



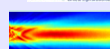
## CARACTERIZAÇÃO DE TRANSDUTORES DE ULTRA-SOM DE ELEMENTO PIEZOELÉTRICO ÚNICO

Anna Luiza Metidieri Cruz Maltz<sup>1</sup> e Vera Lúcia da Silveira Nantes Button<sup>2</sup>  
 annaluizacruz@gmail.com<sup>1</sup> vera@ceb.unicamp.br<sup>2</sup>

**LUS - DEB/FEEC e CEB - UNICAMP**

Agência Financiadora: CNPq/PIBIC

Palavras-Chave: Ultra-Som - Elemento Piezoeletrico - Transdutor - Caracterização



### INTRODUÇÃO

O transdutor de ultra-som é um dispositivo que gera energia mecânica (sonora) a partir da excitação elétrica; contém um ou mais elementos piezoeletricos que se submetidos a um pulso de tensão elétrica, vibram em suas frequências de ressonância emitindo, assim, o ultra-som. O transdutor pode também receber energia mecânica (eco), após interação com o meio de propagação, e convertê-la em energia elétrica possibilitando o armazenamento e processamento do sinal ultra-sônico, para por exemplo, formar a imagem de um órgão do corpo humano. Para caracterizar os transdutores existem normas internacionais que indicam quais são os parâmetros a serem medidos. Dentre eles temos:

1) **Medida da resposta em frequência:** é a medida da amplitude da resposta em pulso-eco de um determinado alvo em função da frequência. Através desta determina-se a frequência na qual o sinal do eco tem amplitude máxima (frequência de pico), a frequência central, e a faixa de passagem. Para isso, a excitação pode ser por choque, em que um pulso de tensão é aplicado ao transdutor produzindo um espectro de energia largo e o eco de um determinado alvo reflete a distribuição de frequências, que é característica deste transdutor, ou por *burst* de pulsos senoidais, que consiste em aplicar um trem de pulsos senoidais, de amplitude e frequência conhecidas, ao transdutor de forma a determinar a resposta em pulso-eco.

2) **Medida da largura de faixa (bandwidth - BW):** é a largura de faixa funcional ou operacional do transdutor. As frequências superior (*f<sub>s</sub>*) e inferior (*f<sub>i</sub>*) desta faixa são definidas, na Norma ASTM E-1065, como os valores em que a amplitude da resposta do pulso-eco tem um decaimento de 6dB em relação à amplitude do eco na frequência de pico, *f<sub>p</sub>*, ou seja, em relação à amplitude máxima do eco. A frequência central (*f<sub>c</sub>*) e a largura de faixa (BW) são dadas pelas equações 1 e 2:

$$f_c = \frac{f_i + f_s}{2} \quad (1) \quad BW = \frac{f_s - f_i}{f_c} * 100 \quad (2)$$

3) **Sensibilidade Relativa em Pulso-Eco (ou perda por inserção):** é calculada pela equação 3:

$$S_{rel} = 20 \log \frac{V_e}{V_a} \quad (3)$$

onde *S<sub>rel</sub>* é indicada em dB. *V<sub>a</sub>* e *V<sub>e</sub>* são, respectivamente, as tensões pico a pico aplicada ao transdutor e de resposta do eco de um refletor específico, sendo que estas devem ser medidas na frequência nominal do transdutor, que corresponde à frequência de ressonância do modo espessura.

4) **Ringdown:** o cálculo do *ringdown* é obtido pela equação 4:  $Ringdown = \frac{n+1}{2} \quad (4)$

onde *n* é o número de meio ciclos que a amplitude do pulso leva para decair a 10% (-20dB) do pico máximo.

5) **Resolução Axial:** é definida como a capacidade do transdutor distinguir duas superfícies refletoras muito próximas que estejam paralelas à face do transdutor. Se a distância entre as duas superfícies refletoras for igual ou maior que a resolução axial do transdutor, estas superfícies são resolvidas como refletores separados, mas se estiverem muito próximas, de modo que a distância entre elas seja menor que a resolução axial do transdutor, seus ecos são fundidos em um só eco pelo transdutor.

### METODOLOGIA

Neste projeto foram desenvolvidos programas de caracterização de transdutores de ultra-som de elemento piezoeletrico único, em ambiente Matlab, seguindo os procedimentos de caracterização de transdutores definidos conforme normas internacionais. Os transdutores ultra-sônicos de elemento único caracterizados foram construídos, em projetos anteriores, no Laboratório de Ultra-Som (LUS) do Depto. de Engenharia Biomédica (DEB) da Fac. de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC) localizado no Centro de Engenharia Biomédica (CEB) da UNICAMP. Os transdutores foram testados no sistema de mapeamento do LUS utilizando o modo transmissão-recepção (Figura 1b); as frequências de ressonância e de anti-ressonância foram medidas com o Analisador de Impedâncias HP4192A e, através da Equação 5, se calculou o coeficiente de acoplamento eletromecânico dos transdutores.

$$K_{ef} = \sqrt{\frac{f_w^2 - f_r^2}{f_w^2}} \quad (5)$$

onde *f<sub>r</sub>* é a frequência de ressonância, *f<sub>w</sub>* é a frequência de anti-ressonância. Assim calculou-se o fator de acoplamento eletromecânico efetivo (*k<sub>ef</sub>*) para cada um dos transdutores selecionados para o estudo. A interligação de equipamentos para as medições em transmissão/recepção e pulso-eco estão esquematizadas na Figura 1.

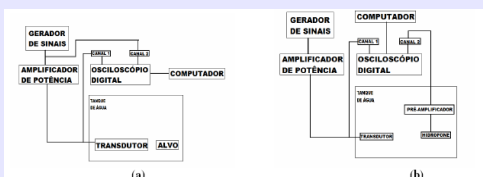


Figura 1. Diagrama esquemático para medidas no modo (a) pulso-eco e (b) transmissão-recepção.

Também foi desenvolvida uma interface, em ambiente Matlab, para que o usuário possa selecionar o programa de caracterização desejado. Assim, a partir dos dados do sinal no domínio do tempo, obtidos através do osciloscópio, e com os programas desenvolvidos, são obtidos os gráficos do sinal no domínio do tempo, do sinal no domínio do tempo retificado e seu envelope, a área abaixo da curva do envelope, a transformada rápida de Fourier do sinal (FFT) e através dela o espectro de frequências e parâmetros de caracterização como *BW*, *f<sub>c</sub>*, valores *RMS* (integral do envelope retificado ou intensidade do pulso acústico), *ringdown* e sensibilidade relativa; também foram feitos o mapeamento de linhas de campo axial e lateral e mapeamentos acústicos unidimensionais, bidimensionais e tridimensional.

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

No menu de opções (interface em ambiente Matlab), o usuário escolhe a opção de caracterização, completa ou parcial, e o tipo de mapeamento a ser feito (1D, 2D ou 3D); em seguida os resultados da caracterização do transdutor e os parâmetros de caracterização calculados são mostrados conforme as figuras a seguir. A figura 2 mostra um exemplo de caracterização completa onde temos o sinal acústico no domínio do tempo, sinal no domínio do tempo retificado e seu envelope, o espectro de frequências obtidos com o programa de caracterização e os parâmetros de caracterização calculados.

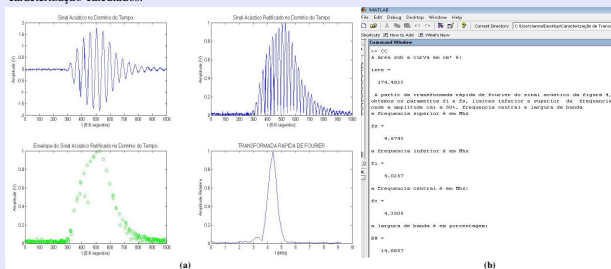


Figura 2. (a) Gráficos gerados pelo programa de caracterização e (b) parâmetros calculados.

A seguir é mostrado um exemplo dos mapeamentos unidimensionais nos eixos X (mapeamento lateral) e Y (mapeamento longitudinal), a representação tridimensional em cores do mapeamento do campo acústico no plano XY e a representação 2D do mapeamento no plano XY em termos de faixas de intensidade do campo acústico.

### CONCLUSÃO

Neste projeto foram desenvolvidos programas de caracterização para transdutores e foram avaliados transdutores de elementos únicos já existentes no LUS, os parâmetros destes transdutores estão documentados para trabalhos futuros. Além disso, com o desenvolvimento dos módulos de avaliação de transdutores (programas de caracterização) de ultra som, agora disponíveis no LUS, o mapeamento e caracterização de transdutores ficou mais rápido e acessível, já que o usuário, após a aquisição do sinal de ultra-som no osciloscópio e através da interface desenvolvida, pode selecionar quantos pulsos serão mapeados e a opção desejada.

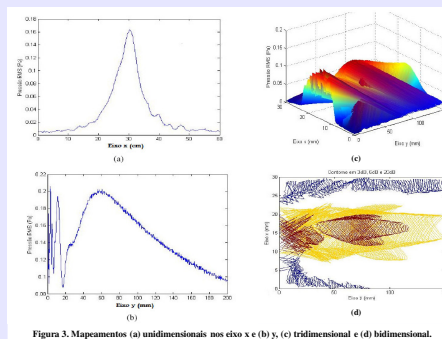


Figura 3. Mapeamentos (a) unidimensionais nos eixos x e (b) y, (c) tridimensional e (d) bidimensional.

Nos mapeamentos unidimensionais, foram calculadas as intensidades do pulso acústico obtido em diversas distâncias da face do transdutor e através disso obtiveram-se os gráficos de Intensidade Acústica em função da distância que mostram os perfis lateral e longitudinal do campo acústico. No mapeamento do eixo Y (Figura 3b), vemos na região do campo próximo do transdutor, próximo à sua face, vários picos resultantes da difração acústica até a distância de aproximadamente 60mm, onde ocorre o último máximo e a intensidade do campo passa a decair (campo distante). Na representação tridimensional do campo acústico (Figura 3c), as maiores intensidades estão indicadas em vermelho e as menores intensidades em azul escuro. Na Figura 3d estão representadas as regiões de intensidades -3dB (marrom), -6dB (amarelo) e -20dB (azul) em relação à intensidade máxima do campo acústico.

### AGRADECIMENTOS

