar a maioria dos serviços de inspeção que envolvem um conhecimento técnico mais avançado. Isso aumenta o custo de produção, porém ainda é a única forma de atestar que o equipamento foi fabricado respeitando todos os critérios de segurança internacionais. O objetivo deste trabalho foi apresentar algumas dessas técnicas que foram vivenciadas em uma empresa de fabricação. Através das imagens e laudos apresentados, concluímos que a prática das inspeções durante a fabricação pôde ser detalhada, porém ainda existe a necessidade de se fazer uma interpretação mais profunda das normas e especificações padronizadas pelos códigos internacionais. A falta do contato entre as universidades e a realidade da indústria no Brasil, também pode ser tratada como mais um problema.

#### 5 DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo das informações contidas neste artigo.

#### REFERÊNCIAS

- AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE (ANSI), ANSI B.36.10 Carbon Steel.
- ANDREUCCI, Ricardo. *"Ensaio por ultrassom."* São Paulo: Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos (2003).
- BOILER, A. S. M. E.; CODE, Pressure Vessel. Section XI. *Rules for inservice inspection of nuclear power plant components*, 2001.
- Dodd, C. V., and W. E. Deeds. *"Analytical solutions to eddy-current probe-coil problems."* Journal of applied physics 39.6 (1968): 2829-2838.
- JÚNIOR, BARKOKÉBAS, et al. "B. et al. *Ensaio não destrutivo por líquido penetrante como ferramenta de auxílio à manutenção preditiva de equipamentos de elevação da construção civil.*" XXX Encontro nacional de engenharia de produção–ENECEP. São Carlos–SP. Anais (2010).

Marques, Paulo Villani, Paulo José Modenesi, and Alexandre Queiroz Bracarense. *Soldagem: fundamentos e tecnologia*. Ed. da UFMG, 2005.

Moré, J. D. (2004). *Aplicação da lógica Fuzzy na avaliação da confiabilidade humana nos ensaios não destrutivos por ultra-som* (Doctoral dissertation, Tese de Doutorado submetida ao programa de pós-graduação de Engenharia Metalúrgica e dos Materiais da Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE).

TELLES, P. C. S., *Materiais para equipamentos de processo*, Rio de Janeiro, 6 ed., Editora Interciência, 2003.

TELLES, P. C. S., *Vasos de pressão*, Rio de Janeiro, 2 ed., Editora LTC, 1996.

Tubular Exchanger Manufacturers Association (TEMA), *Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association*, 9.ed. TEMA, 2007.