

INFLUÊNCIA DA ESPESURA DAS CAMADAS  
DE ACOPLAMENTO NO COMPORTAMENTO ELETROMECÂNICO  
DE TRANSDUTORES DE ULTRA-SOM

S. F. Siqueira<sup>1</sup> e J. C. Machado<sup>2</sup>

**RESUMO:** Para a construção de transdutores de ultra-som é fundamental que seja previsto o seu comportamento em função das características de propagação da onda nas camadas passivas e piezoelétricas que o constituem, além das propriedades piezoelétricas das próprias cerâmicas. O objetivo deste trabalho consiste em apresentar um conjunto de observações, de interesse prático, realizadas a partir da simulação em computador digital do comportamento eletromecânico do transdutor de ultra-som não focalizado e sem perdas, com o intuito de orientar a construção de transdutores. O modelo para simulação é linear e invariante no tempo, não inclui perdas e considera o material piezoelétrico vibrando em modo espessura. São apresentadas os resultados da simulação para a impedância elétrica de um transdutor hipotético em que se varia alguns dados de projeto, a espessura de suas camadas de acoplamento (acoplamento de retaguarda e para o meio de transmissão), permitindo assim, avaliar a importância de cada um destes dados de projeto no desempenho do transdutor.

INTRODUÇÃO

Em equipamentos de ultra-som, o transdutor desempenha um papel fundamental, pois seu comportamento eletro-mecânico determinará basicamente a acuidade nos resultados fornecidos pelo equipamento.

As variáveis que interferem neste comportamento são diversas, tais como: espessura das camadas, velocidade de propagação da onda nas camadas e meio de transmissão, densidade de cada camada, fator de acoplamento eletro-mecânico e capacitância das camadas piezoelétricas, além da geometria e organização das camadas.

Vários autores têm estudado o comportamento dos transdutores em função de seus elementos constitutivos buscando o aumento da largura de banda em sua resposta em frequência. Brown e Weicht (1973) analisaram o efeito de um material de retaguarda com impedância acústica próxima à do material piezoelétrico e com alta atenuação. Kossoff (1966) estudou o efeito das camadas de acoplamento, considerando o gerador com baixa impedância elétrica de saída, o que possibilita algumas simplificações nos cálculos e o transdutor sob excitação de onda contínua. Já para transdutores pulsáteis, Desilets, Fraser e Kino (1978) encontraram resultados diferentes da tradicional média geométrica entre a impedância da cerâmica e do meio de transmissão para melhorar a resposta em frequência dos transdutores. Eles apresentaram, de acordo com o número de camadas, os valores que cada uma das camadas deve ter para máxima largura de banda na resposta em frequência.

-----  
1 - INCOR - FMUSP - Coordenadoria de Informática. Av. Dr. Eneas de Carvalho Aguiar, 44 / 2. andar CEP: 05403 - São Paulo - SP.

2 - Professor adjunto do Progama de Engenharia Biomédica - COPPE/UFRJ - Caixa Postal 68510 - CEP 21945 -Rio de Janeiro-RJ.

Na prática, nem sempre se consegue trabalhar com materiais cujo valor de impedância acústica seja exatamente o ideal. O objetivo deste trabalho consiste, em se utilizando um programa para simulação do comportamento eletro-mecânico do transdutor de ultrassom, apresentar um conjunto de observações a cerca do desempenho do transdutor quando a espessura das camadas de acoplamento de retroguarda e de acoplamento ao meio de transmissão sofrerem variação.

**TEORIA**

O sistema da fig.1 pode ser visto como uma "caixa preta" de três portas, uma elétrica e duas mecânicas (o meio de propagação e a retroguarda). Este sistema básico tanto pode ser expandido para quatro portas (Sittig, 1967) quanto reduzido para duas portas (Martin, 1975 e Sittig, 1967). Neste último caso, deve-se considerar que a camada de retroguarda apresenta uma impedância constante  $Z_2$  e ser usada a relação  $F_2 = -Z_2 u_2$ .

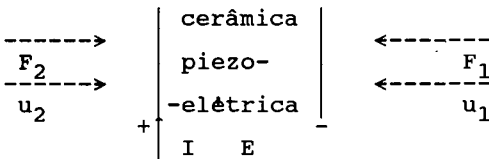


Fig.1 :  $u_1$  ( $u_2$ ) e  $F_1$  ( $F_2$ ) são, respectivamente, velocidade e força na interface 1 (2). E (I) representa a tensão (corrente) na porta elétrica.

A descrição matricial do sistema da figura 1 e dada por:

$$\begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ E_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} \\ Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ I \end{bmatrix} \tag{1}$$

Onde a matriz impedância (Z), elementos  $Z_{nm}$ , relaciona os parâmetros de entrada  $F_n$  (E) com os de saída  $u_n$  (I).

Sittig (1967) desenvolve o formalismo para equacionar o problema utilizando o modelo de Mason (Belincourt, 1964) e generalizando para transdutores de múltiplas camadas calculando a matriz impedância total através do produto das matrizes impedância de cada uma das camadas do transdutor.

Foi utilizado o programa de simulação descrito por Siqueira (1989) e Freire (1988) e a definição de impedância de entrada descrita por Siqueira (1989).

**LIMITAÇÕES:**

O presente trabalho leva em consideração as seguintes limitações:

- 1 - não inclui perdas no transdutor;
- 2 - a onda ultra-sônica que se propaga dentro das camadas do transdutor é plana;
- 3 - os transdutores não são focalizados;
- 4 - o modelo é linear e invariante no tempo;
- 5 - vibração do material piezoelétrico no modo espessura e com o campo elétrico na mesma direção da propagação da onda acústica.

INFLUENCIA DA ESPESSURA DAS CAMADAS NA SIMULAÇÃO DE TRANSDUTORES:

A tabela 1 descreve o transdutor hipotético 1. O meio de transmissão, camada 5, é composta de água, com impedância acústica de 1500000 rayls e velocidade de propagação da onda de ultra-som de 1500 m/s.

	Camada 1	Camada 2	Camada 3	Camada 4
Impedância acústica(rayls)	415	2,81 E6	34,8 E6	2,82 E6
Espessura (mm)	-----	1,0	1,5	0,75
Velocidade (m/s)	340	2423,0	4837,7	2402,0
Capacitância (F)	-----	-----	4,6 E-9	-----
Frequência de Ressonância (Hz)	-----	-----	1,61 E6	-----
Fator de acoplamento	-----	-----	0,769	-----

Tabela 1 - Dados de projeto do transdutor hipotético 1.

As figuras 2 a 7, apresentam os resultados para impedância elétrica de entrada do mesmo transdutor descrito na tabela 1, em função da frequência. Os dados de projeto, tabela 1, permanecem inalterados exceto um deles, cuja especificação (espessura da camada) e respectivo valor são apresentados em cada figura.

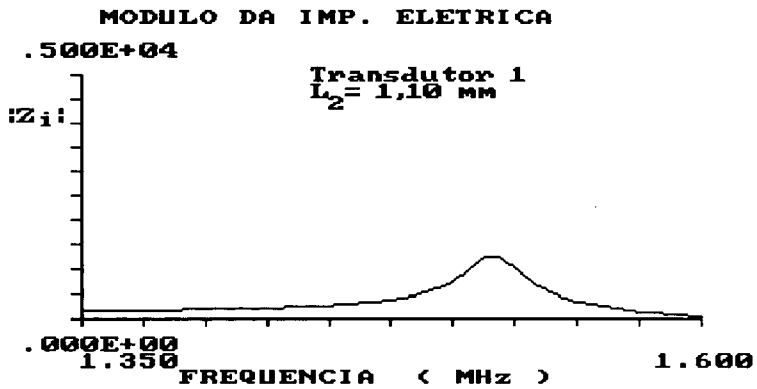


Figura 2 - Módulo da impedância elétrica de entrada para o transdutor com largura da camada 2,  $L_2 = 1,10 \text{ mm}$ .

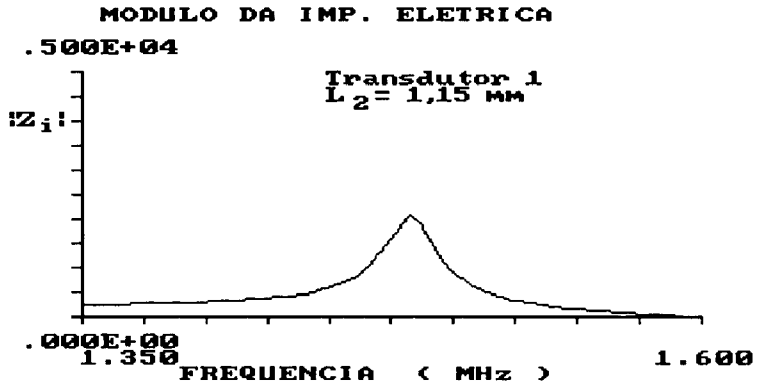


Figura 3 - Módulo da impedância elétrica de entrada para o transdutor com largura da camada 2,  $L_2 = 1,15 \text{ mm}$ .

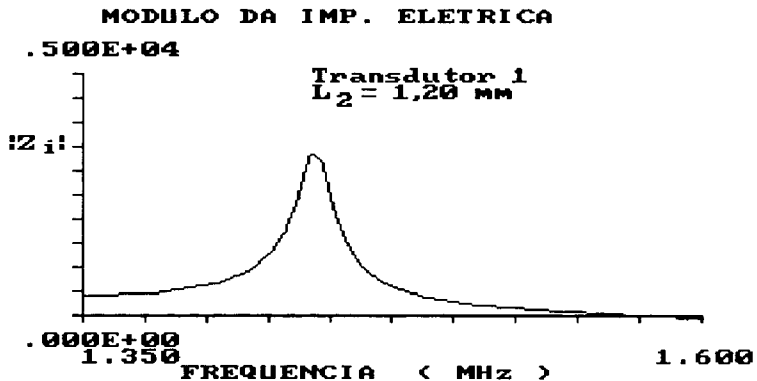


Figura 4 - Módulo da impedância elétrica de entrada para o transdutor com largura da camada 2,  $L_2 = 1,20 \text{ mm}$ .

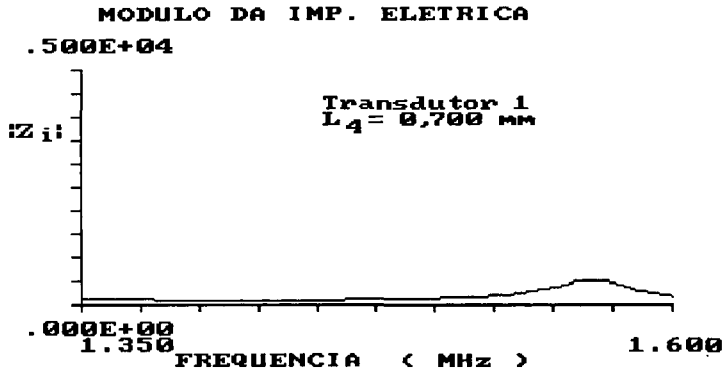


Figura 5 - Módulo da impedância elétrica de entrada para o transdutor com largura da camada 4,  $L_4 = 0,700$  mm.

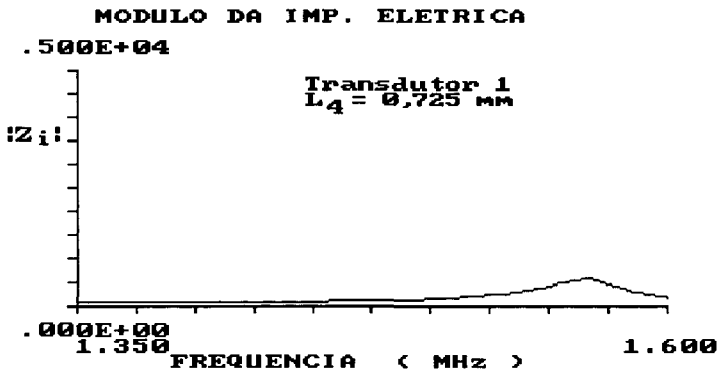


Figura 6 - Módulo da impedância elétrica de entrada para o transdutor com largura da camada 4,  $L_4 = 0,725$  mm.

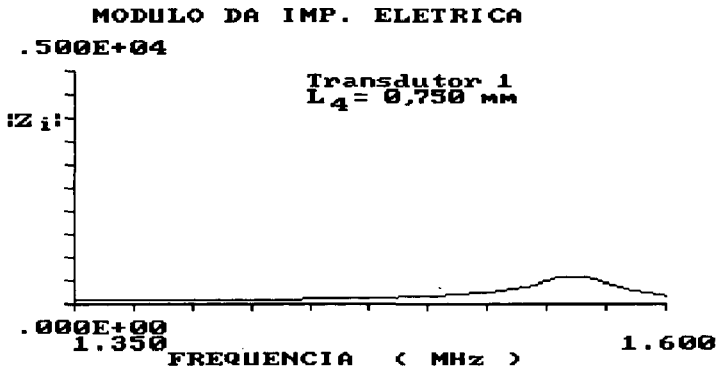


Figura 7 - Módulo da impedância elétrica de entrada para o transdutor com largura da camada 4,  $L_4 = 0,750$  mm.

### CONCLUSOES

As figuras 2 a 7 mostram que uma variação da ordem de 5 centésimos de milímetro na espessura da camada de acoplamento de retaguarda pode ocasionar uma variação de cerca de 40 kHz na frequência de ressonância do transdutor além de uma alteração de mais de 1000 ohms na magnitude do sinal de impedância elétrica de entrada do transdutor.

Já para a mesma ordem de variação da espessura da camada de acoplamento de transmissão (camada 4), não foi alterada a frequência de ressonância e a amplitude do sinal sofreu uma variação de cerca de 80 ohms.

Portanto, ao se construir um transdutor, deve-se procurar precisão das medidas de espessura próximos à ordem de grandeza das variações aqui apontadas.

Assim como foi realizada a simulação para variação da espessura, antes de se iniciar o processo de construção de um transdutor de ultra-som, deve-se procurar simular variações para os demais dados de projeto com o intuito de se orientar cada uma das fases da construção de um transdutor, minimizando as possibilidades de se negligenciar aspectos fundamentais para o desempenho dos mesmos.

### REFERÊNCIAS

- BELINCOURT, D. A., CURRAN, D. R. e JAFFE, H., *Physical Acoustics*, (W. P. Mason, ed.), Vol. 1, Cap. 3, pp. 169-270, New York, Academic Press, 1964.
- BROWN, A. F. e WEICHT, J. P., "Generation and Reception of Wideband Ultrasound", *Ultrasonics*, Julho, pp. 161-167, 1973.
- DESILETS, C. S., FRASER, J. D. e KINO, G. S., "The Design of Efficient Broad-band Piezoelectric transducers", *IEEE Transactions on Sonic and Ultrasonics*, Vol. 25, N. 3, pp.115-125, 1978.
- FREIRE, S. M., *Simulação Em Computador das Resoluções Lateral e Axial de Transdutores de Ultra-Som Pulsateis*, Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 1988.
- KOSSOFF, G., "The Effects of Backing and Matching on the Performance of Piezoelectric Ceramic Transducers", *IEEE Transaction on Sonics and Ultrasonics*, Vol. SU-13, N. 1, pp. 20-31, 1966.
- MARTIN, R. W. e SIGELMANN, R. A. (1975), "Force and Electrical Thevenin Equivalent Circuits and Simulation for Thickness Mode Piezoelectric Transducers", *J. Acoust. Soc. Am.* 58(2):475-489.
- SIQUEIRA, S. F., *Simulação, Em Computador Digital, Do Comportamento Eletromecânico De Transdutores de Ultra-Som*, Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 1989.
- SITTIG, E. K. (1967), "Transmission Parameters of Thickness-Driven Piezoelectric Transducers Arranged in Multilayer Configurations", *IEEE Trans. Sonic. Ultrason.*, 14(4):167-175.

THE INFLUENCE OF THICKNESS COUPLING LAYER IN THE  
ULTRASONIC TRANSDUCER ELECTROMECHANICAL BEHAVIOR

ABSTRACT -- To construct ultrasonic transducers it is of great importance a previous knowledgement about its behavior in terms of the wave propagation characteristics inside the passive and piezoelectric layers that are part of it as well as the piezoelectric properties for the ceramics used. The objective of this work consists of presenting a set of observations that make possible to