

## AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA POSIÇÃO DE TRANSDUTORES PIEZELÉTRICOS NA TÉCNICA DE MONITORAMENTO DE INTEGRIDADE ESTRUTURAL BASEADA NA IMPEDÂNCIA ELETROMECCÂNICA

### **Heléa Cristina Pinto Gruppioni**

Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC), Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Avenida João Naves de Ávila, 2121

[heleagruppioni@yahoo.com.br](mailto:heleagruppioni@yahoo.com.br)

### **David Fernando de Carvalho**

Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC), Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Avenida João Naves de Ávila, 2121

[davidufu@gmail.com](mailto:davidufu@gmail.com)

### **Domingos Alves Rade**

Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC), Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Avenida João Naves de Ávila, 2121

[domingos@ufu.br](mailto:domingos@ufu.br)

### **José dos Reis Vieira de Moura Júnior**

Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC), Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Avenida João Naves de Ávila, 2121

[mourajr@mourajr.com.br](mailto:mourajr@mourajr.com.br)

### **Karina Mayumi Tsuruta**

Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC), Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Avenida João Naves de Ávila, 2121

[karinamayumi@yahoo.com.br](mailto:karinamayumi@yahoo.com.br)

### **Raquel Santini Leandro Rade**

Instituto de Física (INFIS), Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Avenida João Naves de Ávila, 2121

[rslr@ufu.br](mailto:rslr@ufu.br)

**Resumo:** *O monitoramento de integridade estrutural (SHM-Structural Health Monitoring) objetiva a detecção de danos em sistemas estruturais. Dentre as técnicas de SHM, uma das mais promissoras é o método da impedância eletro-mecânica, que utiliza um transdutor piezoeletrico (PZT) que funciona como sensor e atuador. O objetivo principal deste estudo foi de analisar a influência da posição do PZT em relação à posição e o tamanho da falha em uma placa de dimensões 20 x 20 cm livre-livre. Foram colados 3 sensores piezoeletricos distantes 8 cm um do outro. As falhas foram confeccionadas a partir de entalhes produzidos em uma das laterais da placa, e seu comprimento foi aumentado progressivamente, com dimensões de 3 mm, 6 mm, 9 mm e 12 mm. A cada nova falha inserida, foi medido o sinal da impedância eletromecânica. Os resultados obtidos demonstram que a posição relativa entre o transdutor piezoeletrico exerce importante influência sobre a eficiência do método na detecção da falha e que a técnica da impedância é capaz de monitorar a intensidade de falhas.*

**Palavras-chave:** *Impedância Eletro-Mecânica, Monitoramento da Integridade Estrutural, Detecção de Falhas.*

## 1. INTRODUÇÃO

Os diversos tipos existentes de sistemas estruturais estão inevitavelmente sujeitos a carregamentos e influências ambientais que podem levar à ocorrência de danos que, por sua vez, podem comprometer a segurança e a eficiência operacional.

Um dos processos mais ambiciosos da Engenharia é o monitoramento da integridade estrutural em tempo real de componentes de elevado custo ou de grande importância para o sistema que tal elemento integra. Desta forma, a criação ou aperfeiçoamento de técnicas que ampliem a precisão e segurança do monitoramento são altamente desejáveis, sendo objetos de vários estudos tanto no meio industrial quanto no meio acadêmico.

Existem várias técnicas destinadas ao monitoramento da ocorrência e propagação de danos estruturais que se baseiam em diferentes princípios, desde a inspeção visual, o uso de raios-X e o ultra-som. Todavia, seu uso prático é limitado pelo fato que a inspeção é localizada, o que torna estes métodos demorados e onerosos.

Mais recentemente foram desenvolvidos métodos de monitoramento baseados no uso de materiais ditos inteligentes, que exibem características específicas que os tornam adaptados a esta finalidade. Citam-se, como principais exemplos, os materiais piezelétricos e as fibras ópticas (GIURGIUTIU, 2000; TOOD, 2004).

Particularmente no tocante aos transdutores piezelétricos, uma técnica vem sendo amplamente investigada: a técnica baseada na impedância eletromecânica. Esta técnica baseia-se no acoplamento eletromecânico que resulta da colagem de um transdutor piezelétrico à estrutura monitorada, ficando definida a função de impedância que depende tanto das características elétricas do transdutor quanto das características físicas (inércia e rigidez) da estrutura. Assim, através de curvas características da impedância, variações da rigidez da estrutura decorrentes do aparecimento de falhas podem ser avaliadas. Como a perda de rigidez progressiva está intimamente relacionada com o processo de falha estrutural, faz-se tal correlação utilizando ferramentas numéricas e estatísticas já descritas na bibliografia (DAVIS, 2002; KABEYA, 1998; KIM, 2002; RAJU, 1997).

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo estudar a influência da posição de pastilhas piezelétricas utilizadas para o monitoramento da impedância eletromecânica em relação à posição da falha em uma placa de alumínio.

### 1.2. Sensores e atuadores Piezelétricos

Um das principais características do PZT, que permite utilizá-lo como sensor ou atuador, é o efeito piezelétrico, ou seja, quando da aplicação de um campo elétrico, o resultado obtido é a deformação do material (efeito inverso). Por outro lado, a aplicação de uma tensão mecânica resulta no surgimento de cargas elétricas (efeito direto). Estas características associadas ao conceito de impedância elétrica e ao conceito de métrica de falha permitem o monitoramento e a evolução da falha.

Em um material piezelétrico, a tensão mecânica, a deformação, o campo elétrico e o deslocamento elétrico, podem ser completamente descritos por um par de equações eletromecânicas. Os trabalhos que geralmente são desenvolvidos utilizando estes elementos são restritos às leis lineares formuladas por Voigt em 1910 (Banks et al, 1996), conforme podem ser observadas pelas equações (1) e (2) que representam o efeito direto e inverso respectivamente.

$$D_m = \varepsilon_{mn}^T E_n + d_{mkl} \sigma_{kl} \quad (1)$$

$$e_{ij} = s_{ijkl} \sigma_{kl} + d_{mij} E_m \quad (2)$$

Onde  $D$  e  $E$  representam, respectivamente, o deslocamento e o campo elétrico,  $\epsilon$  e  $d$  representam o tensor dielétrico do material e o tensor de tensão piezoelétrica, enquanto a deformação no material e é relacionada à tensão  $\sigma$  através da complacência  $s$ . Os índices subscritos decorrem da notação indicial.

### 1.3. O método de monitoramento baseado na impedância

A técnica de monitoramento da integridade estrutural baseada em impedância utiliza pequenas pastilhas de cerâmica piezoelétrica PZT (Titanato Zirconato de Chumbo), que atuam como sensor e atuador, coladas ou incorporadas na estrutura em questão para conduzir o monitoramento. O princípio básico desta técnica é utilizar frequências elevadas (aproximadamente acima de 30 kHz) para detectar mudanças na impedância decorrentes do aparecimento de falhas internas, falhas superficiais e danos em juntas (falhas em soldas, por exemplo). Este método combina dois tipos de impedância: a impedância mecânica e a impedância elétrica.

A impedância mecânica de um sistema pode ser definida como a relação entre a força harmônica aplicada a este sistema e a velocidade com que o mesmo se desloca no mesmo ponto (Raju, 1997).

A impedância elétrica consiste na oposição que um circuito ou componente oferece à corrente alternada. Esta é uma grandeza complexa, portanto, dividida em duas partes: resistência e reatância.

No sistema combinado estrutura-PZT a impedância eletromecânica do sistema é medida e supondo que a impedância elétrica do sistema não varie, toda variação é atribuída somente à parte mecânica, sendo esta proveniente das alterações geométricas da estrutura ou pela alteração das propriedades mecânicas que, indiretamente, caracterizam a evolução do dano.

O monitoramento da estrutura é realizado aplicando um campo elétrico alternado no PZT, colado na mesma. Dessa forma, o PZT se deforma conjuntamente com a estrutura fazendo com que o conjunto vibre. Se a frequência de excitação for muito alta, a resposta dinâmica da estrutura refletirá apenas no comportamento de uma pequena região próxima ao PZT. A partir da resposta dinâmica da estrutura, o PZT se deforma gerando um campo elétrico. Assim, o mesmo funciona como um atuador e um sensor de deformações. Quando algum tipo de dano ou uma fissura aparecem na estrutura, a resposta dinâmica da mesma é alterada e percebida através da resposta elétrica do PZT, ou seja, o princípio básico consiste em monitorar a variação da impedância mecânica, causada devido a uma mudança estrutural (falha), através da impedância elétrica.

Um modelo simples, como mostrado na Figura 1, pode descrever a interação entre um PZT e a estrutura a ele vinculada. O PZT é considerado como uma barra fina exposta a uma vibração axial em resposta a aplicação de tensão elétrica alternada. Uma extremidade é fixada e a outra é conectada na estrutura, representando um sistema com um grau de liberdade.

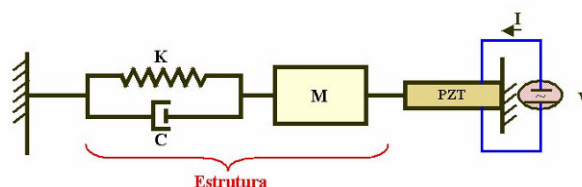


Figura 1.1: Modelo unidimensional do acoplamento eletromecânico utilizado pelo método baseado em impedância.

onde:

K: parâmetro de rigidez.

M: parâmetro de inércia.

C: parâmetro de amortecimento.

V: Voltagem de entrada no atuador PZT.

Partindo do pressuposto de que as propriedades mecânicas do PZT não variam com o tempo em que o mesmo é utilizado para o monitoramento estrutural, Liang et al (1994) demonstraram que a admitância  $Y(\omega)$  do atuador PZT é uma função combinada da impedância mecânica do atuador PZT  $Z_a(\omega)$  e da estrutura  $Z(\omega)$ , como mostra a Equação 4.

$$Y(\omega) = \frac{I}{V} = i\omega a \left( \bar{\epsilon}_{33}^T - \frac{Z(\omega)}{Z(\omega) + Z_a(\omega)} d_{3x}^2 \hat{Y}_{xx}^E \right) \quad (4)$$

onde:

$V$ : Voltagem de entrada no atuador

$I$ : Corrente de saída do PZT.

$a$ : Constante geométrica.

$d_{3x}$ : Constante de acoplamento piezelétrico.

$Y_{xx}^E$ : Módulo de Young.

$\bar{\epsilon}_{33}^T$ : Constante dielétrica complexa do PZT com tensão zero.

A impedância elétrica do PZT é diretamente relacionada, através da Equação 4, com a impedância mecânica da estrutura, o que justifica a utilização dos sinais de impedância elétrica do PZT para o monitoramento da integridade estrutural do sistema representado pela impedância mecânica da estrutura. Segundo Raju 1997, a técnica consiste basicamente na obtenção de funções de respostas em frequência (FRFs) da estrutura e posterior avaliação da modificação destes sinais. Idealmente, uma modificação destas FRFs indicaria uma modificação estrutural e, portanto, algum tipo de dano.

### 1.3.1. Métrica de Falha

A métrica de falha  $M$  é um índice usado para monitorar a ocorrência de falhas a partir dos sinais medidos de impedância. O valor de  $M$ , descrito como “desvio da raiz média quadrática”, é definido por Sun et al. (1995) segundo a Equação 5, correspondendo à soma da raiz das diferenças quadráticas das mudanças de impedância para cada frequência, dividida pelo quadrado da impedância do PZT medido sob condições iniciais.

Este índice simplifica a interpretação das variações de impedância e fornece informações do sinal em impedância para região de influência do atuador (Lopes et al. 2000).

O monitoramento de cada PZT é feito separadamente, isto é, cada PZT é continuamente monitorado na faixa de frequência especificada. Para cada PZT, deve-se definir um valor mínimo, acima do qual é uma indicação de falha naquela região.

$$M = \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{[\text{Re}(Z_{i,1}) - \text{Re}(Z_{i,2})]^2}{[\text{Re}(Z_{i,1})]^2}} \quad (5)$$

onde :

$M$ : representa a medida da falha.

$Z_{i,1}$ : representa o sinal de impedância medido sob condições iniciais

$Z_{i,2}$ : representa o sinal de impedância a ser comparado, para o  $i$ -ésimo valor da frequência.

## 2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Com o intuito de estudar a área de influência de uma pastilha piezelétrica utilizada para o monitoramento da impedância, colaram-se três PZTs, numerados em 1, 2 e 3 em uma placa de alumínio quadrada com 20,0cm em cada lateral e espessura de 0,1cm. O PZTs foram colados nas posições indicadas na Figura 2.1 abaixo:

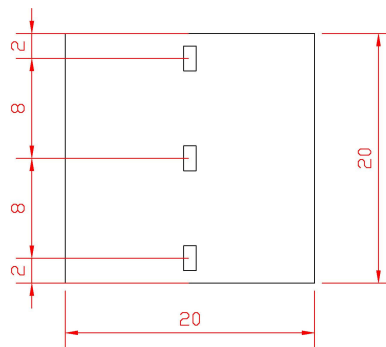


Figura 2.1: Dimensões da placa em cm.

O procedimento experimental foi realizado produzindo, com uma tesoura, sucessivos entalhes a uma distância de 2,0cm da borda inferior, no lado esquerdo da placa. A cada nova iteração o comprimento do entalhe foi acrescido em 0,3 cm . A Figura 2.2 (b) abaixo apresenta a falha inserida na placa e a Figura 2.2 (c) mostra o aparato experimental utilizado para a realização dos ensaios, que consiste de um Analisador de Impedância modelo HP 4194 A, um suporte para manter a placa de alumínio na condição livre-livre e um computador para adquirir sinal gerado pelo analisador.

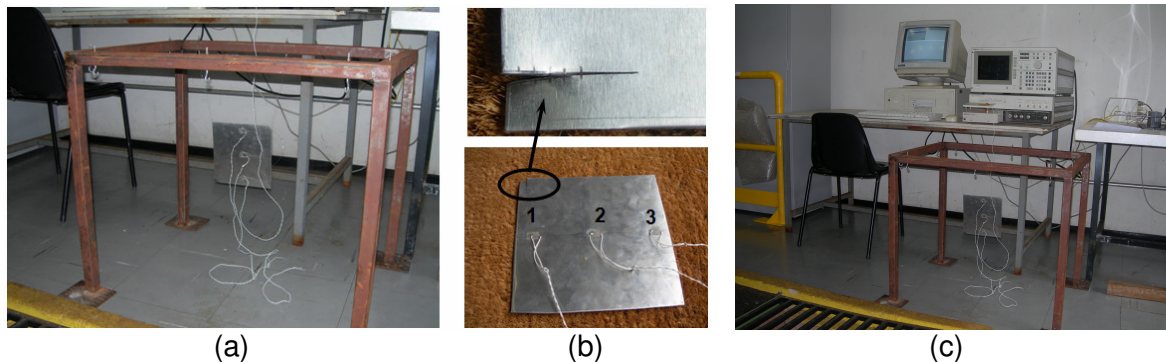


Figura 2.2: (a) Placa livre-livre (b) Placa com ampliação da falha (c) Aparato Experimental.

À medida que se aumentava o comprimento do entalhe em 0,3 cm, adquiria-se o sinal de impedância referente àquela condição para os três PZTs, sendo realizadas três repetições de aquisição para cada PZT. Os sinais foram adquiridos em duas faixas de frequências diferentes, sendo a variação da faixa de frequência A de 16 a 24 KHz e a faixa de frequência B de 59 a 62 KHz.

A Tabela 1 abaixo apresenta a relação dos ensaios realizados no primeiro experimento, relacionando cada PZT com a faixa de frequências, número do ensaio e tamanho da falha inserida.

Tabela1: Relação dos ensaios

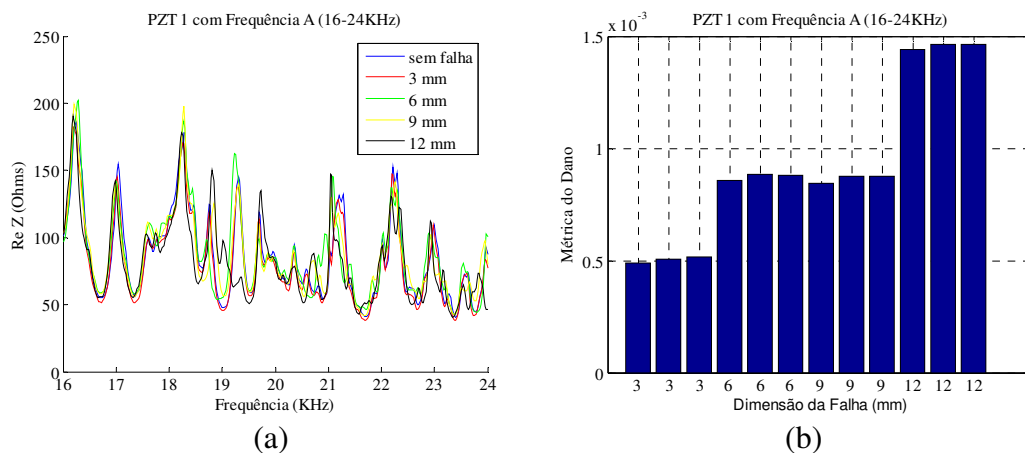
PZT	Frequência	Ensaio			Falha
1	A	1	2	3	.....
1	B	4	5	6	.....
2	A	7	8	9	.....
2	B	10	11	12	.....
3	A	13	14	15	.....
3	B	16	17	18	.....
1	A	19	20	21	3 mm
1	B	22	23	24	3 mm
2	A	25	25	27	3 mm
2	B	28	29	30	3 mm
3	A	31	32	33	3 mm
3	B	34	35	36	3 mm
1	A	37	38	39	6 mm
1	B	40	41	42	6 mm
2	A	43	44	45	6 mm
2	B	46	46	48	6 mm
3	A	49	50	51	6 mm
3	B	52	53	54	6 mm
1	A	55	56	57	9 mm
1	B	58	59	60	9 mm
2	A	61	62	63	9 mm
2	B	64	65	66	9 mm
3	A	67	68	69	9 mm
3	B	70	71	72	9 mm
1	A	73	74	75	12 mm
1	B	76	77	78	12 mm
2	A	79	80	81	12 mm
2	B	82	83	84	12 mm
3	A	85	86	87	12 mm
3	B	88	89	90	12 mm

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

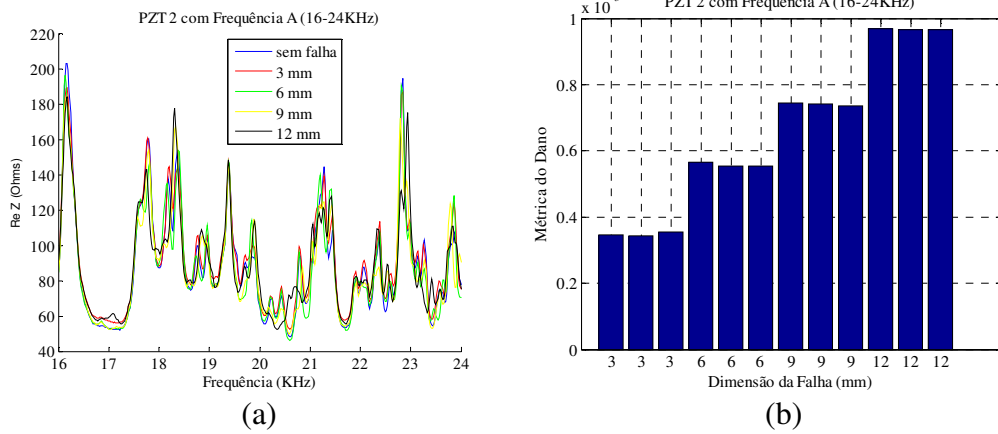
#### 3.1. Resultados na faixa de frequência A (16 a 24KHz)

Os sinais obtidos na faixa de frequência A (16 a 24KHz) foram aplicados na equação 5, e são representados graficamente nas figuras 3.1, 3.2 e 3.3, representando os sinais do PZT 1, PZT 2 e PZT 3, respectivamente, sendo que os gráficos (a) relacionam a frequência com valor da parte real da impedância eletromecânica, e nos gráficos (b) dimensão da falha com a métrica do dano.

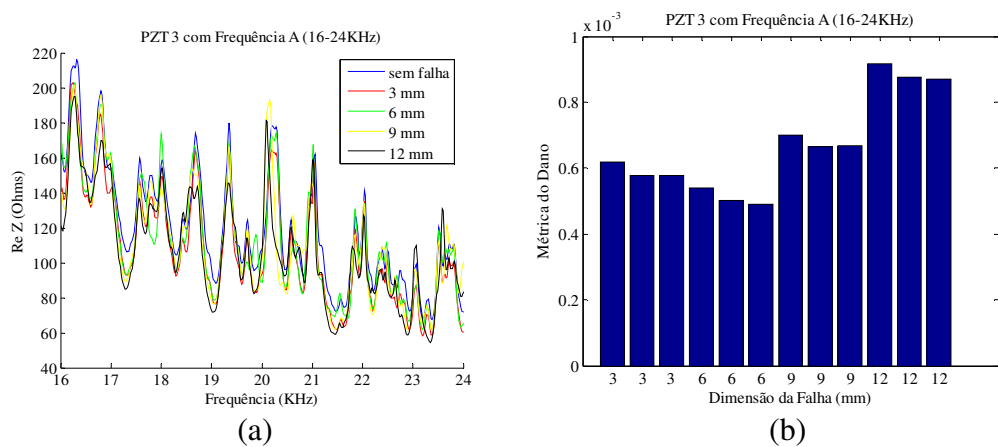
Pode-se observar nos gráficos 3.1(b), 3.2(b) e 3.3(b) a evolução do desvio da raiz média quadrática com o aumento do tamanho da falha induzida, que possuem um comportamento linear, principalmente no PZT 2. No entanto, nas figuras 3.1(b) e 3.3(b), observam-se variações não monotônicas para as falhas com comprimento de de 9 mm e 3 mm, o que pode ter sido causado pela leitura de outros parâmetros pelo PZT, como deformação.



**Figura 3.1:** PZT 1 (a) Gráfico do sinal de impedância de acordo com a falha. (b) Gráfico de barras da raiz média quadrática obtida a partir do sinal de impedância.



**Figura 3.2:** PZT 2 (a) Gráfico do sinal de impedância de acordo com a falha. (b) Gráfico de barras da raiz média quadrática obtida a partir do sinal de impedância.



**Figura 3.3:** PZT 3 (a) Gráfico do sinal de impedância de acordo com a falha. (b) Gráfico de barras da raiz média quadrática obtida a partir do sinal de impedância.

### 3.2. Análises estatísticas

A partir dos gráficos 3.1 (b), 3.2 (b), 3.3 (b), podem-se adquirir os valores do desvio da raiz média quadrática de cada ensaio, relacionados na tabela 3.1.

**Tabela 3.1:** Valores obtidos do desvio da raiz média quadrática

Freq A = 16-24KHz		DM1 - Damage Metric PZT 1 DM2 - Damage Metric PZT 2 DM3 - Damage Metric PZT 3								
FREQ A		DM1			DM2			DM3		
Tamanho da Falha (mm)										
3		0,00049074	0,00050523	0,00051471	0,00037140	0,00034306	0,00035430	0,0006176	0,0005778	0,0005749
6		0,00085959	0,00088343	0,00088036	0,00056601	0,00055416	0,00055293	0,0005405	0,0005022	0,0004884
9		0,00084537	0,00087317	0,00087589	0,00074521	0,00074171	0,00073615	0,0006990	0,0006644	0,0006688
12		0,00144090	0,00146180	0,00146240	0,00096977	0,00096917	0,00096673	0,0009175	0,0008766	0,0008700

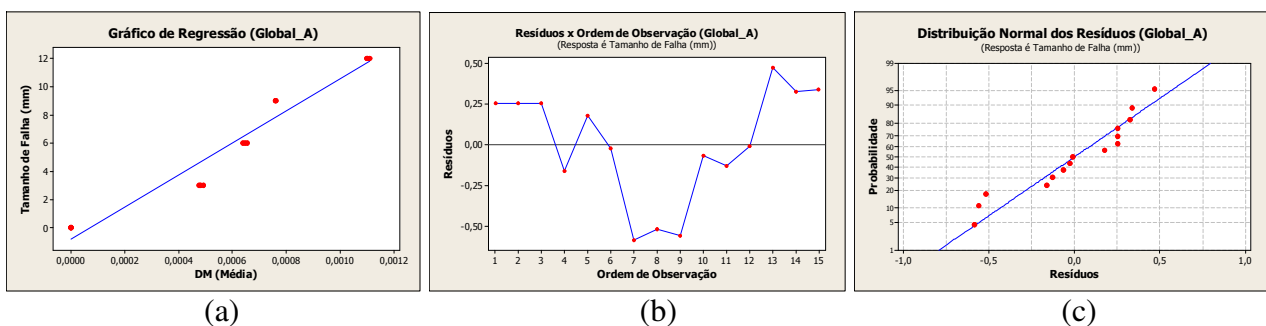
A partir dos valores da tabela 3.1, obteve-se a tabela 3.2, com os valores da média e desvio padrão de cada desvio da raiz média quadrática (DM1, DM2 e DM3).

**Tabela 3.2:** Valores da média e desvio padrão do desvio da raiz média quadrática

FREQ A						
Tamanho da Falha (mm)	DM1		DM2		DM3	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
3	0,000503560	0,000012072	0,000356253	0,000014271	0,000590103	0,000023832
6	0,000874460	0,000012969	0,000557700	0,000007223	0,000510370	0,000026960
9	0,000864810	0,000016890	0,000741023	0,000004569	0,000677387	0,000018872
12	0,001455033	0,000012244	0,000968557	0,000001610	0,000887997	0,000025729

### 3.3. Análise de regressão na faixa de frequência A (16 a 24KHz)

Utilizando a Tabela 3.2, plotou-se a média dos desvios da raiz média quadrática dos sinais de impedância de todos os PZTs, utilizando a faixa de frequência A versus o tamanho da falha em um único gráfico. Dessa forma foi possível realizar uma regressão linear para encontrar a reta e a equação que relacionam o tamanho da falha com os dos desvios das raízes médias quadráticas. A regressão linear é dada pelo gráfico 3.4(a). Uma maneira para detectar se há observações discrepantes no modelo de regressão é analisar o gráfico dos resíduos padronizados em função da ordem em que as respectivas observações ocorrem. É esperado que a maioria das observações esteja dentro de um intervalo e que os resíduos não estejam muito dispersos. O gráfico dos resíduos é dado pela figura 3.3(b). Já a figura 3.3(c) apresenta a distribuição dos resíduos, verificando-se que os dados se encontram em torno de uma linha reta.



**Figura 3.4:** (a) Gráfico de regressão, (b) Gráfico da distribuição dos resíduos e (c) Distribuição da probabilidade normal dos Resíduos.

Após a análise dos gráficos 3.3(b) e 3.3(c) pode-se afirmar que o modelo se ajusta adequadamente aos dados.

A equação de regressão obtida após a linearização é dada pela equação 6, assim como o valor obtido para o R-quadrado para esta reta:

$$TF_A = -0,253 - 916DM_1 + 17602DM_2 - 4323DM_3 \quad R\text{-Sq}(\text{adj}) = 99,2\% \quad (6)$$

O R-quadrado é chamado de coeficiente de determinação, sendo frequentemente usado para julgar a adequação de um modelo de regressão. Quanto mais próximo este valor se encontra de 100%, melhor é o ajuste da reta de regressão.

A equação 6 fornece o tamanho da falha presente na estrutura utilizada para realização dos ensaios quando se tem os valores dos desvios da raiz média quadrática dos PZTs colados na mesma. Assim, é possível dizer se a estrutura possui uma falha e qual o tamanho da mesma adquirindo os sinais de impedância eletromecânica dos PZTs colados em uma estrutura nas mesmas condições da placa ensaiada.

Após ter-se plotado a média dos desvios da raiz média quadrática de todos os PZTs versus o tamanho da falha em um único gráfico, plotaram-se separadamente os valores da Métrica do Dano versus tamanhos das falhas para cada PZT obtendo-se a equação 7 para o PZT 1, a equação 8 para o PZT 2 e a equação 9 para o PZT 3, apresentadas abaixo:



$$TF_A = - 0,317 + 8542 DM1 \quad R-Sq(adj) = 92,6\% \quad (7)$$

$$TF_A = - 0,660 + 12693 DM2 \quad R-Sq(adj) = 98,1\% \quad (8)$$

$$TF_A = - 0,83 + 12812 DM3 \quad R-Sq(adj) = 78,0\% \quad (9)$$

Os valores obtidos com as equações acima mostram que a reta mais ajustada para se obter o tamanho da falha quando se tem apenas um PZT colado na estrutura é à reta obtida com o PZT 2. Com isso é possível dizer que a melhor distância para se colar o PZT quando se quer saber o tamanho da falha presente em uma estrutura nas mesmas condições da placa ensaiada, quando se conhece sua localização, é a distância de 8,0 cm da falha, a qual fornece os melhores resultados.

#### 4. CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos é possível afirmar que o PZT que apresentou melhores resultados para verificação de presença de falhas na estrutura foi o PZT 2, o qual se encontrava a uma distância de 8,0 cm da região em que a falha foi inserida. Isso pode ser afirmado devido à análise dos gráficos de barras da raiz média quadrática obtida a partir do sinal de impedância, os quais mostram claramente o crescimento linear dos valores do desvio da raiz média quadrática conforme a inserção da falha e desvios padrões menores quando comparados com os outros PZTs.

A falta de linearidade apresentada nos gráficos 3.1(b) e 3.3 (b), obtidos com os PZTs 1 e 3, pode ter ocorrido devido a sensibilidade do PZT, que pode ter captado não só a falha mas também deformação provocada durante a inserção da falha na placa. Também a variação verificada no gráfico 3.3(b) pode ser explicada pelo fato do mesmo se encontrar mais longe do local onde a falha foi inserida, ou seja, a leitura pode ter sido comprometida e talvez esta seja uma resposta pouco significativa em relação ao tamanho da falha.

É possível afirmar também, após a análise da reta de regressão linear e da equação que relacionam o tamanho da falha com os valores lidos nos PZTs simultaneamente, que o método da impedância eletromecânica é capaz de fornecer bons resultados quando se quer determinar o tamanho da falha presente em uma estrutura, ou mesmo, analisar a integridade estrutural da mesma, através da medição da impedância em PZTs acoplados a ela.

Por fim, após plotar separadamente os valores dos desvios da raiz média quadrática versus tamanhos das falhas para cada PZT, chega-se à conclusão de que o PZT que apresentou melhores resultados para fornecer o tamanho da falha quando medido separadamente foi o PZT 2, ou seja, de modo geral, a melhor distância entre as testadas, para analisar uma estrutura pelo método da impedância eletromecânica foi a de 8,0cm do local onde a falha foi inserida.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG pela bolsa implementada para que a realização deste trabalho fosse possível.

#### 6. REFERÊNCIAS

- Crawley, P., The impedance Method of Non-destructive Inspeccion. Ultrasonics International, 1983.
- Lopes, V. Junior, Turra, A. E., Muller, H. H., Brunzel, F., Inman, D. J. "A New Methodology of Damage Detection by Electron Impedance and Optimization Technique", Diname, pp. 311-316, 2001.
- Liang, C., Sun, F.P., and Rogers, C.A., 1994, "Coupled Eletromechanical Analysis of Adaptive Material Systems – Determination of the Actuator Power Consumption and System Energy Transfer", Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol. 5, 12 – 20.

Moura Jr, J. R. V. and Steffan Jr, V., 2004, "Impedance based Health Monitoring: Frequency Band Evaluation", XXII IMAC, Dearborn, MI – USA. Raju, V. Implementing Impedance-Based Health Monitoring. Master thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg – USA, 1997.

Sun, F. P., Chaudhry, Z., Liang, C., and Rogers, C.A. "Truss Structure Integrity Identification Using PZT Sensor-Actuator", Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol. 6, 134-139, 1995.

## **TEST OF THE INFLUENCE OF THE PEZELECTRIC TRANSDUCER POSITION IN A STRUCTURAL HEALTH MONITORING TECHNIQUES BASED ON THE ELECTROMECHANICAL IMPEDANCE**

### **Heléa Cristina Pinto Gruppioni**

Faculty of Mechanical Engineering - Federal University of Uberlândia  
João Naves de Ávila Av. 2121, Uberlândia, MG, Brazil  
[heleagruppioni@yahoo.com.br](mailto:heleagruppioni@yahoo.com.br)

### **David Fernando de Carvalho**

Faculty of Mechanical Engineering - Federal University of Uberlândia  
João Naves de Ávila Av. 2121, Uberlândia, MG, Brazil  
[davidufu@gmail.com](mailto:davidufu@gmail.com)

### **Karina Mayumi Tsuruta**

Faculty of Mechanical Engineering - Federal University of Uberlândia  
João Naves de Ávila Av. 2121, Uberlândia, MG, Brazil  
[karinamayumi@yahoo.com.br](mailto:karinamayumi@yahoo.com.br)

### **José dos Reis Vieira de Moura Júnior**

Faculty of Mechanical Engineering - Federal University of Uberlândia  
João Naves de Ávila Av. 2121, Uberlândia, MG, Brazil  
[mourajr@mourajr.com.br](mailto:mourajr@mourajr.com.br)

### **Raquel Santini Leandro Rade**

Institute of Physics - Federal University of Uberlândia  
João Naves de Ávila Av. 2121, Uberlândia, MG, Brazil  
[rslr@ufu.br](mailto:rslr@ufu.br)

### **Domingos Alves Rade**

Faculty of Mechanical Engineering - Federal University of Uberlândia  
João Naves de Ávila Av. 2121, Uberlândia, MG, Brazil  
[domingos@ufu.br](mailto:domingos@ufu.br)

**Abstract:** Structural health monitoring (SHM) techniques intend to assess the occurrence of damage in structural systems. Among the various existing SHM techniques, one which is considered to be very promising is that based on the electromechanical impedance, which uses a piezoelectric transducer (PZT) as a sensor and actuator. The goal of this paper is to analyze experimentally the influence of the PZT position and the size of the damage in a free-free aluminum plate of dimensions 20x20 cm. Three piezoelectric sensors were bonded distant 8 cm one from the other. The damage was artificially produced by making cuts of increasing dimensions: 3 mm, 6 mm, 9 mm and 12 mm. To each damage inserted, a measure of the impedance is made to get the electromechanical impedance signals. The results obtained demonstrate that the relative position between the piezoelectric transducer and the fault has a significant influence on the effectiveness of the technique and that the impedance method is capable of monitoring the damage severity.

***Keywords:*** *Electro-Mechanical Impedance, Structural Health Monitoring, Damage Detection*