



APLICAÇÃO DO ENSAIO DE ULTRASSOM PHASED ARRAY EM RODA FERROVIÁRIA¹

Camila Stephanie Gonçalves | camilastephaniegofe@hotmail.com | FATEC de Pindamonhangaba

Thiago José da Silva Rodrigues | thiagorodrigues511@gmail.com | UNITAU

Jorge Luiz Rosa | jorge.rosa2@fatec.sp.gov.br | FATEC de Pindamonhangaba

Marcelo Bergamini de Carvalho | mabcarvalho@hotmail.com | FATEC de Pindamonhangaba

Emerson Augusto Raymundo | emersonaugustoray@gmail.com | FATEC de Pindamonhangaba

José Rubens de Camargo | jrubenscamargo@gmail.com | UNITAU | FATEC de Pindamonhangaba

RESUMO

O presente trabalho técnico aborda conceitos e aplicações sobre o ensaio não destrutivo de ultrassom, comparando o método tradicional utilizado nos cabeçotes monocristais, com a técnica Phased Array (P.A.), onde utiliza os transdutores com multielementos. A Inspeção P.A. tem muito em comum com o ultrassom convencional, uma vez que a física da propagação de ondas, reflexão, refração, conversão de modo, e difração permanecem os mesmos. A diferença está no método de gerar e receber as ondas ultrassônicas. Neste trabalho foi realizada aplicação prática de ambos os métodos, para isto foi utilizada uma máquina de ultrassom automático exclusiva para inspeção de rodas ferroviárias. Destacou-se o ensaio de ultrassom P.A., por ser uma técnica mais versátil, além de proporcionar rapidez, economia e confiabilidade nos resultados dos ensaios.

Palavras-chave: Ultrassom; Ensaios Não Destrutivos; *Phased Array*; Roda Ferroviária.

INTRODUÇÃO

Os Ensaios Não Destrutivos (END's) são definidos como testes para o controle da qualidade, de peças acabadas ou semi-acabadas. São utilizados para a detecção de falta de homogeneidade ou defeitos, por meio de princípios físicos definidos, sem prejudicar a posterior utilização dos produtos inspecionados. Constituem uma das principais ferramentas do controle da qualidade e são utilizados na inspeção de produtos soldados, fundidos, forjados, laminados, entre outros, com vasta aplicação nos setores petroquímico, nuclear, aeroespacial, siderúrgico, naval, papel e celulose, autopeças e ferroviário (BRIZZI, 2011).

O método a ser utilizado depende das propriedades físicas do material. Um conhecimento geral dos métodos de END disponíveis faz-se necessário para a seleção do método mais adequado.

Podem-se citar algumas situações típicas em que os ensaios não destrutivos são aplicados:

¹ Artigo publicado nos Anais do XXIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XIX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e IX Encontro de Iniciação à Docência - Universidade do Vale do Paraíba 2019.

melhoramento da confiabilidade de produtos para serem aceitos por uma determinada norma, prevenção de acidentes, redução de custos e gerar informações para reparo (BRIZZI, 2011).

Alguns dos métodos utilizados são: análise de vibrações, correntes parasitas, emissão acústica, ensaio visual, partículas magnéticas, ultrassom. Neste trabalho será abordado somente a técnica de ultrassom (GONÇALVES, 2016).

O ensaio de ultrassom distingue-se por ser um método não destrutivo com a finalidade de detectar discontinuidades internas em diversos tipos ou formas de materiais ferrosos e não ferrosos. Com o uso de aparelhos especiais, é possível detectar as reflexões oriundas do interior da peça inspecionada, localizando e interpretando os possíveis defeitos (ABATI, 2015).

METODOLOGIA

Os transdutores ultrassônicos são classificados por quatro características, estas descritas no Quadro 1.

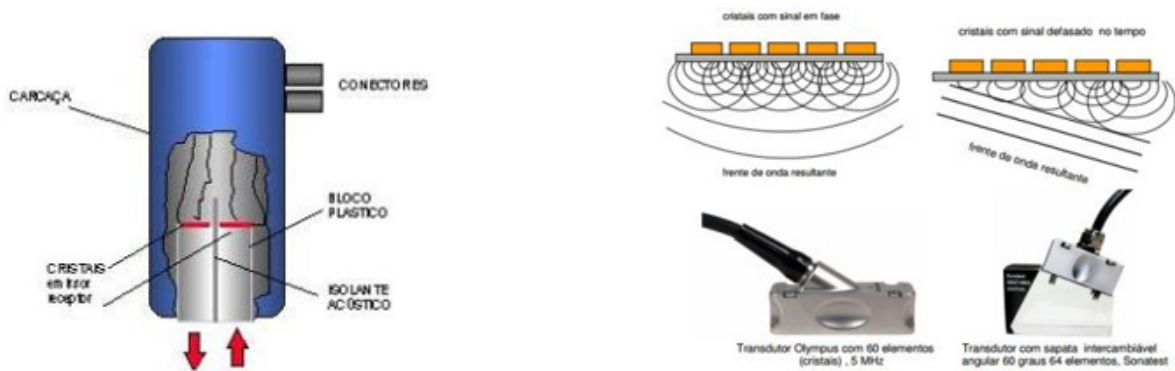
Função	Tipo de Incidência	Número de cristais	Tipo de Contato
Emissor	Normal	Monocristal	Direto
Receptor	Angular	Policristal (<i>Phased Array</i>)	Imersão
Emissor receptor	-	-	-

Fonte: ABATI, 2015.

O transdutor duplo-cristal (Figura 1, lado esquerdo) é mais utilizado na detecção de discontinuidades próximas da superfície, maior que 3 mm de profundidade e em medição de espessura, devido ao seu feixe sônico focalizado. Via de regra, deve-se verificar qual a faixa de espessura que se pretende medir, e o modelo do cabeçote ideal (ANDREUCCI, 2016).

Devido às particularidades dos transdutores *Phased Array* (Figura 1, lado direito), é possível numa única varredura deste inspecionar o material com vários ângulos de refração diferentes de uma só vez, já que a mudança do ângulo é feita eletronicamente. Isso significa uma maior velocidade de inspeção, principalmente em soldas, onde no mínimo são recomendados dois ângulos diferentes (ANDREUCCI, 2016).

Figura 1 - Transdutor duplo cristal e transdutores *Phased Array*



Fonte: THE ULTRAN GROUP, 2017; ANDREUCCI, 2016.

O TRANSDUTOR PHASED ARRAY

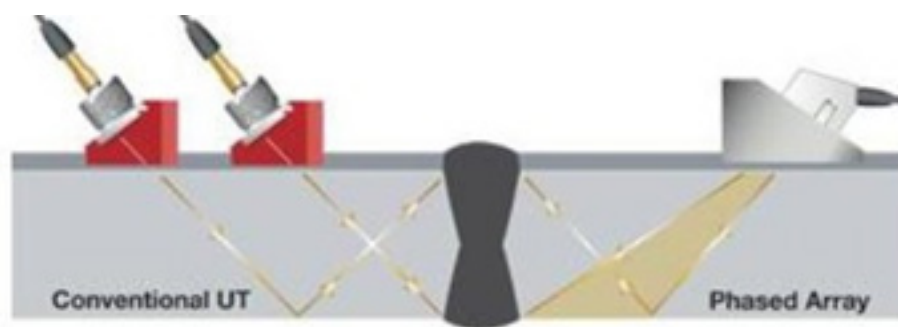
Os transdutores tradicionais utilizam no máximo dois cristais, cuja excitação do cristal é orientada pelo próprio aparelho e sempre da mesma forma. Com o avanço da tecnologia dos computadores, com processadores e circuitos mais rápidos, e principalmente de materiais piezocompostos para fabricação de novos cristais, desde os anos 90 foi possível o desenvolvimento de uma tecnologia especial em que num mesmo transdutor operam dezenas (de 10 a 256 elementos) de pequenos cristais, cada um ligado à circuitos independentes capazes de controlar o tempo de excitação independentemente dos outros cristais. O resultado é a modificação do comportamento do feixe sônico emitido pelo conjunto de cristais ou pelo transdutor. A Figura anterior mostra o conjunto de cristais operando em fase, isto é, o aparelho de ultrassom executa a excitação dos cristais todos no mesmo tempo, e o resultado é uma onda perpendicular ao plano da superfície (ANDREUCCI, 2016).

Segundo Gonçalves (2016) as principais vantagens dos transdutores Phased Array são:

- Variedade de pontos focais para um mesmo transdutor;
- Variedade de ângulos de incidência para um mesmo transdutor;
- Varredura do material de forma eletrônica do feixe sônico;
- Variedade dos modos de inspeção;
- Maior flexibilidade para inspeção de juntas complexas.

A Figura 2 apresenta a diferença do ângulo de incidência de um transdutor convencional para um transdutor com oito elementos da *Phased Array*. Sendo assim, o feixe ultrassônico tem a capacidade de realizar a varredura no componente em diversos ângulos, aumentando assim a probabilidade de detectar trincas em orientações que dificilmente seriam registradas ou analisadas utilizando transdutores com ângulo de incidência fixo (COSTA, 2011).

Figura 2 - Diferença entre transdutores monocristais e Phased Array.

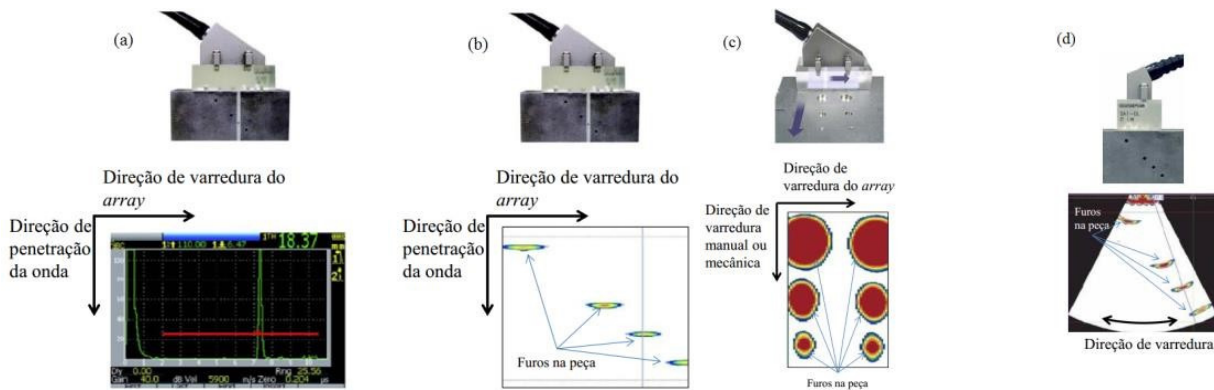


Fonte: ABATI, 2015.

MODOS DE EXIBIÇÃO

Com o transdutor *Phase Array* também é possível fazer uma varredura da peça inspecionada sem a necessidade de movimentar a sonda, ativando apenas um grupo de elementos de cada vez. Essa característica possibilita a criação de uma imagem de perfil (*B-scan*) do material inspecionado a partir das formas de onda gravadas em função do tempo (*A-scan*). Nessas imagens, a amplitude da onda é geralmente representada em escala de cor, o eixo vertical representa o caminho percorrido pela onda na peça e o vertical a direção da varredura. Outros tipos de imagens podem ser gerados com uma sonda de *array* como, por exemplo, o *C-scan* onde é feita uma imagem do topo da peça. Nesse caso existe uma varredura física em uma direção e uma varredura eletrônica do *array* na outra direção do plano. Outro tipo de imagem é o *S-scan*, uma imagem setorial que pode ser gerada com *arrays* criada a partir de feixes direcionados em sucessivos ângulos na peça usando um mesmo conjunto de elementos e distância focal (JUNIOR, 2015). Exemplos de imagens *A-scan*, *B-scan*, *C-scan* e *S-scan* de peças com furos simulando defeitos são mostrados na Figura 3.

Figura 3 - Tipos de sistema Phased Array . (a) A-Scan; (b) B-Scan; (c) C-Scan; (d) S-Scan



Fonte: adaptado de OLYMPUS, 2010.

RESULTADO DO USO DO ULTRASSOM PHASED ARRAY EM RODA FERROVIÁRIA

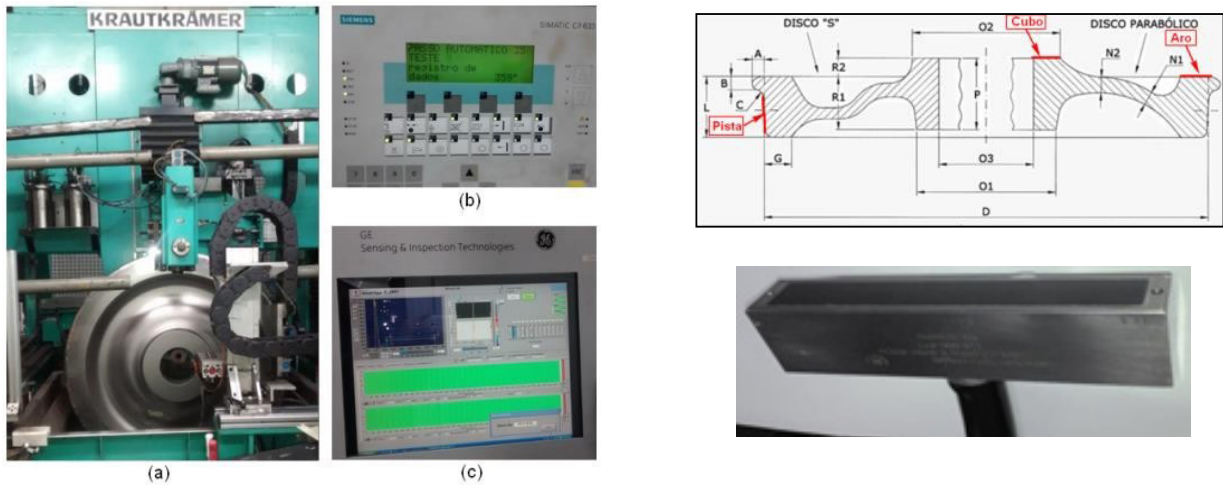
Para garantir a integridade das rodas ferroviárias, a mesma também deve ser inspecionada pelo método não destrutivo de ultrassom, pois eventualmente durante o processo de fabricação pode ocorrer o aparecimento de discontinuidades. Tendo em vista que esses danos podem ser de grande impacto, ou seja, acidentes fatais, ambientais, recalls, entre outros. Este trabalho técnico mostra a importância do ensaio de ultrassom para controlar a qualidade dos materiais, constatar o atendimento de normas e especificações aplicáveis, prevenir acidentes, reduzir custos, preservar a vida e o meio ambiente.

Conforme definido em normas internacionais e procedimentos de qualidade independentes, as partes das rodas a serem inspecionadas são; aro, pista e cubo. A Figura 4 (lado direito) mostra um desenho em corte de uma roda ferroviária qualquer identificando as dimensões básicas e a nomenclatura de cada parte.

MÁQUINA AUTOMÁTICA DE ULTRASSOM PHASED ARRAY

O equipamento demonstrado neste trabalho é de fabricação alemã da marca Krautkramer com upgrade eletrônico Phased Array e com comandos automáticos via PLC Siemens. Na Figura 4 pode-se visualizar a câmara de ensaio, assim como o painel do PLC e a Interface do software.

Figura 4 - Visualização do equipamento de ultrassom Phased Array. (a) Câmara de ensaio; (b) Painel do PLC Siemens; (c) Interface do software e Cabeçote Phased Array no lado direito.

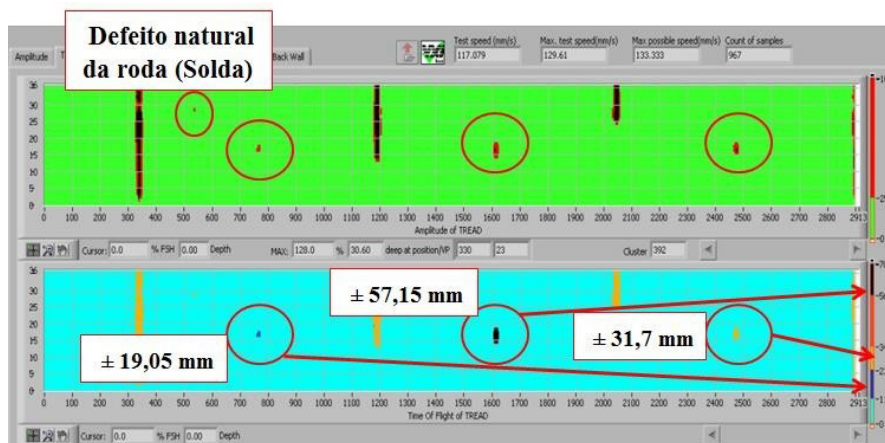


Fonte: o autor

CALIBRAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE ULTRASSOM E CRITÉRIO DE REJEIÇÃO CONF. AAR M-107

Os registros das inspeções de ultrassom devem ser mantidos por um período de 10 anos, incluindo amplitude e posição axial e radial de cada indicação superior a 15% da tela, e abaixo de 25% do limite da tela. As rodas com amplitude entre 19% e 25% deverão ser testadas novamente pelo processo de ultrassom manual (AAR M-107, 2011). No instante em que o ensaio é realizado a interface do software mostra em tempo real a representação gráfica dos resultados obtidos na calibração da máquina utilizando o padrão M1063-AAR. A Figura 5 mostra a representação gráfica e a análise do resultado da calibração utilizando o padrão de roda M1063-AAR.

Figura 5 - Resultado da análise detalhada do ensaio realizado no padrão M1063-AAR.



Fonte: o autor.

ENSAIO DE ULTRASSOM PHASED ARRAY EM RODA FERROVIÁRIA

Para realização do ensaio de ultrassom Phased Array foi utilizada uma roda sucata com descontinuidades já conhecidas. Na Figura 6 pode-se visualizar a entrada da roda na câmara de inspeção. Após a entrada da roda na máquina a mesma é posicionada dentro do tanque de imersão para que seja realizado o ensaio 100% automático.

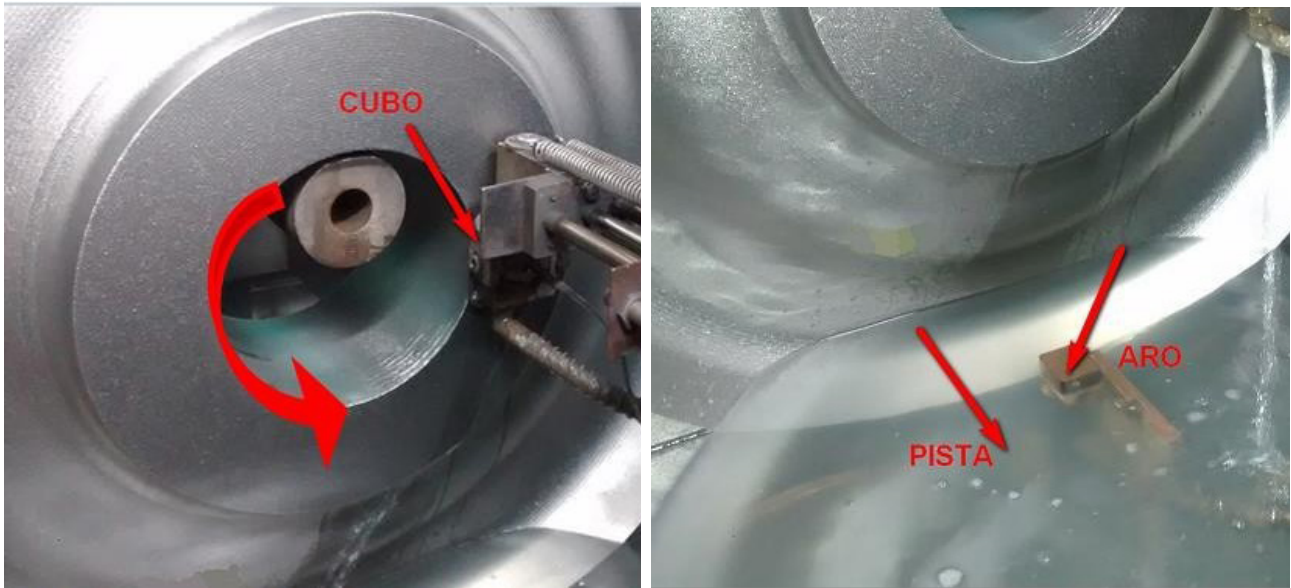
Figura 6 - Posicionamento da roda dentro do tanque de imersão e cabeçote no cubo da roda



Fonte: o autor

Posicionada a roda no tanque de imersão, imediatamente os cabeçotes são acionados via PLC e com o auxílio do software de inspeção iniciam a varredura na roda. Segundos depois de posicionar os cabeçotes o PLC aciona o motor do eixo central fazendo que a roda gire controladamente no sentido anti-horário. O ciclo da inspeção dura aproximadamente 150 segundos. A Figura 7 (lado esquerdo) mostra em detalhe o posicionamento do cabeçote convencional de duplo cristal realizando o ensaio de ultrassom no sentido axial do cubo. A Figura 7 (lado direito) mostra o posicionamento dos cabeçotes Phased Array submersos realizando o ensaio de ultrassom no sentido axial do aro (128 x 0,7 x 5 MHz) e radial à pista (128 x 1,0 x 5 MHz).

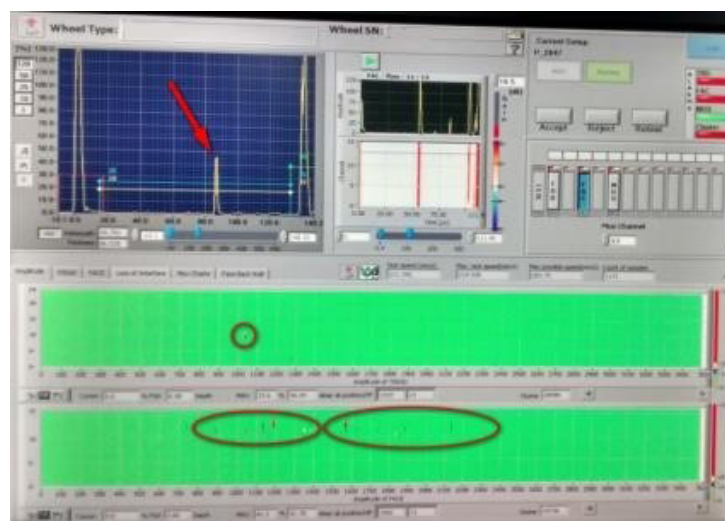
Figura 7 - Cabeçote para o ensaio axial do cubo - duplo cristal (6X27X5MHz).



Fonte: o autor

A Figura 8 mostra de forma clara e objetiva o defeito e o critério de rejeição utilizado na inspeção. Apesar de terem sido detectadas aproximadamente 12 descontinuidades, apenas uma foi reprovada pelo critério de rejeição da norma AAR. A linha azul, traçada a 25% da escala, representa a máxima amplitude que o sinal da descontinuidade não deve ultrapassar para que a roda esteja dentro dos critérios de aceitação. O pico indicado pela seta vermelha, visualizado a uma amplitude de 45%, representa uma descontinuidade de aproximadamente três milímetros.

Figura 8 - Detecção de defeitos na pista e no aro da roda com auxílio dos cabeçotes *Phased Array*.



Fonte: o autor.

CONCLUSÃO

A inspeção por ultrassom constitui em um método não destrutivo importantíssimo na indústria, sendo um instrumento imprescindível para o controle da qualidade do produto acabado. A técnica Phased Array, destaca-se pela utilização de um cabeçote composto por um mosaico de transdutores ativados por software, de modo a produzir um feixe sônico com as características desejadas. Além da possibilidade de realizar uma varredura setorial criando um sistema preciso e exato sobre a análise de qualquer peça a ser inspecionada, neste caso uma roda ferroviária. O ultrassom Phased Array oferece vantagens significativas em relação ao método convencional, como maior produtividade na inspeção (economia), otimização na detecção dos defeitos ou discontinuidades, aumento na credibilidade, registro da inspeção em banco de dados com imagens.

REFERÊNCIAS

- AAR M-107 - Railway Wheels **Manual of Standards and Recommended Practices** - Section G. Washington. 2011.
- ABATI, G. F. **Desenvolvimento de Sistema de Inspeção de Materiais com Uso de Ultrassom**. Programa Institucional de Iniciação Científica do CNPq - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ. 2016.
- ANDREUCCI, R. **Ensaio de ultrassom**. Editora Abendi Julho - 2016
- BRIZZI, D. **Ensaio não destrutivos: metrologia e calibração**. Monografia - Universidade Julio Mesquita Filho, Botucatu, SP. 2011.
- COSTA, A. C. **Ensaio por ultrassom com as técnicas convencional A-Scan e Phased Array em juntas soldadas dissimilares de aços carbono e aço inoxidável austenítico**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, MG. 2011.
- GONÇALVES, V. V. **Investigação do efeito de não uniformidades em compósito de fibra de carbono na velocidade das ondas Lcr com o uso do Phased Array**. Universidade de Campinas, Campinas, SP. (2016).
- JUNIOR, P. J. **Avaliação do Efeito da Microestrutura na Velocidade de Propagação de Ondas Longitudinais Criticamente Refratadas Utilizando Arrays Ultrassônicos**. Tese de Doutorado. Universidade de Campinas - Campinas, SP. 2015.
- OLYMPUS. **Phased Array Testing - Basic Theory for Industrial Applications**. Waltham: Olympus NDT. 2010.
- THE ULTRAN GROUP, **Non-Contact Ultrasound, Composites Analysis**. Disponível em :<http://www.ultrangroup.com>. Acesso em 14/08/ 2017.