

## Formação e análise de imagens ultrassônicas

### Ultrasonic image beamforming and analysis

#### RESUMO

**Daniele Sayuri Ono**

[Ono.1998@alunos.utfpr.edu.br](mailto:Ono.1998@alunos.utfpr.edu.br)

Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná, Cornélio Procópio, Brasil

**Vander Teixeira Prado**

[Vanderprado@utfpr.edu.br](mailto:Vanderprado@utfpr.edu.br)

Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná, Cornélio Procópio, Brasil

Exames ou ensaios não destrutivos por ultrassom são métodos extremamente vantajosos com relação aos demais como por exemplo raio-X e ressonância magnética, uma vez que não ocorre a utilização de radiação ionizante, tornando-o inofensivo ou minimamente ofensivo. O método de obtenção de imagens ultrassônicas se dá por meio do processamento de sinais obtidos com o uso de transdutores de ultrassom, responsáveis por converter ondas elétricas em mecânicas e vice-versa, assim como por emitir e receber as ondas mecânicas no objeto de análise. O principal objetivo deste trabalho é apresentar o processo de formação de uma imagem por ultrassom e analisar as características da imagem resultante. Para isso considerou-se um *array* de transdutores pontuais e um conjunto de dados simulados para um único refletor localizado à frente dos sensores. Plotaram-se duas imagens, sendo uma em coordenadas cartesianas e uma em coordenadas polares. Ambas destacaram o refletor com um elevado contraste. Entretanto, observou-se que embora o refletor simulado seja um ponto, este é representado nas imagens obtidas como uma área, significando uma limitação na resolução espacial.

**PALAVRAS-CHAVE:** Imagem. Ultrassom. Processamento de sinais. Transdutores ultrassônicos. Resolução.

**Recebido:** 19 ago. 2019.

**Aprovado:** 01 out. 2019.

**Direito autoral:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



#### ABSTRACT

Ultrasonic non-destructive industrial and medical tests are extremely advantageous methods with respect to others such as X-ray and magnetic resonance imaging, as there is no use of ionizing radiation, making it harmless or minimally offensive. The ultrasonic image is obtained by processing the signals acquired through ultrasonic transducers, which convert electrical to mechanical waves. The main goal of this paper is to present the image beamforming and analysis. A transducers array with point elements and a single point reflector were simulated and ultrasonic images were obtained using Cartesian and polar coordinates. In both images the reflector is highlighted with a high contrast. However, the point reflector is represented as a finite area, which is related to a spatial resolution limitation.

**KEYWORDS:** Image. Ultrasound. Signal processing. Ultrasonic transducers. Resolution.

## INTRODUÇÃO

Há diversas aplicações para o ultrassom em distintas áreas, como na medicina e na área industrial. Exemplos de aplicações na área médica enquadram a verificação de tumores, inflamações, doenças de depósito, estreitamento de vasos, variação da anatomia, lesões, tratamento de gordura localizada, cirurgias acústicas, entre outros. Já na área industrial pode-se citar soldagem de plásticos, corte com ultrassom, cavitação acústica, identificação de defeitos, entre outros.

Como o método de ultrassom não utiliza radiação ionizante, este é considerado um método não invasivo ou insignificamente invasivo, e por não apresentar efeitos nocivos quando aplicado em baixa potência na área da medicina, torna-se um método muito mais vantajoso do que outros métodos como raio-X, tomografia, entre outros, haja vista que os mesmos liberam radiação ou apresentam um campo magnético elevado, como é o caso da ressonância magnética (LIMA; ANDRÉ; SANTOS, 2013).

A imagem ultrassônica é obtida a partir do processamento dos sinais captados por meio de transdutores, os quais convertem um sinal elétrico em onda mecânica, que por sua vez se propaga no meio a ser inspecionado. As ondas de eco são convertidas em sinais elétricos, novamente pelos transdutores, obtendo-se assim um conjunto de dados a ser processado e analisado.

Uma técnica utilizada para a obtenção da imagem de ultrassom é a de transdutores matriciais, ou *arrays*. *Arrays* são definidos como um conjunto de transdutores geometricamente arranjados seguindo determinados padrões, onde o seu feixe acústico pode ser eletronicamente controlado, sem a necessidade de mover os transdutores (PRADO, 2014). A focalização e a deflexão são feitas a partir da aplicação de atrasos na excitação dos elementos do transdutor, podendo ser calculada para gerar frentes de ondas individuais, onde a combinação destrutiva ou construtiva resulta em uma única frente de onda que irá se propagar através do material (PRADO, 2014).

O presente trabalho tem por objetivo apresentar o processo de formação de uma imagem por ultrassom, assim como analisar as características da imagem resultante.

## METODOLOGIA

Uma imagem ultrassônica pode ser considerada uma matriz de dados em  $R^2$  em que cada elemento representa um ponto no espaço, seja um par  $(x,y)$  em coordenadas cartesianas ou  $(r,\theta)$  em coordenadas polares. Portanto, determina-se a região de formação de imagem, assim como o nível de discretização do mesmo, isto é, qual o incremento em  $x$  e  $y$ , por exemplo. Quanto maior a dimensão da matriz, melhor será a resolução espacial. Contudo, maior será a quantidade de dados, o que aumenta o custo computacional de processamento e armazenamento. De acordo com o valor de cada elemento, ou seja, a intensidade de cada pixel, pode-se determinar a presença ou ausência de um refletor, o qual pode ser parte da estrutura ou um defeito, no caso de ensaios não-destrutivos ou mesmo um cisto, uma pedra ou um feto, no caso de imagens médicas.

Considerando-se um *array* de transdutores de ultrassom linear, isto é,  $N$  sensores de ultrassom equidistantes dispostos em uma linha, centrado na origem, a imagem para um dado ponto pode ser descrita como:

$$I(x, y) = \frac{1}{N^2} \sum_{T=1}^N \sum_{R=1}^N v_{TR}(\tau_{TR}(x, y)), \quad (1)$$

sendo  $v_{TR}(t)$  o sinal ultrassônico emitido pelo sensor  $T$  e recebido pelo sensor  $R$ ; e  $\tau_{TR}(x, y)$  o tempo de propagação do som do emissor para o ponto  $(x, y)$  e deste para o receptor, o qual, para materiais isotrópicos, pode ser calculado pela relação entre a distância percorrida e a velocidade do som no material (PRADO, 2014).

Por se tratar de um primeiro trabalho na área considera-se um *array* de transdutores pontuais e um conjunto de dados simulados para um único refletor, também pontual, localizado à frente do *array*.

## RESULTADOS

A formação da imagem foi realizada com o *software* MATLAB por familiaridade do autor com o mesmo e disponibilidade na instituição, mas poderia ser desenvolvida em *softwares* similares como Octave, Scilab, Python, entre outros.

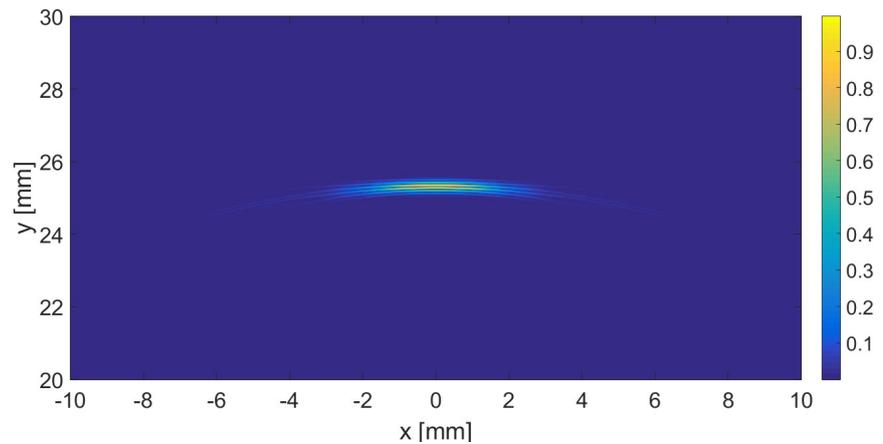
O conjunto de dados simulados considera 16 elementos pontuais espaçados entre si de 0,154 mm e um refletor pontual em  $(x, y) = (0, 25)$  [mm], ou  $(r, \theta) = (25, 90)$  [mm, °] em um material isotrópico cuja velocidade de propagação do som é de 1540 m/s. O sinal utilizado é uma senoide de 5 MHz com 4 ciclos e envoltória Gaussiana e frequência de amostragem de 100 MHz.

Para obter a imagem utilizando coordenadas cartesianas, determinou-se uma área com  $x$  variando de -10 mm a 10 mm e  $y$  de 20 mm a 30 mm, ambos com espaçamento de 10  $\mu$ m. Em coordenadas polares fez-se  $r$  variando de 20 mm a 30 mm, com espaçamento de 100  $\mu$ m e  $\theta$  de 1,047 rad a 2,094 rad com espaçamento de 174,53  $\mu$ rad.

Para diminuir o tempo de processamento devido a laços “for” no algoritmo, utilizou-se o comando *meshgrid* no MATLAB para obter duas matrizes auxiliares para a área da imagem, calculando todos os pixels da matriz de uma só vez para cada combinação transmissor-receptor, somando-se o valor encontrado de cada pixel ao valor obtido para a combinação anterior.

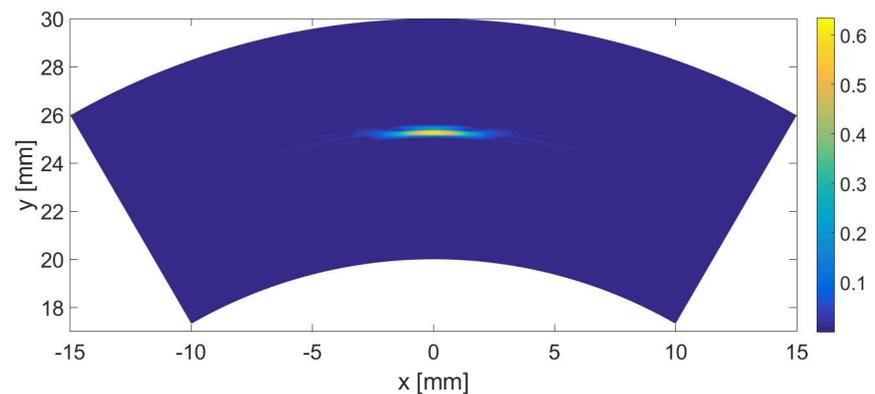
O resultado obtido pode ser visualizado nas Figuras 1 e 2, para coordenadas cartesianas e polares, respectivamente. Ambas destacam o refletor com elevado contraste, diferenciando-as apenas na coordenada de visualização. Embora para análises visuais, dependendo da aplicação, comumente o ser humano está mais condicionado a utilizar coordenadas cartesianas, em alguns casos esta imagem é utilizada como uma etapa de processamento para chegar a uma imagem melhor, e neste caso a imagem em coordenadas polares pode ser mais interessante (GARCIA; PRADO; HIGUTI, 2018).

Figura 1 – Formação da imagem em coordenadas cartesianas



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 2 – Formação da imagem em coordenadas polares



Fonte: Elaborada pela autora.

Observa-se também que apesar de o refletor simulado ser um ponto, este é representado na imagem obtida como uma área, o que significa uma limitação na resolução espacial, o que poderia causar erros de interpretação no caso de dois refletores próximos. Na prática utilizam-se comprimentos de onda menores que os refletores a serem analisados na inspeção ou técnicas de processamento para aumentar a resolução.

A resolução axial (na direção da propagação) pode ser alterada modificando-se o sinal de excitação (frequência e número de ciclos) e a resolução lateral modificando-se a quantidade de elementos do *array*, os espaçamentos entre eles e/ou utilizando-se diferentes pesos para cada elemento, conhecido como apodização (VELICHKO; WILCOX, 2008).

## CONCLUSÃO

A imagem de ultrassom se torna vantajosa já que não ocorre a utilização de radiação ionizante, fazendo com que seja inofensiva ou minimamente ofensiva, diferentemente de outros métodos utilizados para exames ou ensaios não destrutivos, como tomografia, raio-X, ressonância magnética, entre outros.

O trabalho apresentou um método de formação de imagens ultrassônicas a partir de um conjunto de dados simulados, tanto em coordenadas cartesianas como em coordenadas polares, o qual será empregado em trabalhos futuros para melhoria da qualidade de imagens por ultrassom. Embora na simulação tenha se considerado o caso de um refletor pontual, observa-se uma limitação com relação à resolução espacial na representação do objeto na imagem resultante, o que será alvo de estudos de trabalhos futuros, alterando-se a estrutura dos elementos e/ou inserindo técnicas de processamento na técnica de formação da imagem, assim como a utilização de sinais experimentais.

### REFERÊNCIAS

GARCIA, V. L. ; PRADO, V. T. ; HIGUT, R. T. **Utilização da modulação de fase para melhoria da resolução lateral em imagens ultrassônicas.** In: XXII Congresso Brasileiro de Automática, 2018, João Pessoa. Conference Proceedings - XXII Congresso Brasileiro de Automática - CBA 2018, 2018.

LIMA, Joice L. S.; ANDRÉ, Alexandra; SANTOS, António C. Reprodução e estudo de artefatos no ultrassom. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 7, n. 3, p. 205-208, 2013. Disponível em: <http://www.rbfm.org.br/rbfm/article/view/274/v7n3p205>. Acesso em: 06 agos. 2019.

PRADO, Vander Teixeira. **Ultrasonic non-destructive testing of plate-like structures using piezoelectric array transducers.** 2014. Tese (Ph.D em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Universidade Estadual de São Paulo, Ilha Solteira, 2014. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/111127>. Acesso em: 29 jul. 2019.

VELICHKO, A.; WILCOX, P. D. Guided wave arrays for high resolution inspection. **Journal of the Acoustical Society of America**, Melville, v. 123, n. 1, p. 186–196, 2008.