



08 a 11 de Outubro de 2018
Instituto Federal Fluminense
Búzios - RJ

SIMULAÇÃO DA TÉCNICA DE ULTRASSOM PHASED ARRAY NA INSPEÇÃO DE SOLDAS CIRCUNFERENCIAIS DE INCONEL® 625

Daniel Drumond Santos¹ – dadsantos@firjan.com.br

Luís F. G. de Souza² – lfelipe@cefet-rj.br

Maurício S. Motta³ – mmotta@cefet-rj.br

Ramon Fonseca Ferreira⁴ – rfferreira@firjan.com.br

Vinicius Pereira Maia⁵ – vmaia@firjan.com.br

^{1, 4, 5} Instituto de Tecnologia Solda Firjan SENAI – Rio de Janeiro, RJ, Brazil

^{2, 3} Centro Federal de Educação Tecnológica CEFET – Rio de Janeiro, RJ, Brazil

Resumo. Avaliação da propagação do feixe sônico em soldas circunferenciais de Inconel® 625 em dutos de aço API 5L X70 com 8" de diâmetro revestidos com Inconel® 625, pela utilização da técnica de inspeção por ultrassom phased array. Foram avaliadas as microestruturas resultantes do processo de soldagem, atenuação, relação sinal/ruído e velocidade sônica no material determinando a melhor condição de propagação do feixe sônico no volume soldado. Os resultados da inspeção foram avaliados e comparados por simulações computacionais no software CIVA. Os testes realizados demonstraram que o transdutor com frequência de 2,25MHz apresenta melhor desempenho para a inspeção do metal de solda, com o modo de propagação por ondas longitudinais e ângulo de 50°.

Palavras-chave: Ultrassom Phased Array, Inconel® 625, CIVA

1. INTRODUÇÃO

Risers rígidos de produção produzidos a partir de tubos de aço C-Mn com revestimento interno a base de ligas níquel estão sendo adotados como solução economicamente viável no setor offshore, uma vez que restringem a utilização de materiais nobres somente às regiões que demandam melhores propriedades, em particular uma maior resistência a corrosão em meios agressivos, nesse caso, à superfície interna dos tubos. Neste aspecto, a liga Inconel® 625 se mostra a mais adequada, por apresentar uma ótima combinação de elevada resistência mecânica e a corrosão (Kejelin et al, s.d.) (Welding Handbook – Materials And Applications – Part 2, 1998).

A utilização destes materiais mais nobres impõe limitações a aplicação da técnica de inspeção por ultrassom. Isto ocorre devido as diferentes propriedades elásticas dos materiais constituintes na junta, que acarretam variações de velocidade e amplitude da onda conforme a direção de propagação do feixe sônico (Schubert et al, 2012).

Para a inspeção de componentes revestidos, os ensaios por radiografia, ultrassom convencional e Phased Array podem ser aplicados. No entanto, a radiografia é menos sensível a alguns tipos de defeitos que o ultrassom (Silk; Stoneham; Temple, 1987), porém, o feixe ultrassônico pode sofrer interferências entre as regiões de interface: revestimento, metal depositado e metal base (Hudgell, 1994) (Nageswaran; Tat-Hean Gan, 2015). Desta forma, analisar a sensibilidade do ensaio nestas condições é fundamental para a garantia da confiabilidade do resultado da inspeção.

Este estudo se justifica pela grande aplicação de tubos revestidos com Inconel® 625 no campo offshore. A utilização destes materiais dificulta a aplicação da técnica de inspeção por ultrassom convencional e Phased Array, devido à grande atenuação e espalhamento do feixe sônico com a anisotropia do material. A detecção de defeitos é prejudicada pela fraca relação sinal-ruído recebida, prejudicando a interpretação dos resultados.

O presente trabalho, através do estudo da propagação do feixe sônico em soldas circunferenciais de Inconel® 625 em tubos de aço API 5L X70, tem por objetivo analisar os melhores parâmetros de inspeção pela utilização da técnica de inspeção por ultrassom Phased Array buscando um melhor entendimento das vantagens e limitações do método.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Elaboração da Junta Soldada

Para elaboração da junta soldada foi utilizado um tubo de aço API 5L X70 revestido, com diâmetro externo de 8", 300 mm de comprimento e 22 mm de espessura de parede, sendo 4 mm de espessura devido ao revestimento interno em Inconel® 625. A junta foi soldada com chanfro em V, ângulo do bisel de 35°, abertura de raiz de 3 mm e face (nariz) de 2 mm. O revestimento do tubo utilizado é um "lined" fabricado por expansão.

A solda a ser inspecionada está conforme as dimensões definidas na Fig. 1.

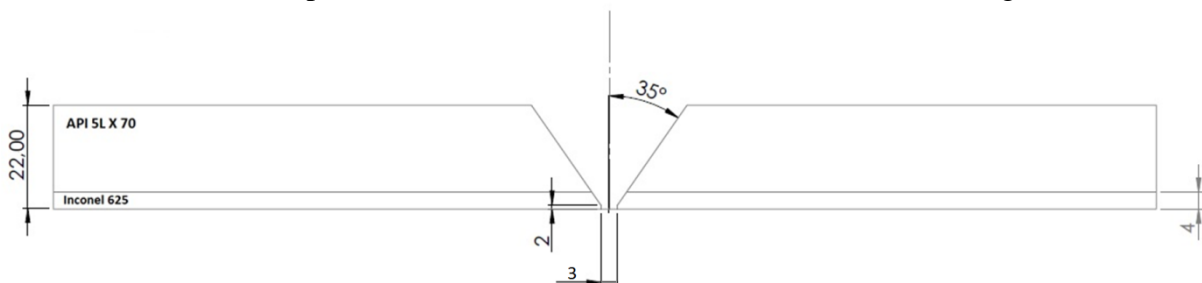


Figura 1 - Detalhe do Dimensional da Junta.

A raiz do corpo de prova (CPs) foi soldada com o processo TIG (GTAW), que utiliza um eletrodo sólido de tungstênio não consumível. O arco proveniente do processo aquece e funde o material. A soldagem TIG produz uma solda limpa e de alta qualidade (Marques et al, 2007).

Para o enchimento foi utilizado o processo de soldagem Arame Tubular (FCAW). É um processo de soldagem por fusão onde o calor é gerado através de um arco elétrico estabelecido entre a peça e o arame que é alimentado continuamente. A proteção do arco e do cordão é feita por um fluxo de soldagem contido no interior do arame (Marques et al, 2007).

A soldagem do CP foi realizada conforme especificação de procedimento de soldagem (EPS). A Tabela 1 mostra o valor médio dos principais parâmetros em função dos passes de soldagem realizados.

Tabela 1 - Parâmetros adotados para a Soldagem

Processo	Parâmetros	
GTAW (Raiz e Passe Quente)	Nº de Passes	2
	Corrente	110 A / CC-
	Tensão	12 V
	Vel. Soldagem	1,07 mm/s
	Vel. de Alimentação	-
	Energia de Soldagem	1,29 (KJ/mm)
	Temperatura de Preaquecimento	> 50 °C
	Temperatura de Interpasse	< 150 °C
	Gás de Proteção	Argônio 18 (l/min)
FCAW (Enchimento)	Nº de Passes	20
	Corrente	160 A / CC+
	Tensão	23 V
	Vel. Soldagem	4,3 mm/s
	Vel. de Alimentação	137 mm/s
	Energia de Soldagem	0,88 (KJ/mm)
	Temperatura de Preaquecimento	> 50 °C
	Temperatura de Interpasse	< 150 °C
	Gás de Proteção	CO ₂ 15 (l/min)

2.2 Ensaios Metalográficos

Foram preparadas amostra metalográficas pela técnica convencional de lixamento com papel abrasivo e polimento com pasta de diamante até a granulometria de 1 µm. Posteriormente realizou-se o ataque químico com água régia na região da solda e revestimento (“Lined”) (Inconel® 625) e com nital 2% na região do metal de base (API 5L X70).

Após preparação da amostra, foi realizado o ensaio macrográfico na seção transversal do corpo de prova para caracterização das regiões da junta e visualização do aspecto geral.

Realizou-se a análise por microscopia óptica com um microscópio ótico de platina invertida da marca Olympus, modelo para identificação e caracterização microestrutural das regiões da junta soldada. Os ensaios micrográficos foram executados conforme norma ASTM E3-11 e as imagens foram fotografadas com a ampliação de 100 a 1000 vezes.

2.3 Simulação Computacional pelo software CIVA

O CIVA é um software avançado de simulação de ensaios não destrutivos desenvolvido pela Comissão Francesa de Energia Atômica e Energias Alternativas. A criação do modelo foi realizada na função *Specimen* do software. Para avaliação da anisotropia, a região da solda foi dividida manualmente após revelação dos passes de raiz e enchimento da macrografia da junta soldada, como mostrado na Fig. 2.

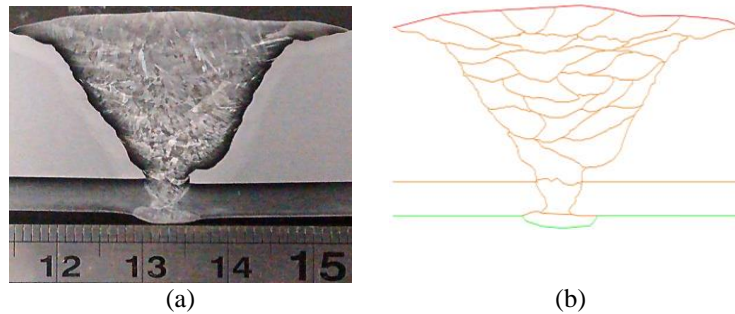


Figura 2 - Modelo da junta soldada para simulação. (a) Macrografia evidenciando os passes de raiz e enchimento. (b) Definição dos passes após soldagem.

Para avaliação do efeito da anisotropia, a orientação dos grãos da junta soldada foi inserida manualmente após observação da macrografia e definição dos passes de soldagem, como exibido na Fig. 3.

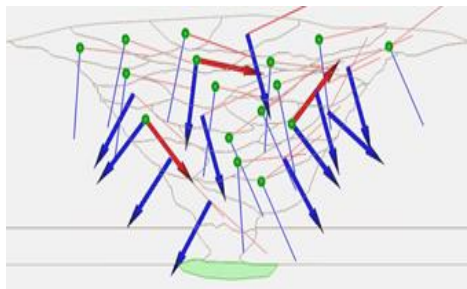


Figura 3 - Orientação dos grãos das regiões definidas como anisotrópicas. CIVA 11.0®.

Os parâmetros de varredura foram inseridos na função *Inspection* do software, onde foram definidos os index (distância da frente da sapata ao centro da solda) dos transdutores e a direção de varredura.

As leis focais foram inseridas na função *Array Settings* do software, onde foram simuladas as seguintes variáveis:

- Tipo de varredura (setorial e linear);
- Tipo de onda (longitudinal e transversal);
- Quantidade de elementos excitados nos transdutores (16 e 32 elementos);
- Ângulos de 0°, 50° e 55° para varredura linear ou faixa de ângulos de 35° a 70° para varredura setorial;
- Profundidade focal (sendo a espessura total de 22mm).

2.4 Verificação da Atenuação, Velocidade Sônica e Verificação da Relação Sinal/Ruído:

A atenuação e velocidade sônica do material foram obtidas a partir de medições realizadas no bloco padrão com transdutores de incidência normal de onda longitudinal e transversal.

A relação sinal/ruído do material foi avaliada na região central da solda. Foi utilizado o transdutor Phased Array de 5MHz e a sapata N60L com varredura linear e onda longitudinal para avaliação dos ângulos de 35°, 40°, 45°, 50°, 55°, 60°, 65° e 70°. Com a sapata 0L com varredura linear e onda longitudinal foi avaliado o ângulo de 0°.

2.5 Definição do Planejamento de Inspeção:

Os parâmetros de inspeção foram simulados no software ESBeamTools, a fim de verificar se a varredura do feixe sônico realizada contempla toda a região de interesse da solda e a ZTA, conforme ilustrado nas Fig. 4 a 10. As Tabelas 2 a 8 exibem os planos de inspeção empregados.

Tabela 2 – Plano de Inspeção US-PA 5MHz – Varredura Linear. Onda Transversal

Espessura (mm)	Grupo	Técnica	Transdutor	Sapata	Elemento Inicial	Quantidade Elementos	Ângulo (°)	Prof. Focal (mm)	Skew	Index (mm)
22,0	1	PA	5L64A12	SA12N55S	1	16	55	-	90-270	-12 -35

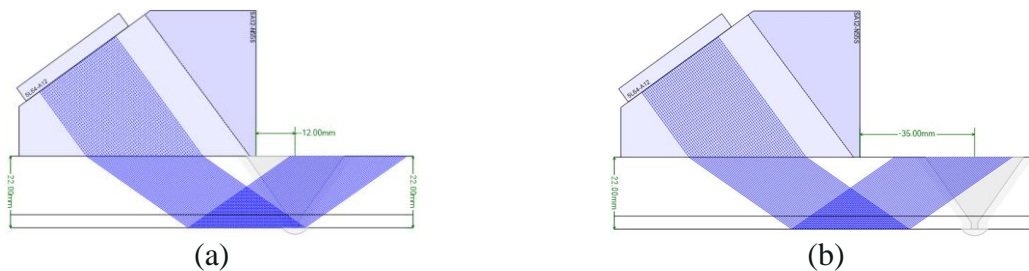


Figura 4 - Simulação de inspeção por US-PA. Ondas transversais. Conjunto Transdutor 5L64-A12 / Sapata SA12N55S. Varredura linear (azul): 55°; Elementos ativos: 16; 1° elemento: 1. (a) Index: -12 mm. (b) Index: -35 mm. ESBeamTools 4.0®.

Tabela 3 – Plano de Inspeção US-PA 5MHz – Varredura Setorial. Onda Longitudinal

Espessura (mm)	Grupo	Técnica	Transdutor	Sapata	Elemento Inicial	Quantidade Elementos	Ângulo (°)	Prof. Focal (mm)	Skew	Index (mm)
22,0	1	PA	5L64A12	SA12N60L	33	32	35 a 70	-	90-270	-1 10 20 30
	2				33	32	39 a 70	-		
	3				33	32	35 a 70	22		
	4				33	32	39 a 70	22		

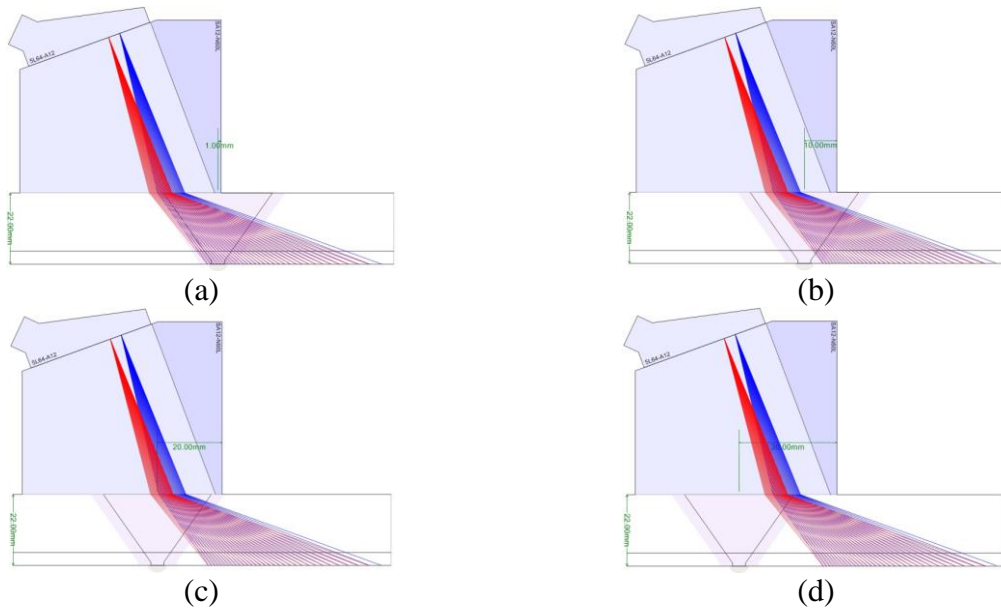


Figura 5 - Simulação de inspeção por US-PA. Ondas longitudinais. Conjunto Transdutor 5L64-A12 / Sapata SA12N60L. Varredura setorial (azul): 35°-70° (Step: 1°); Elementos ativos: 32; 1° elemento: 33. Varredura setorial (vermelho); Ângulo: 39°-70° (Step: 1°); Elementos ativos: 16. 1° elemento: 33. (a) Index: -1 mm. (b) Index: 10 mm. (c) Index: 20 mm. (d) Index: 30 mm. ESBeamTools 4.0®.

Tabela 4 – Plano de Inspeção US-PA 5MHz – Varredura Linear: 50°. Onda Longitudinal

Espessura (mm)	Grupo	Técnica	Transdutor	Sapata	Elemento Inicial	Quantidade Elementos	Ângulo (°)	Prof. Focal (mm)	Skew	Index (mm)
22,0	1	PA	5L64A12	SA12N60L	1	32	50	-	90-270	5
	2				1	32	50	22		20
					1	32	50	35		

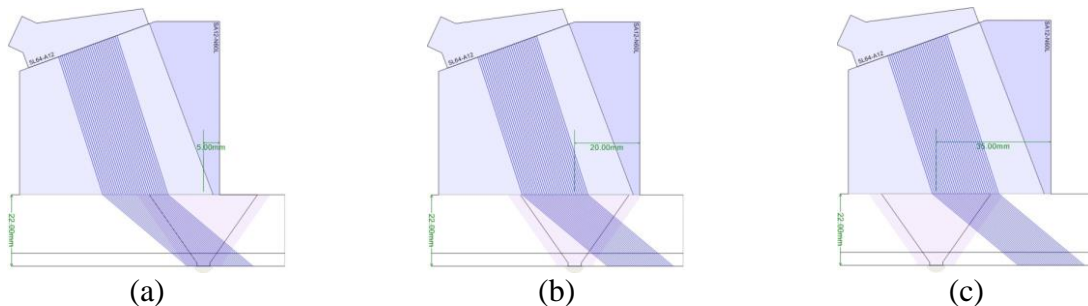


Figura 6 - Simulação de inspeção por US-PA. Ondas longitudinais. Conjunto Transdutor 5L64-A12 / Sapata SA12N60L. Varredura linear (azul): 50°; Elementos ativos: 32; 1° elemento: 1. (a) Index: 5 mm. (b) Index: 20 mm. (c) Index: 25 mm. ESBeamTools 4.0®.

Tabela 5 – Plano de Inspeção US-PA 5MHz – Varredura Linear: 55°. Onda Longitudinal

Espessura (mm)	Grupo	Técnica	Transdutor	Sapata	Elemento Inicial	Quantidade Elementos	Ângulo (°)	Prof. Focal (mm)	Skew	Index (mm)
22,0	1	PA	5L64A12	SA12N60L	1	32	55	-	90-270	0
	2				1	32	55	22		17
					1	32	55	35		

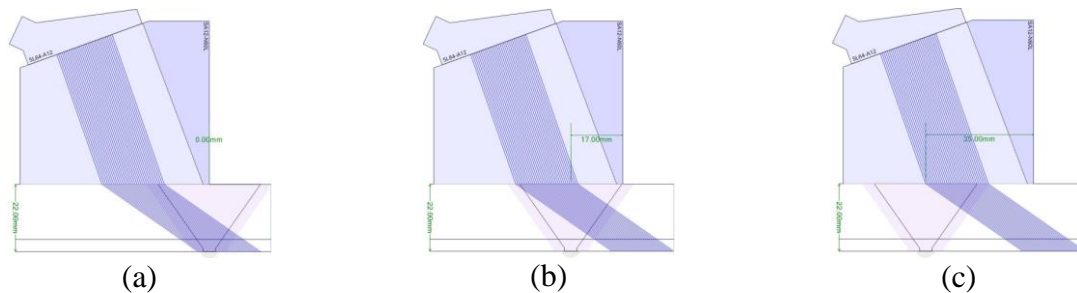


Figura 7 - Simulação de inspeção por US-PA. Ondas longitudinais. Conjunto Transdutor 5L64-A12 / Sapata SA12N60L. Varredura linear (azul): 55°; Elementos ativos: 32; 1° elemento: 1. (a) Index: 0 mm. (b) Index: 17 mm. (c) Index: 35 mm. ESBeamTools 4.0®.

Tabela 6 – Plano de Inspeção US-PA 2,25MHz – Varredura Linear: 50°. Onda Longitudinal

Espessura (mm)	Grupo	Técnica	Transdutor	Sapata	Elemento Inicial	Quantidade Elementos	Ângulo (°)	Prof. Focal (mm)	Skew	Index (mm)
22,0	1	PA	2,25L64A2	SA2N45L-2L64	1	32	50	-	90-270	10
										20
										40

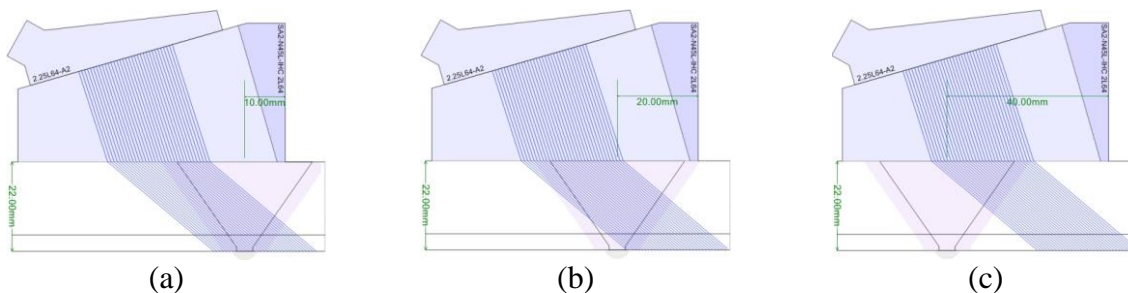


Figura 8 - Simulação de inspeção por US-PA. Ondas longitudinais. Conjunto Transdutor 2,25L64-A2 / Sapata SA2N45L-2L64. Varredura linear (azul): 50°; Elementos ativos: 32; 1° elemento: 1. (a) Index: 10 mm. (b) Index: 20 mm. (c) Index: 40 mm. ESBeamTools 4.0®.

Tabela 7 – Plano de Inspeção US-PA 2,25MHz – Varredura Linear: 55°. Onda Longitudinal

Espessura (mm)	Grupo	Técnica	Transdutor	Sapata	Elemento Inicial	Quantidade Elementos	Ângulo (°)	Prof. Focal (mm)	Skew	Index (mm)
22,0	1	PA	2,25L64A2	SA2N45L-2L64	1	32	55	-	90-270	5
										20
										38

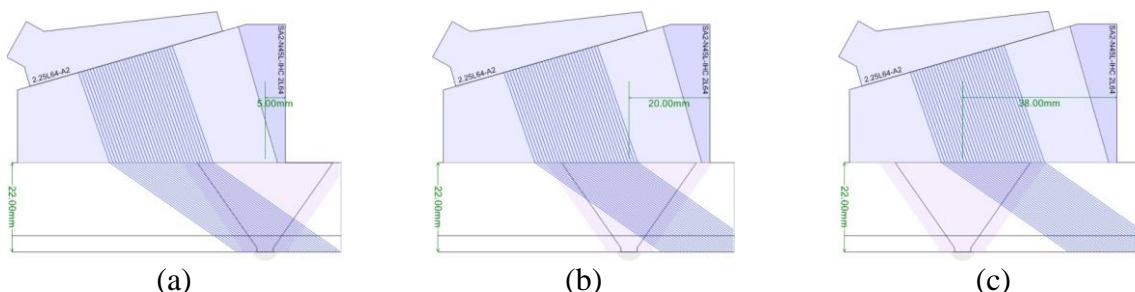


Figura 9 - Simulação de inspeção por US-PA. Ondas longitudinais. Conjunto Transdutor 2,25L64-A2 / Sapata SA2N45L-2L64. Varredura linear (azul): 55°; Elementos ativos: 32; 1° elemento: 1. (a) Index: 5 mm. (b) Index: 20 mm. (c) Index: 38 mm. ESBeamTools 4.0®.

Tabela 8 – Plano de Inspeção US-PA 5MHz – Varredura Linear: 0°. Onda Longitudinal

Espessura (mm)	Grupo	Técnica	Cabeçote	Sapata	Elemento Inicial	Quantidade Elementos	Ângulo (°)	Profundidade Focal (mm)	Skew	Index (mm)
22,0	1	PA	5L64A12	SA12-0L	1	16	0	-	90-270	19 29 39

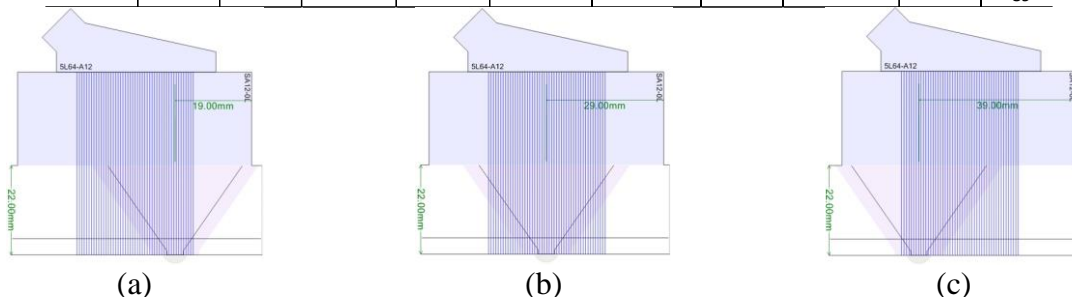


Figura 10 - Simulação de inspeção por US-PA. Ondas longitudinais. Conjunto Transdutor 5L64-A12 / Sapata SA12-0L. Varredura linear (azul): 0°; Elementos ativos: 16; 1° elemento: 1. (a) Index: 19 mm. (b) Index: 29 mm. (c) Index: 39 mm. ESBeamTools 4.0®.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização da Junta Soldada

Micrografia: Passes de Enchimento no Metal de Solda:

A Fig. 11 mostra os passes de enchimento na região do metal de solda. A microestrutura apresenta dendritas de solidificação. Esta é uma região anisotropicamente acústica, ou seja, a reflexão do feixe em materiais anisotrópicos é diferente de materiais isotrópicos, como soldas ferríticas onde o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão. Em materiais anisotrópicos, a propagação do feixe é influenciada pela microestrutura do material (The International Institute of Welding, 1994).

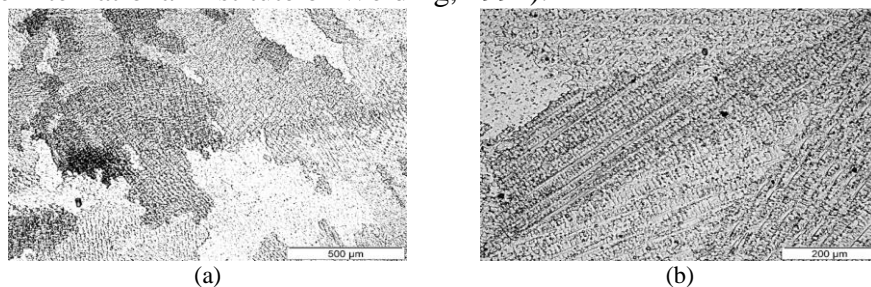


Figura 11 - Aspecto microestrutural por microscopia óptica da região do metal de solda. (a) Aumento: 100x. (b) Aumento: 200x. Ataque: Água régia.

Medição do Tamanho de Grão

Esta análise foi realizada para avaliar se o tamanho de grão da microestrutura influencia na propagação do feixe sônico no material. A Tabela 9 mostra os valores encontrados para as regiões do metal de base (MB), revestimento *Lined* e para a ZTA próxima a raiz da solda.

Tabela 9 – Valores de tamanho de grão para as regiões analisadas

Região	Comprimento Médio do Intercepto (mm)	TG (ASTM)
MB	0,0073 mm	11
Revestimento	0,0249 mm	7,5
ZTA (Raiz)	0,0057 mm	11,5

A estrutura macrocristalina de uma solda austenítica é formada quando ocorre a solidificação e a fase austenítica forma grãos colunares que crescem ao longo das direções de máxima perda de calor durante o resfriamento. Estes grãos podem atingir um ou dois milímetros de comprimento (The International Institute of Welding, 1994).

Quando o tamanho de grão é da ordem de 1/10 do comprimento de onda, ocorre interferência no feixe ultrassônico gerando dispersão (Carpentier; Nageswaran; Tse, 2010) (Nageswaran; Tat-Hean Gan, 2015). O comprimento de onda pode ser calculado pela razão entre a velocidade de propagação da onda no material e a frequência adotada.

Nas Tabelas 10 e 11 foram calculados o comprimento de onda para as frequências de 4MHz e 2,25 MHz e as velocidades adotadas neste estudo.

Tabela 10 – Comprimento de Onda para a Frequência de 4 MHz

Região MB/Revestimento		Região da Solda	
Vel. Longitudinal 5793,6 m/s	Vel. Transversal 3264,6 m/s	Vel. Longitudinal 5911,6 m/s	Vel. Transversal 2944,6 m/s
$\lambda = 1,448$ mm	$\lambda = 0,816$ mm	$\lambda = 1,478$ mm	$\lambda = 0,736$ mm
$\lambda/10 = 145$ μ m	$\lambda/10 = 82$ μ m	$\lambda/10 = 148$ μ m	$\lambda/10 = 74$ μ m

Tabela 11 – Comprimento de Onda para a Frequência de 2,25 MHz

Região MB/Revestimento		Região da Solda	
Vel. Longitudinal 5793,6 m/s	Vel. Transversal 3264,6 m/s	Vel. Longitudinal 5911,6 m/s	Vel. Transversal 2944,6 m/s
$\lambda = 2,575$ mm	$\lambda = 1,451$ mm	$\lambda = 2,627$ mm	$\lambda = 1,308$ mm
$\lambda/10 = 258$ μ m	$\lambda/10 = 145$ μ m	$\lambda/10 = 263$ μ m	$\lambda/10 = 131$ μ m

Observa-se que o tamanho de grão avaliado no metal de base, na ZTA e no revestimento *Lined* não exerce grande influência na propagação do feixe sônico no material. Este resultado já era esperado já que estas regiões são consideradas isotropicamente acústicas.

As técnicas ultrassônicas que utilizam ondas transversais com feixe rebatido *full skip* não proporcionam resultados satisfatórios quando aplicadas em soldas austeníticas ou tubos revestidos.

As ondas longitudinais sofrem menos com esses fenômenos do que as ondas transversais, o que determina o uso de transdutores de ondas longitudinais focalizados e transdutores de ondas superficiais (Van Der Ent et al, 2006).

3.2 Simulação Computacional pelo software CIVA

As Fig. 12 a 18 exibem as simulações da propagação do feixe sônico no material austenítico com os diferentes parâmetros e leis focais adotadas para este estudo.

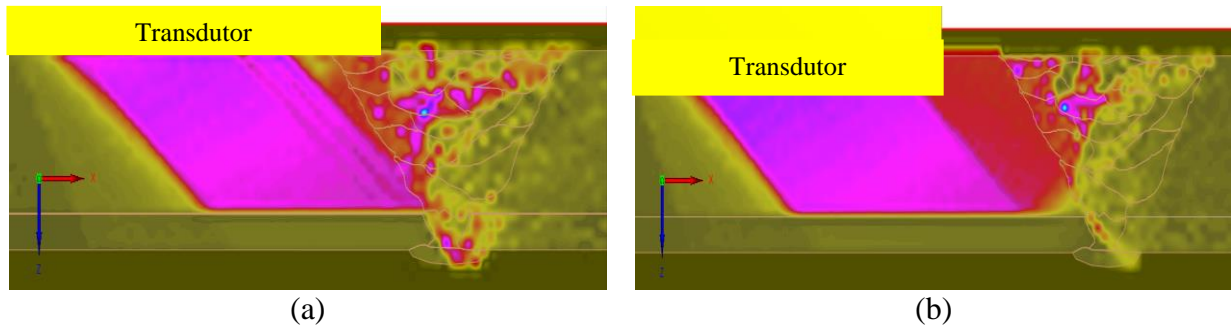


Figura 12 - Simulação de inspeção por US-PA. Ondas transversais. Conjunto Transdutor 5L64-A12 / Sapata SA12N55S. Varredura linear: 55°; Elementos ativos: 16; 1° elemento: 1. (a) Index: -12 mm. (b) Index: -35 mm. CIVA 11.0®.

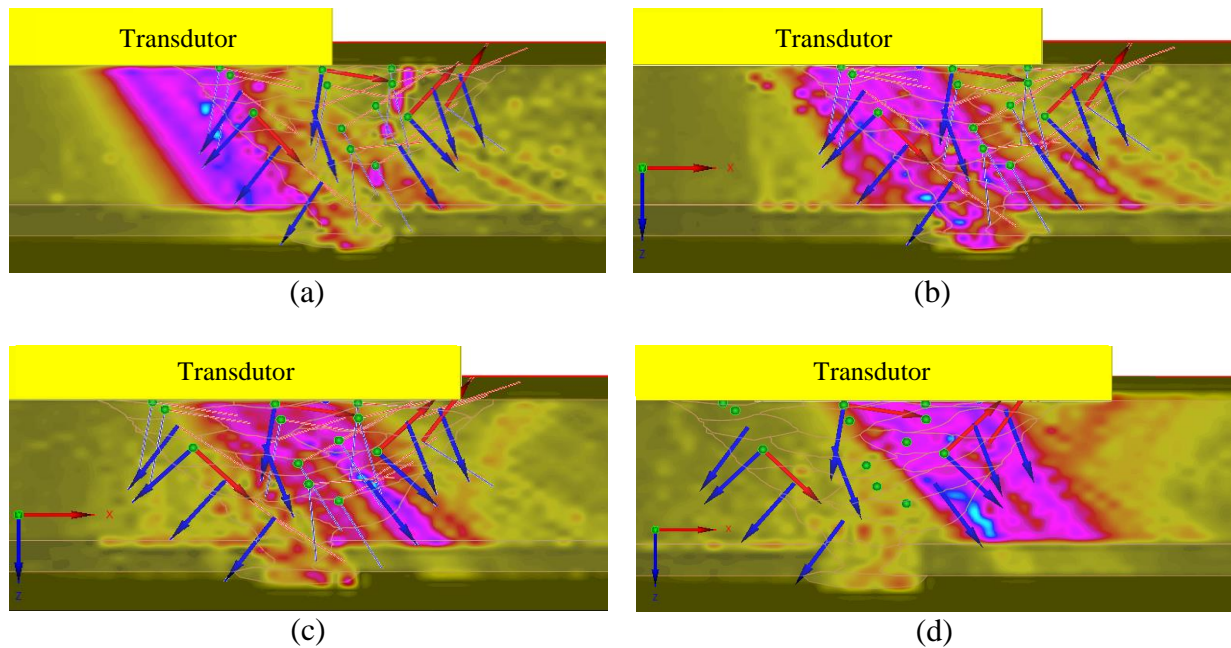


Figura 13 - Simulação de inspeção por US-PA. Ondas longitudinais. Conjunto Transdutor 5L64-A12 / Sapata SA12N60L. Varredura setorial: 35°-70° (Step: 1°); Elementos ativos: 32; 1° elemento: 33. (a) Index: -1 mm. (b) Index: 10 mm. (c) Index: 20 mm. (d) Index: 30 mm. CIVA 11.0®.

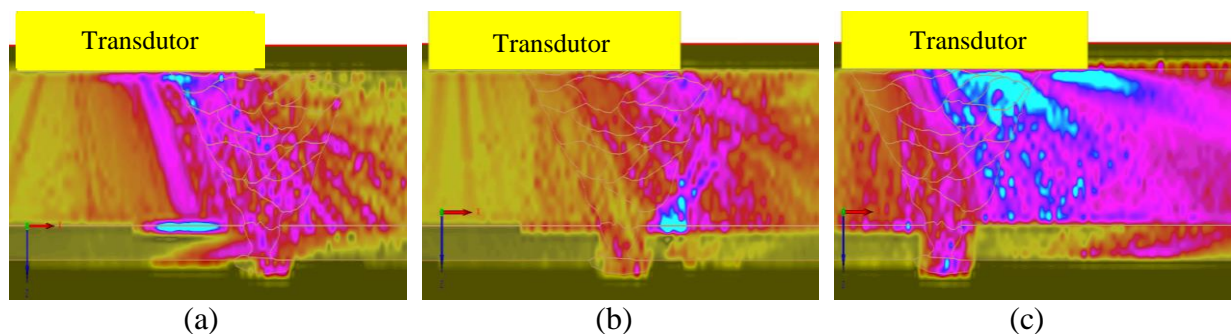


Figura 14 - Simulação de inspeção por US-PA. Ondas longitudinais. Conjunto Transdutor 5L64-A12 / Sapata SA12N60L. Varredura linear: 50°; Elementos ativos: 32; 1° elemento: 1. (a) Index: 5 mm. (b) Index: 20 mm. (c) Index: 25 mm. CIVA 11.0®.

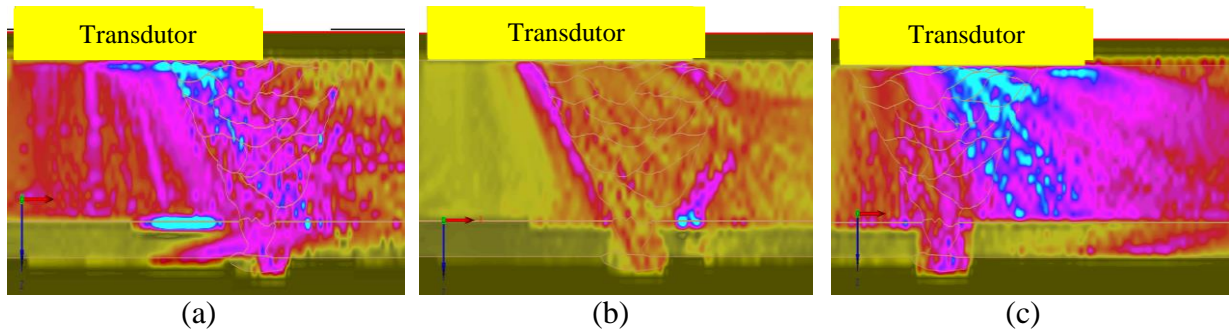


Figura 15 - Simulação de inspeção por US-PA. Ondas longitudinais. Conjunto Transdutor 5L64-A12 / Sapata SA12N60L. Varredura linear: 55°; Elementos ativos: 32; 1° elemento: 1. (a) Index: 0 mm. (b) Index: 17 mm. (c) Index: 35 mm. CIVA 11.0®.

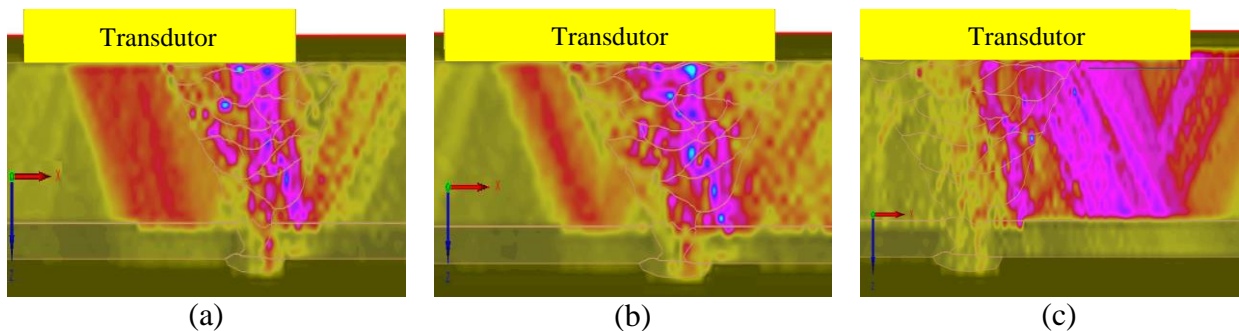


Figura 16 - Simulação de inspeção por US-PA. Ondas longitudinais. Conjunto Transdutor 2,25L64-A2 / Sapata SA2N45L-2L64. Varredura linear: 50°; Elementos ativos: 32; 1° elemento: 1. (a) Index: 10 mm. (b) Index: 20 mm. (c) Index: 40 mm. CIVA 11.0®.

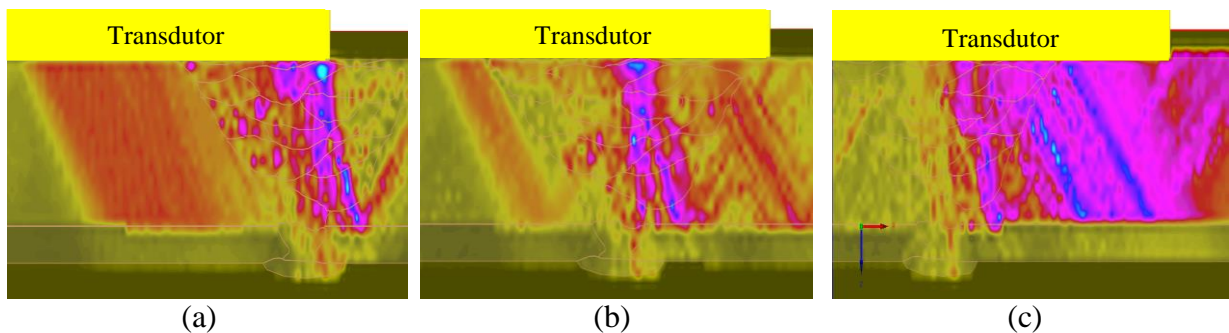


Figura 17 - Simulação de inspeção por US-PA. Ondas longitudinais. Conjunto Transdutor 2,25L64-A2 / Sapata SA2N45L-2L64. Varredura linear: 55°; Elementos ativos: 32; 1° elemento: 1. (a) Index: 5 mm. (b) Index: 20 mm. (c) Index: 38 mm. CIVA 11.0®.

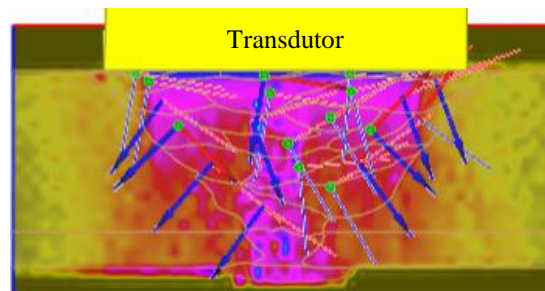


Figura 18 - Simulação de inspeção por US-PA. Ondas longitudinais. Conjunto Transdutor 5L64-A12 / Sapata SA12-0L. Varredura linear: 0°; Elementos ativos: 16; 1° elemento: 1. Index: 29 mm. CIVA 11.0®.

Pode ser observado analisando as Figuras 11 a 17 que os feixes sônicos ao se propagarem no material ferrítico API 5L X70 (meio isotrópico) apresentam perfis com boa penetração. Quando o feixe sônico atinge a solda de Inconel® 625 (meio anisotrópico), ocorre grande perturbação do formato original do perfil sônico para as ondas longitudinais e transversais. Deslocamentos quanto à localização e dimensionamento das descontinuidades podem ocorrer devido a esta perturbação.

O feixe sônico ao incidir na região de interface entre o material ferrítico API 5L X70 e o revestimento de Inconel® 625 sofreu grande atenuação devido à dificuldade em se propagar para o segundo meio. As regiões de maior pressão sônica (de coloração azul) estão mais presentes nas simulações que utilizaram o maior index na configuração, pois nesta região o feixe sônico percorre uma área menor na região da solda sofrendo menor influência da estrutura anisotrópica do material e conseqüentemente, menor atenuação.

A simulação pelo software CIVA colaborou neste trabalho para a confirmação das possíveis trajetórias do feixe sônico no interior de soldas austeníticas. As comparações feitas com os resultados experimentais e as inspeções realizadas apresentaram resultados bastante similares quanto à avaliação da atenuação e dispersão do feixe.

3.3 Atenuação, Velocidade dos Materiais e Relação Sinal/Ruído

A atenuação e velocidade sônica das ondas longitudinais e transversais foram verificadas. A Tabela 12 mostra os valores encontrados para as regiões: metal de base (MB)/revestimento *Lined* e para a solda.

Tabela 12 – Valores medidos de Velocidade e Atenuação Sônica

Parâmetros	Tipo de Onda	Região MB/Revestimento	Região da Solda
Velocidade (m/s)	Longitudinal	5793,6	5911,6
	Transversal	3264,6	2944,6
Atenuação (dB/mm)	Longitudinal	0,10	0,44
	Transversal	0,12	0,26

Os valores encontrados estão próximos do que se tem disponível em bibliografia para o Inconel® 625. A variação de velocidade medida foi menor que 2% do valor teórico.

O valor da atenuação depende do tamanho, forma, distribuição das orientações e anisotropia dos grãos (Ploix et al, 2006). A atenuação foi maior na solda devido a alterações de velocidade que a onda sofre na microestrutura e anisotropia desta região.

A melhor relação sinal/ruído apresentada foi para os ângulos de 50° e 55°, onde o ganho referente ao sinal proveniente do ruído foi 21,7 e 20,1 dB respectivamente. O nível de ruído aumenta com o aumento da frequência acústica. O uso de sondas de baixa frequência (1 a 2,25 MHz) é recomendado para minimizar o nível de ruído destes materiais (United Kingdom Atomic Energy Authority Northern Division, 1985).

3.4 Avaliação da Inspeção por Ultrassom através da Técnica Phased Array

A velocidade sônica adotada influencia diretamente na localização e no dimensionamento das descontinuidades, pois sofre alterações devido à microestrutura do material austenítico. Um aumento de tamanho de grão resulta na redução da velocidade sônica.

Quando o feixe ultrassônico se propaga através de uma microestrutura austenítica, a direção de propagação pode não ser a mesma que a do feixe incidente, sendo a direção exata dependente da orientação do grão. Esta variação da trajetória do feixe causada pela anisotropia pode levar a erros na localização e dimensionamento de defeitos (United Kingdom Atomic Energy Authority Northern Division, 1985).

4. CONCLUSÃO

O transdutor de 2,25MHz apresentou um melhor desempenho, pois frequências mais baixas minimizam o nível de ruído em materiais austeníticos. O nível de ruído aumenta com o aumento da frequência acústica.

Para a inspeção da região da solda, o modo de propagação por ondas longitudinais com ângulo de 50° apresentou melhores resultados, pois essas ondas são menos sensíveis à microestrutura do material quando comparadas as ondas transversais e o ângulo de 50° proporciona melhor relação sinal/ruído na propagação do feixe sônico.

O revestimento austenítico não impede que um componente seja examinado, mas irá impor limitações que devem ser compreendidas pelos profissionais de ultrassom. A atenuação que o feixe ultrassônico sofre na passagem pelo revestimento é significativamente maior do que o que seria esperado para componentes não revestidos.

Agradecimentos

Ao Instituto de Tecnologia Solda Firjan SENAI pelo incentivo e apoio durante a realização do trabalho.

REFERÊNCIAS

- Carpentier, C; Nageswaran, C; Tse, Y. Y. (2010), “*Evaluation of a New Approach for the inspection of Austenitic Dissimilar Welds Using Ultrasonic Phased Array Techniques*”, Proc 10th ECNDT conference, Moscow.
- Ghaemi, M. (s.d.), “*Codes for Automatic Ultrasonic Testing (AUT) of Pipeline Girth Welds*”.
- Hudgell, R. J. (1994), “*Handbook on the ultrasonic examination of austenitic clad steel components*”, European Commission Joint Research Centre.
- Kejelin, N. Z; Buschinelli D. A; Bohórquez, A. J; Niño, C. E. (s.d.), “*Soldagem Dissimilar do Aço X-60 com Inconel 625*” (*Dissimilar Metal Welding of X-60 Steel with Inconel 625*).
- Kupperman, D. S; Reimann, K. J; Kim, D. I. (1980), “*Ultrasonic characterisation and microstructure of stainless steel weld metal. In: Proc. of Symposium on Microstructural Characterisation and Reliability Strategies*”, Pennsylvania (United States).
- Marques, P. V.; Modenesi, P. J.; Bracarense, A. Q. Soldagem: Fundamentos e Tecnologia. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2007.
- Nageswaran, C.; Tat-Hean Gan. (2013), “*Application of Phased Array Ultrasonic Inspection of Girth Welds for Clad Pipelines*”. Disponível em: <<http://www.ndt.net/article/apcndt2013/papers/048.pdf>>.

- Ploix, M. A; Guy, P; El Guerjouma, R; Moysan, J; Corneloup, G; Chassignole, B. (2006), “*Attenuation Assessment for NDT of Austenitic Stainless Steel Welds*”. In: European Conference on Non Destructive Testing, 9, 2006. Anais... Berlin (Alemanha).
- Schubert, F; Scholz, H; Heilmann, P; Schallert, R; Froehlich, M; Heilmann, S; Barth, M; Hillmann, S; Bor, Z; Meyendorf, N. (2012), “A New Ultrasonic Phased Array Testing System for Dissimilar Welds”. 18th World Conference on Nondestructive Testing, Durban - South Africa.
- Silk, M. G.; Stoneham, A. M.; Temple, J. A. G. (1987), “*The Reliability of Non-destructive Inspection – Assessing the assessment of structures under stress*”, Adam Hilger, Bristol.
- The International Institute Of Welding. (1994), “*Handbook on the Ultrasonic Examination of Austenitic Clad Steel Components*”. Miami: The American Welding Society.
- United Kingdom Atomic Energy Authority Northern Division. (1985), “*The Ultrasonic Inspection of Austenitic Materials – State of the Art Report*”. Oxfordshire: OECD Nuclear Energy Agency.
- Van Der Ent, J; Findlay, N; Portzgen, N; Nupen, O; Endal, G; Førli, O. (2006), “*Automatic Ultrasonic Inspection Of Pipeline Girth Welds With A Corrosive Resistant Alloy (CRA) Layer*”. In: Asia-Pacific Conference on NDT, 12, 2006. Anais... Auckland (New Zealand).
- Welding Handbook – Materials And Applications – PART 2. v.4 – 8th edition. (1998), American Welding Society. Miami, Fl. 621 p.