



O USO DO PHASED ARRAY PARA DETECÇÃO DE DEFEITOS EM JUNTAS SOLDADAS DE AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS: UMA PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA TESTES DE AFERIÇÃO

¹ MOTA, Émerson Silva (Centro Universitário SENAI CIMATEC) – mota.emerson@gmail.com; ¹ COELHO, Rodrigo Santiago (Centro Universitário SENAI CIMATEC) – rodrigo.coelho@fieb.org.br

Resumo: O objetivo deste estudo é apresentar a metodologia para testes da técnica do ensaio de inspeção pelo método Phased Array para soldas de materiais austeníticos. O método utilizado nesse trabalho consiste na realização de ensaios de inspeção pelo método de Phased Array em corpos de prova feitos a partir de juntas soldadas com a inclusão de defeitos e posterior comparação com os resultados do ensaio de gamagrafia, de modo a verificar a eficácia desse método quanto aos laudos emitidos. A conclusão desse estudo trará benefícios tangíveis e intangíveis na avaliação da eficiência das juntas soldadas. Espera-se que os resultados obtidos com o Phased Array alcancem a capacidade de detectabilidade da gamagrafia de modo a motivar o uso dessa tecnologia pelas indústrias em geral.

Palavras-Chave: *Phased-Array*; austenítico; juntas soldadas.

RELIABILITY EVALUATION OF THE PHASED ARRAY INSPECTION METHOD IN AUSTENETIC STAINLESS STEEL WELDED JOINTS: A METHODOLOGY PROPOSAL FOR ASSESSMENT TEST

ABSTRACT: The main objective of this study is to present the methodology for tests of inspection examination technique with the ultrasonic method by Phased Array for arc welding of austenitic materials. The method used in this job consists of performing US inspection tests using the Phased Array method on test specimens made from welded joints with defects inclusion and then comparing them with the results of the X-Ray test to verify the effectiveness of this method in relation to the reports issued. The conclusion of this study will bring tangible and intangible benefits regarding the evaluation of the mechanical integrity of welded joints. It is expected that the results obtained with the US Phased Array will achieve the detectability of the X-Ray in order to motivate the use of this technology by the industries in general.

Keywords: Phased Array; austenitic; welded joints.



1. INTRODUÇÃO

A produção mundial dos aços inoxidáveis cresce a cada ano. Em 2017 foram produzidos um total de 45,8 milhões de toneladas em todo o mundo e, no período de 2012 a 2017, houve um aumento na produção de 33,87% [1]. Os aços inoxidáveis podem ser classificados em cinco famílias básicas: ferrítico, martensítico, austenítico, dúplex e endurecível por precipitação. Os aços inoxidáveis austeníticos – principal tipo de aço inox, conhecidos como aço liga 18-8, sendo 18% de cromo e 8% de níquel – são utilizados nas indústrias de óleo e gás, químicas, petroquímicas, entre outras, principalmente devido a sua resistência à corrosão. [2]

Nos serviços de rotina da manutenção, como substituição de trechos de tubulações, os processos de soldagem mais utilizados nas indústrias de petróleo, química e petroquímica para soldagem de tubos e chapas em aço austenítico são o TIG (Tungsten Inert Gas), o eletrodo revestido (ER) e o MIG/MAG (Metal Inert Gas e Metal Active Gas) pela qualidade da solda, mobilidade dos equipamentos e grau de facilidade na execução da atividade.

Atualmente, a avaliação da eficiência das juntas soldadas em materiais austeníticos é feita através do ensaio não destrutivo (END) de gamagrafia, pelo qual é possível detectar defeitos como trinca, porosidade, falta ou excesso de penetração, falta de fusão, rechupe, sobreposição, inclusão de escória e mordedura. As fontes utilizadas na gamagrafia são isótopos radioativos que emitem radiação ionizante e oferecem riscos sérios à saúde das pessoas expostas à incidência das mesmas, devido a sua capacidade de destruição das células humanas [3]. Outro aspecto negativo desse tipo de ensaio é a necessidade de evacuação durante a emissão da fonte, cuja área é calculada em função da intensidade da radiação.

Já nas juntas soldadas de materiais ferríticos e martensíticos utilizam-se, também, o método de ultrassom como END para a avaliação da eficiência das mesmas.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo propor uma metodologia de testes para validação do uso da técnica de ultrassom por Phased Array como uma alternativa para o ensaio de gamagrafia. A **Figura 1** ilustra as principais vantagens dessa técnica de inspeção em relação à gamagrafia.

Figura 1: Vantagens do US por Phased





2. MATERIAIS E MÉTODOS

Esse estudo consiste nas seguintes etapas principais:

- soldagem das chapas de teste;
- introdução de defeitos de soldagem pré-definidos;
- avaliação da junta soldada, através de gamagrafia;
- avaliação da junta soldada, através do Phased Array;
- comparativo dos resultados;
- ensaios de inspeção para caracterização e registros das condições metalúrgicas da solda;
- resultados e conclusão.

Os três pilares que sustentam esse projeto – pessoas, materiais e métodos – deverão estar de acordo com as normas e procedimentos aplicáveis. Dessa forma, torna-se requisito básico que: (i) as chapas e todos os materiais de consumo como metais de adição, discos de corte e de desbaste, gases de proteção e de purga possuam os seus respectivos certificados de qualidade devidamente verificados; (ii) os profissionais envolvidos, como Soldador e Inspetor sejam qualificados por órgão competente e reconhecido nacionalmente; (iii) as atividades sejam realizadas de acordo com os procedimentos técnicos aplicados e qualificados por norma. [4-5]

A **Figura 2** abaixo ilustra um resumo da metodologia descrita em seguida.

Figura 2: Diagrama da Metodologia da Pesquisa



Nessa etapa, são definidos todos os parâmetros principais como a especificação do inox austenítico, seu dimensional e as espessuras das chapas de teste, o processo de soldagem com suas variáveis essenciais, os ensaios de inspeção necessários e as metodologias de ensaio de ultrassom, de modo a atender aos objetivos estabelecidos para o estudo, conforme descrito mais adiante.

O **Quadro 1** dá uma visão geral da metodologia dessa pesquisa.



QUADRO 1: VISÃO GERAL DO TRABALHO PARA TOMADA DE DECISÕES

ITEM	TÉCNICA DE END	MATERIAL AUSTENÍTICO	ESPESSURAS	DEFEITOS	OUTROS EN SAIOS	COMPLEMENTARES	GESTÃO
	EMISSÃO ACÚSTICA	X 304 / 304L	1/8"	CST	X ANÁLISE QUÍMICA	ANÁLISE POR EL. FINITO	ABENDI
	X GAMAGRAFIA	310	X 1/4"	X FALTA DE FUSÃO	DOBRAMENTO	ESTUDO VELOCIDADES US	X CUSTO
	ONDAS GUIADAS	316 / 316L	X 3/16"	X FALTA DE PENETRAÇÃO	X MEV	INFLUÊNCIA DOS CRISTAIS	LEGISLAÇÃO
OPÇÕES	RX DIGITAL	309 Mo	3/8"	X INCLUSÃO DE ESCÓRIA	X MICRODUREZA	INFLUÊNCIA DO Nº FERRITA	NORMAS TÉCNICAS
	ToFD	310	X 1/2"	MORDEDURA	PM	NOVOS CABEÇOTES US	X PRODUÇÃO
	US CONVENCIONAL	321	5/8"	X POROSIDADE	X TEOR DE FERRITA	POD HIT-MISS	SSMA
	X US PHASED ARRAY	347	3/4"	X TRINCA	TRAÇÃO	X POD a-ã	
CRITÉRIO	Comparativo entre os resultados de a valiação de integridade de : gamagrafia x US	As especificações 304 e 304L representam mais de 75% dos austeníticos utilizados p/ tubulações industriais	Espessuras abaixo e acima de 5 mm (atual mínima qualificada) e mais grossa para verificação de atenuação e impedância .	Principais defeitos encontrados em juntas soldadas	Ensaio s relações dos a o MB e MS, p/ verificação e caracterização do material, bem como da sua composição microestrutural	Desenvolver um POD para o procedimento de US realizado nas soldas a sustentáveis	Justificar a tentativa de substituir a gamagrafia pela técnica do US

Adotado 1 CP de cada chapa.
Total : 2 CP's



2.1. Materiais

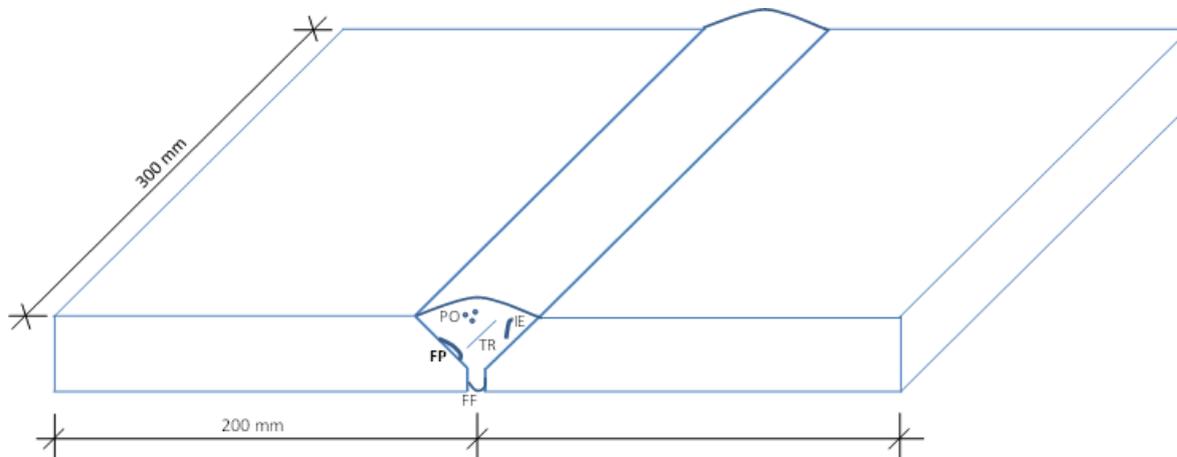
Os aços inoxidáveis austeníticos são utilizados em larga escala nas indústrias de óleo e gás, química, petroquímica, alimentícia, de bebidas e farmacêutica, por possuírem resistência química e por serem menos contaminantes para os fluidos de processo, uma vez que são resistentes à corrosão.

Nas empresas químicas e petroquímicas de Camaçari, a maioria das tubulações e equipamentos fabricados em inox austenítico utilizam as especificações 304/304L ou 316/316L, sendo que, entre essas duas, há a predominância dos inox 304/304L. Prova disso é que nas unidades produtoras de aromáticos são utilizadas apenas tubulações construídas em material 304/304L.

Diante disso, nesse trabalho será adotada chapa ASTM A-240 Gr. Tp. 304 com os seguintes dimensionais:

- Espessuras de 3/16", 1/4" e 1/2"
- 200mm x 300 mm cada peça, conforme **Figura 3** abaixo:

Figura 3: Dimensões das chapas de teste



2.2. Processos de Soldagem

Os processos de soldagem mais utilizados nas indústrias de petróleo, química e petroquímica para soldagem de tubos e chapas em aço austenítico são o TIG (Tungsten Inert Gas), o eletrodo revestido (ER) e o MIG/MAG (Metal Inert Gas e Metal Active Gas), tanto para os serviços de campo (manutenção ou montagem), quanto para os serviços realizados em oficina.

Isso se dá devido à qualidade das soldas, à mobilidade das máquinas e equipamentos e ao grau de facilidade para a execução da atividade nas mais diversas posições. [6]

Considerando essas condições, ficaram estabelecidos os processos TIG e ER para a soldagem das chapas de teste desse trabalho, com EPS – Especificação de Procedimento de Soldagem – à mão dos Soldadores e respaldada pela RQPS –



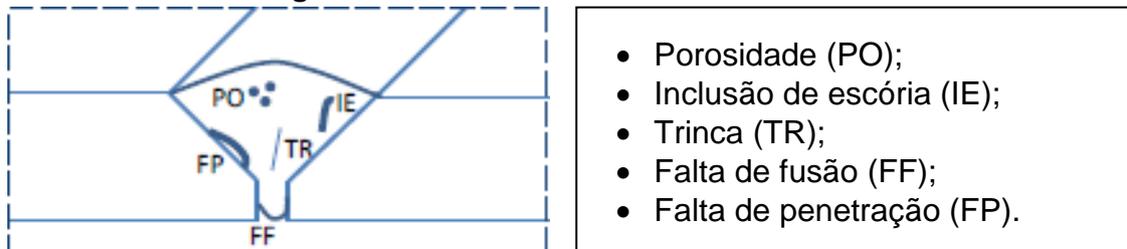
Registro de Qualificação de Procedimentos de Soldagem de acordo com o Código ASME Section IX.

Toda e qualquer atividade de soldagem será realizada por profissionais qualificados, tanto os Soldadores conforme o código ASME Section IX, quanto os Inspetores de Solda, Líquido Penetrante e Medição de Espessura, conforme FBTS (Fundação Brasileira de Tecnologia da Soldagem) e ABENDI (Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos e Inspeção).

2.3. Defeitos de Solda

Os tipos de discontinuidades a serem introduzidas nas soldas estão listados abaixo e ilustrados na **Figura 4**. Esses são defeitos comuns encontrados em soldas realizadas pelos processos TIG e ER. [6]

Figura 4: Defeitos de solda a serem introduzidos



2.4. Ensaio de Inspeção para Avaliação da Eficiência da Junta Soldada

Nos projetos de equipamentos estáticos e de tubulações novos em que haja ligação entre chapas ou tubos por meio de solda, há uma variável utilizada para o cálculo da espessura mínima requerida, chamada de eficiência da junta soldada, que é definida de acordo com o risco do fluido do processo ou das condições de operação (temperatura e pressão). [7-8]

Na manutenção das indústrias, existe um plano de inspeção e solda elaborado pelo próprio Time de Integridade Mecânica da empresa ou pela tecnologia industrial utilizada no projeto da planta, pelo qual são definidos os ensaios de inspeção exigidos para as juntas soldadas realizadas. O critério utilizado para estabelecer esse plano também é o risco do fluido do processo ou das condições de operação.

Assim, toda e qualquer solda realizada em projetos novos, alterações ou reparos de manutenção, tanto em equipamentos, quanto em tubulações, é submetida a um plano de inspeção, no qual a eficiência da junta soldada pode variar de 70% a 100% e esse percentual é utilizado para o cálculo da espessura mínima requerida do item soldado. [7-8]

Nas soldas que envolvem materiais ferríticos ou martensíticos, os tipos de ensaios mais praticados são a gamagrafia ou o ultrassom, porém, quando se trata de solda em austenítico, o ultrassom, em regra, ainda não é praticado, devido à dificuldade de se laudar no austenítico, por motivos citados mais à frente.



2.4.1. Ultrassom em Soldas Austeníticas

O ultrassom é um método de ensaio não destrutivo (END) previsto no código ASME Section V [4], que consiste na inserção de ondas mecânicas (acústicas) no meio onde se deseja realizar a verificação da integridade mecânica. Em meios ferríticos, é possível a reflexão e diagnóstico preciso das condições físicas da peça examinada, quanto à presença de descontinuidades mecânicas ou mesmo de defeitos. [9-10]

No exame por US em meio austenítico, ocorrem situações antagônicas entre o metal de base e o metal de solda. No primeiro, ocorre a reflexão normal e uniforme das ondas acústicas, sendo possível realizar a varredura de toda a espessura examinada e, assim, detectar as descontinuidades, caso existam. Já no metal de solda (fundido), há um elevado grau de anisotropia e heterogeneidade dos grãos, decorrentes dos ciclos térmicos, o que causa uma impedância acústica e dispersão não uniforme. Com isso, ocorre uma atenuação sônica, o que prejudica a probabilidade de detecção de defeitos na solda. [9-16]

A incidência das ondas transversais sonoras – conhecidas por A-Scan convencional – no metal de base (MB) tem reflexão normal, uniforme e é conclusiva quanto à presença de descontinuidades, porém, a incidência dessas ondas no metal de solda (MS) não é uniforme, pois ocorre dispersão das mesmas e atenuação do som, não sendo possível compensar os valores nos resultados porque não possui um comportamento linear. Além desse fenômeno, ocorre também a impedância acústica, diretamente relacionada à energia que será refletida na interface dos meios em questão. Isto ocorre porque há diferenças nos valores de densidade e velocidade do som nos meios de propagação. Por este motivo, deve-se trabalhar com o ângulo e a velocidade para reduzir a atenuação. Existe memória de cálculo para essa finalidade.

No caso do mesmo A-Scan com ondas longitudinais, apesar de não haver reflexão pelas próprias características da emissão das mesmas, as descontinuidades existentes são detectáveis de forma conclusiva, com uma dificuldade: requer que a cobertura ou o reforço das solda/acabamento seja removido com o uso de esmerilhadeira (“usinado”), o que irá demandar horas trabalhadas (Hh), ainda mais quando se tratar de muitas soldas.

3. RESULTADOS ESPERADOS

. Após a conclusão dessa metodologia, espera-se conseguir resultados que confirmem a confiabilidade do ensaio de US por Phased Array para a consolidação dessa técnica em soldas austeníticas e posterior acreditação junto a ABENDI, instituição responsável e reconhecida nesse tipo de atividade.

Existem trabalhos publicados sobre Phased Array em austeníticos com resultados divergentes, porém, os mais recentes indicam resultados positivos quanto à confiabilidade dos laudos.

Portanto, os resultados esperados serão de relevância para a rotina dos serviços de avaliação da eficiência das juntas soldadas e certamente trarão



benefícios tangíveis e intangíveis, principalmente nas indústrias de óleo e gás, químicas e petroquímicas.

Isso feito, na busca de maior aplicabilidade, parte-se para a publicação em revistas especializadas e para a divulgação através de workshops com a participação das empresas usuárias desse tipo de serviço.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho traz a metodologia a ser aplicada na busca da consolidação do ensaio não destrutivo de ultrassom por Phased Array em juntas soldadas, por arco elétrico, de materiais austeníticos como requisito parcial à obtenção do grau de mestre em Gestão e Tecnologia do SENAI-CIMATEC Bahia.

5. REFERÊNCIAS

- [1] ISSF: International Stainless Steel Fórum, <http://www.worldstainless.org/>
- [2] CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos**. ABM, 7ª Edição, 1996.
- [3] CNEN-Comissão Nacional de Energia Nuclear, <http://www.cnen.gov.br>
- [4] **ASME Section V – Nondestructive Examination**, 2013 Edition.
- [5] **ASME Section IX – Welding and Brazing Qualification**. 2013 Edition
- [6] **Inspetor de Soldagem Nível 1**. Apostila. FBTS, 2014.
- [7] **ASME Section VIII Division 1 – Rules for Construction of Pressure Vessels**, 2015 Edition.
- [8] **ASME B31.3 – Code for Process Piping**, ASME. 2016.
- Nondestructive Testing Handbook**, Volume 7, Third Edition, Ultrasonic Testing Columbus.
- [9] COSTA, A.C.. **Ensaio por ultrassom com as técnicas convencionais A-Scan e Phased-Array em juntas soldadas dissimilares de aços carbono e aço inoxidável austenítico**: dissertação (mestrado), UFMG, 2011.
- [10] Drury, J. C.. **Ultrasonic Flaw Detection for Technicians**, 3rd Edição, UK: Silvering Ltd.
- [11] HARRY, B.; HONEYCOMB, R. **Steels: Microstructure and Properties**, 4th Edition. BH, USA, 2017.
- [12] FERREIRA, R.F. **Avaliação da técnica de inspeção por ultrassom Phased-Array em juntas soldadas de aço inoxidável AISI 304L**: dissertação (mestrado), CEFET/Rio de Janeiro, 2013.
- [13] SANTIN, J. L.. **Ultrassom: Técnica e Aplicação**. 2ª Edição, Erechim, Editora São Cristóvão. 2003.
- [14] LOBERTO, T. **Estudo da viabilidade do ensaio de ultra-som na inspeção de juntas soldadas de aços inoxidáveis austenítico AISI 316**: dissertação (mestrado), Universidade Católica do Paraná, 2007.
- [15] GLOBAL END. **Ultrassom**. Apostila, 2016.
- [16] MORESCO, M.. **Dimensionamento e monitoramento de defeitos em tubo soldado de aço inoxidável Superduplex pela técnica de Ultrassom Phased Array**: dissertação, UFRGS, 2017.