

## DESENVOLVIMENTO DE UM SENSOR PIEZOELÉTRICO PARA MEDIÇÃO DE VISCOSIDADE E DENSIDADE DE FLUIDOS

Mike Pessanha Valente, [mikepvalente@gmail.com](mailto:mikepvalente@gmail.com)<sup>1</sup>  
Igor Braga de Paula, [igordepaula@puc-rio.br](mailto:igordepaula@puc-rio.br)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica, Rua Marquês de São Vicente, 225, Cep: 22451-900, Gávea - Rio de Janeiro, RJ.

**Resumo:** No presente trabalho, desenvolveu-se um equipamento que possa ser aplicado ao monitoramento das propriedades dos óleos lubrificantes, a fim de, em tempo real, indicar se o lubrificante deve ou não ser trocado. A viscosidade é uma das propriedades mais importantes dos fluidos, principalmente dos óleos lubrificantes. Estes sofrem degradação com o tempo de operação e precisam ser substituídos periodicamente. A determinação do momento de troca é essencial para garantir que o motor não sofra dano ou perda de eficiência. O equipamento proposto utiliza dois discos piezoelétricos colados que ficam imersos no fluido. Um dos discos é excitado com uma perturbação do tipo degrau e o outro é utilizado para medição da deformação do sistema. Avaliou-se como a variação da densidade e viscosidade afetam a frequência natural e o fator de amortecimento do sensor e com isso realizou-se a calibração do dispositivo. Desse modo, foi possível medir a influência dos fluidos no comportamento dinâmico do equipamento. A análise das incertezas associadas à calibração do sensor atesta que é possível utilizar o equipamento para o monitoramento do nível de degradação de óleos lubrificantes.

**Palavras-chave:** Viscosidade, densidade, piezoelectricidade, fluidos, sensor.

### 1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho propõe a utilização de alto-falantes piezoelétricos para medição de viscosidades e densidades de fluidos. Atualmente existem diversos tipos de equipamentos que medem esses parâmetros separadamente. No entanto, no caso da viscosidade, a maioria tem um custo alto, é de difícil utilização ou de grande porte (Méndez-Sánchez et al., 2010, Heinisch et al., 2014). Com o avanço da tecnologia, os sensores tendem a serem menores e aptos a medirem mais de um parâmetro (Bogue, 2007 e Etchart et al., 2008). O sensor proposto é de baixíssimo custo (< R\$1,00), de fácil utilização, portátil e capaz de medir tanto a viscosidade como a densidade de um fluido.

Tanto a viscosidade como a densidade são propriedades importantes dos fluidos. Por exemplo, a capacidade de carga que pode ser suportada em um mancal depende, dentre outros parâmetros, da viscosidade dos lubrificantes. Na fabricação desses lubrificantes são acrescentados alguns aditivos para melhorar suas características. Um deles é o melhorador do índice de viscosidade, que torna a viscosidade do óleo menos dependente da temperatura. A viscosidade afeta diretamente a eficiência e o calor gerado por atrito nos componentes mecânicos, influenciando na vedação entre as folgas das peças e no próprio consumo dos motores. Os lubrificantes sofrem degradação com o tempo de operação, podendo ser devido a oxidação do óleo base, diluição do combustível e contaminação por água, fuligem ou partículas metálicas. Este último tipo de contaminação é mais comum em máquinas antigas segundo Silveira (2006). Devido a essa degradação, os óleos lubrificantes precisam ser substituídos periodicamente. Os exemplos citados anteriormente para essa degradação são difíceis de serem descobertos, sendo necessários testes laboratoriais de alto custo que demandam longo tempo para obter resultados (Jakoby et al., 2003). Porém, esses fatores influenciam diretamente na viscosidade e densidade dos lubrificantes. Logo, nota-se a importância do desenvolvimento de sensores que permitam a medição dessas propriedades. A determinação do momento de troca é essencial para garantir que o motor funcione com máxima eficiência. Óleos lubrificantes são trocados normalmente após horas de operação ou distâncias percorridas recomendadas. A avaliação do óleo periodicamente pode garantir uma economia, se o óleo ainda estiver apto a ser usado após o tempo recomendado, ou prevenir que o motor não sofra dano se o óleo se deteriorar antes desse tempo. Por isso, a avaliação de óleos lubrificantes é considerada uma técnica de manutenção preditiva por Lukas e Anderson (1996) e Malpica (2007).

Visando a multifuncionalidade e diminuição das dimensões dos sensores de viscosidade e densidade, estudos têm sido realizados para o desenvolvimento de dispositivos alternativos, muito deles utilizando materiais piezoelétricos. Como exemplo, os trabalhos de Ricco e Martin (1987) e Jakoby e Vellekop (1998) buscaram desenvolver sensores baseados em ondas acústicas, Takarada et al. (2012) e Martin et al. (1995) desenvolveram sensores baseados na ressonância do

dispositivo. Na literatura, um problema recorrente é que os sensores não obtêm valores de viscosidade e densidade independentes, mas sim um produto entre esses valores, como Thalhammer et al. (1998). Para a resolução desse problema, Takarada (2012) propôs um sensor com dois modos de vibração e Martin (1995) o uso de dois ressonadores operando simultaneamente. Nos dois casos a dissociação da viscosidade e densidade se dava pela combinação dos resultados.

Do ponto de vista de aplicação, os sensores de baixo custo são interessantes para a instrumentação embarcada de equipamentos. Nesses casos, o medidor não precisa ter uma incerteza muito baixa, mas sim, ser sensível a variações nas propriedades dos fluidos que indiquem a necessidade de uma intervenção ou reparo. É nesse contexto que o presente trabalho se insere.

O presente relatório está didaticamente dividido em 4 seções. Nessa primeira faz-se uma introdução ao objeto de estudo. Na segunda seção descreve-se a metodologia adotada. Os resultados do trabalho e as conclusões são apresentadas nas seções 3 e 4.

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para a calibração do dispositivo foi montada uma bancada de testes para avaliar a resposta do alto-falante piezoelétrico quando imerso em fluidos com diferentes propriedades. Na configuração proposta o sensor é excitado com um sinal elétrico do tipo degrau. Devido a suas propriedades piezoelétricas, o sensor se deforma, e vibra durante um intervalo de tempo até retornar ao repouso.

Para avaliar a vibração mecânica de um alto-falante piezoelétrico imerso em fluidos com diferentes viscosidades e densidades, foi necessário selecionar alguns fluidos de trabalho e caracterizá-los.

Os fluidos avaliados neste trabalho são misturas de glicerina P.A. e álcool etílico hidratado 70° INPM com diferentes proporções. A glicerina foi escolhida por ser muito viscosa, e por ter uma grande variação de viscosidade com a temperatura. Já o álcool foi escolhido por ser pouco denso e pouco viscoso. Assim, com esses dois fluidos é possível criar misturas com grandes variações de viscosidades e densidades. Procurou-se misturas que permitissem analisar a resposta do dispositivo em situações em que os fluidos tinham valores fixos de viscosidade e a densidade era variável e em situações em que a densidade era fixa e a viscosidade foi variada. Desse modo, buscou-se avaliar a influência de cada parâmetro isoladamente na resposta do sistema.

Foram selecionados cinco fluidos com concentrações diferentes de álcool e glicerina. Suas viscosidades foram caracterizadas utilizando um viscosímetro rotacional da Viscotech modelo vr 3000z e, variando a temperatura, um banho térmico da Huber modelo MPC E. As densidades foram identificadas medindo o volume do fluido num béquer graduado e pesando numa balança de precisão da Gehaka modelo AG200.

Normalmente a densidade varia com a temperatura. Quando se aumenta a temperatura de um material haverá uma dilatação devido a separação dos átomos das moléculas, o que faz com que a densidade diminua. Nos fluidos estudados a densidade foi considerada constante com a variação de temperatura, pois os coeficientes de dilatação volumétrica do álcool e da glicerina são baixos,  $11,2 \times 10^{-4}$  e  $4,9 \times 10^{-4}$  ( $1/^{\circ}\text{C}$ ), respectivamente. Assim, a variação de densidade dos fluidos dentro da faixa de temperatura analisada pode ser considerada desprezível em comparação a variação de densidade dos fluidos entre si.

Para aquisitar dados e assim realizar a calibração do dispositivo foi necessário primeiro avaliar como a variação da densidade e a variação da viscosidade afetam as características dinâmicas do sensor. Neste trabalho buscou-se observar a resposta do sensor quando imerso em diferentes fluidos. Esses fluidos foram colocados em recipientes herméticos e imersos em um banho térmico da Ethiktechnology, onde era possível controlar a temperatura do fluido estudado para se manter as mesmas temperaturas de viscosidades previamente conhecidas.

O princípio de funcionamento do dispositivo proposto é baseado no efeito piezoelétrico. O sensor recebe um sinal de excitação, se deforma e oscila durante um tempo. Como o efeito piezoelétrico é reversível, a deformação do sensor também retorna um sinal elétrico. Na configuração estudada, utilizam-se dois discos piezoelétricos colados (Fig. 1-a), sendo que um dos discos é excitado com uma perturbação do tipo degrau, o que gera uma vibração mecânica, e o outro, que recebe essa vibração por contato, é utilizado para medição da deformação do sistema. Desse modo, é possível medir a influência dos fluidos no comportamento dinâmico do sensor. O disco piezoelétrico é composto de uma folha de metal, um eletrodo e uma membrana piezocerâmica de PZT (Fig. 1-b). O PZT, segundo Webster (1999), tem seu ponto de Curie, que no caso de materiais piezoelétricos é a temperatura em que o material perde suas propriedades piezoelétricas, em  $210^{\circ}\text{C}$ , o que o torna apto a ser usado para medições de óleos lubrificantes, que tipicamente chega até  $150^{\circ}\text{C}$ , segundo Jakoby et al. (2003). Utilizando-se de conceitos de vibrações mecânicas buscou-se relacionar o decaimento da amplitude das oscilações e a frequência natural de vibração com a viscosidade e densidade do fluido.



**Figura 1. a) Imagem real de um disco piezoelétrico; b) Desenho esquemático de um disco piezoelétrico.**

Para a avaliação do dispositivo piezoelétrico desenvolveu-se o sistema de potência para excitação do atuador e as rotinas de aquisição de dados. As medições foram sincronizadas de modo que técnicas de médias de eventos pudessem ser aplicadas. Isso contribui para redução de ruídos espúrios nos resultados obtidos.

A vibração do transdutor piezoelétrico foi induzida através da aplicação de um degrau de tensão ao atuador. O gatilho para a variação de tensão no transdutor foi feito através do software *LABVIEW®* 2012 com a geração de um sinal elétrico através de uma placa multifuncional USB-6009 da *National Instruments*. O sinal de tensão gerado pelo piezoelétrico passivo foi coletado pela placa multifuncional, juntamente com o software *LABVIEW®* 2012.

### 3. RESULTADOS

Na primeira parte dos resultados descreve-se a caracterização dos fluidos realizada com o viscosímetro e com a metodologia adotada para medição da densidade. Os resultados obtidos são apresentados nas Figs. 2 e 3. Os resultados mostram que na faixa de aproximadamente 25 a 45 cP, diferentes fluidos possuem a mesma viscosidade quando aquecidos a diferentes temperaturas. Na figura observa-se também a variação exponencial da densidade da mistura com a temperatura. Os dados mostram que quanto maior a concentração de glicerina maior a sensibilidade com a temperatura e maior a viscosidade da solução. De acordo com o trabalho de Green e Parker (1939) esse comportamento é típico para glicerina e misturas de glicerina.

| TABLE I<br>MIXTURE OF FLUIDS TESTED |                          |                                            |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------|
| Fluid<br>des ignation               | Mixture fractions        | Density<br>at 25°C<br>(g/cm <sup>3</sup> ) |
| A                                   | 90% glycerol 10% ethanol | 1.23                                       |
| B                                   | 80% glycerol 20% ethanol | 1.2                                        |
| C                                   | 70% glycerol 30% ethanol | 1.17                                       |
| D                                   | 60% glycerol 50% ethanol | 1.12                                       |
| E                                   | 50% glycerol 50% ethanol | 1.09                                       |

**Figura 2. Tabela das densidades das misturas.**

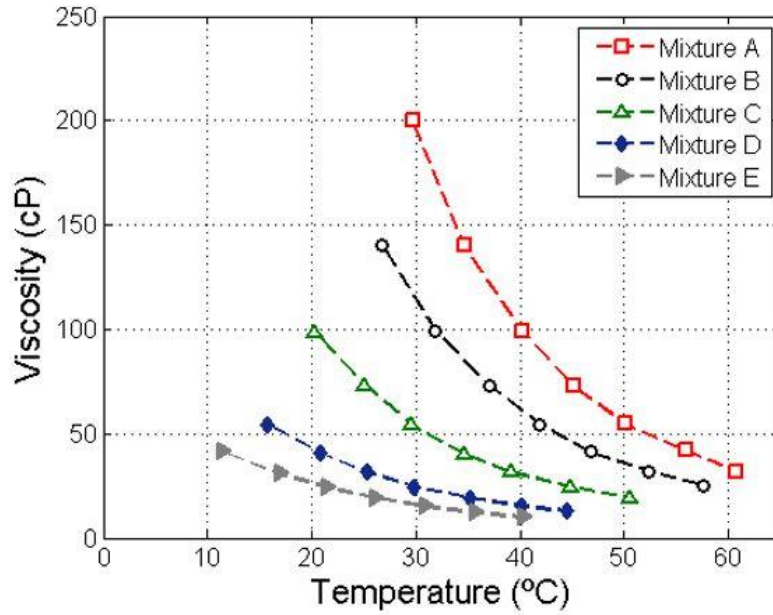


Figura 3. Gráfico Viscosidade x Temperatura.

A análise do sinal de saída do sensor foi realizada no programa MATLAB. No processamento de dados foi usada a transformada rápida de Fourier (função `fft` no MATLAB) para determinar a frequência natural de vibração a partir do sinal do sensor piezoelétrico. A equação da transformada é dada na Eq. 1 de acordo com Haykin e Van Veen (2001).

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n * e^{-i\omega_0 kn}, \quad \text{com } k = 1, 2, 3 \dots \quad (1)$$

Em que  $\omega_0$  é a frequência fundamental,  $k$  é o fator multiplicativo da frequência,  $x_n$  é a representação do sinal no tempo discreto e  $X_k$  é a representação da frequência no tempo discreto.

Segundo Haykin e Van Veen (2001), a função `fft` funciona melhor em um sinal periódico. Baseado nesse princípio foi realizado um espelhamento do sinal coletado, conforme ilustrado na Fig. 4.

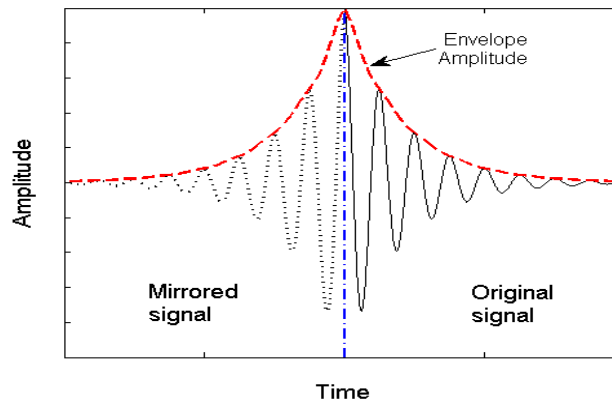
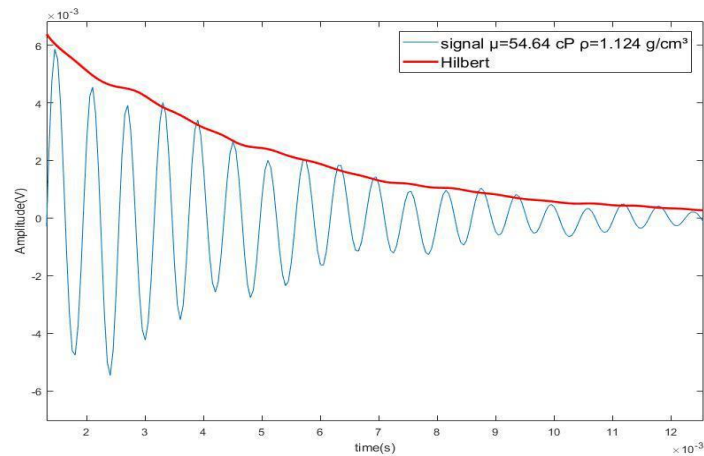


Figura 4. Sinal espelhado.

De acordo com Tropea et al. (2007), a transformada de Hilbert (Eq. 2) permite extrair amplitude do envelope de sinais modulados. Utilizando a função Hilbert no MATLAB, foi possível então determinar a amplitude do envelope do sinal do sensor. Nesse experimento o “envelope” forneceu a informação sobre o decaimento exponencial de amplitude de vibração do transdutor piezoelétrico. A Fig. 5 ilustra o processo.

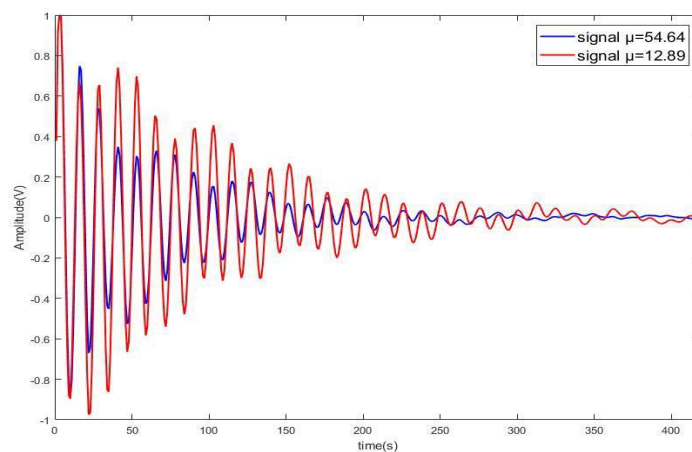
$$E(x) = x(t) + i h(t) \quad (2)$$

Em que  $E(x)$  é o envelope do sinal,  $x(t)$  e  $i h(t)$  são, respectivamente, as partes reais e imaginárias do sinal que foi aplicado a transformada de Hilbert.



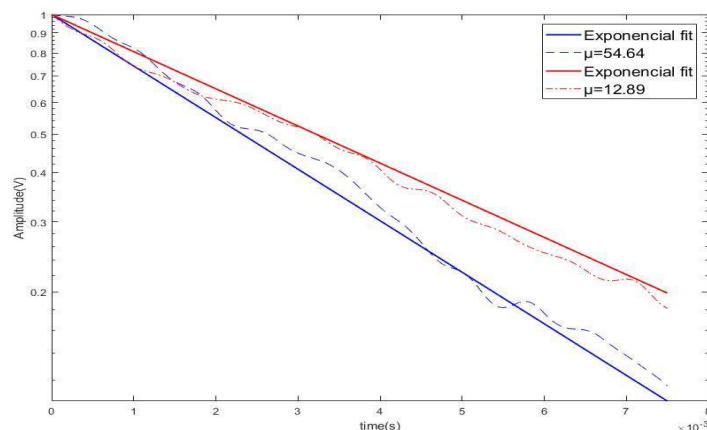
**Figura 5. Sinal "envelopado".**

O sinal de vibração do sensor imerso em um fluido em diferentes temperaturas permite avaliar como a viscosidade influencia na resposta do sensor. Nesse caso a variação de densidade é desprezível e a maior variação de propriedade é na viscosidade. Os resultados apresentados na Fig. 6 mostram que a diferença do decaimento para fluidos de diferentes viscosidades é notável. A figura sugere que quanto mais viscoso for o fluido mais rápido será o decaimento em amplitude das oscilações do sensor.



**Figura 6. Sinais de fluidos com viscosidades diferentes.**

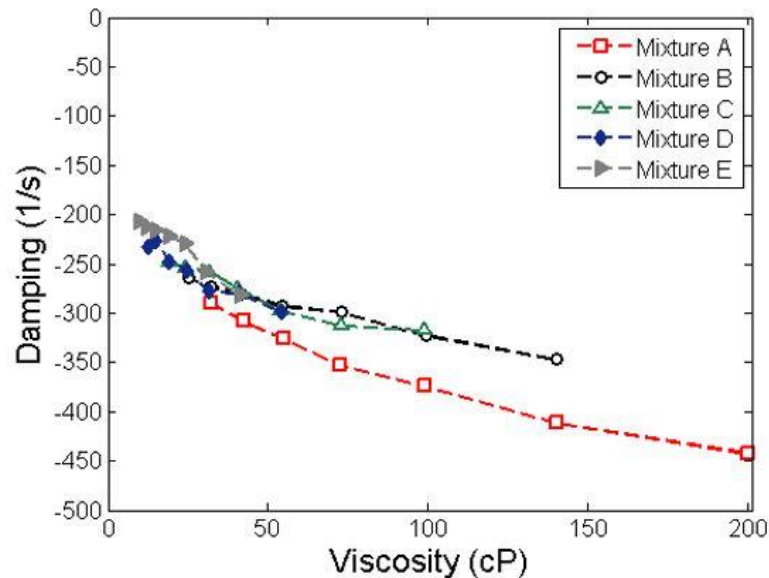
Na Fig. 7 foi plotado em escala logarítmica o envelopamento realizado anteriormente, visando determinar o expoente da função exponencial. Esse expoente é o fator de amortecimento, e busca-se relacioná-lo com a viscosidade do fluido. Nota-se pela figura que o fluido de maior viscosidade tem o maior coeficiente em módulo e sua amplitude decai mais rápido, diminuindo o tempo de oscilação do transdutor piezoelétrico.



**Figura 7. Decaimento da amplitude para diferentes viscosidades.**

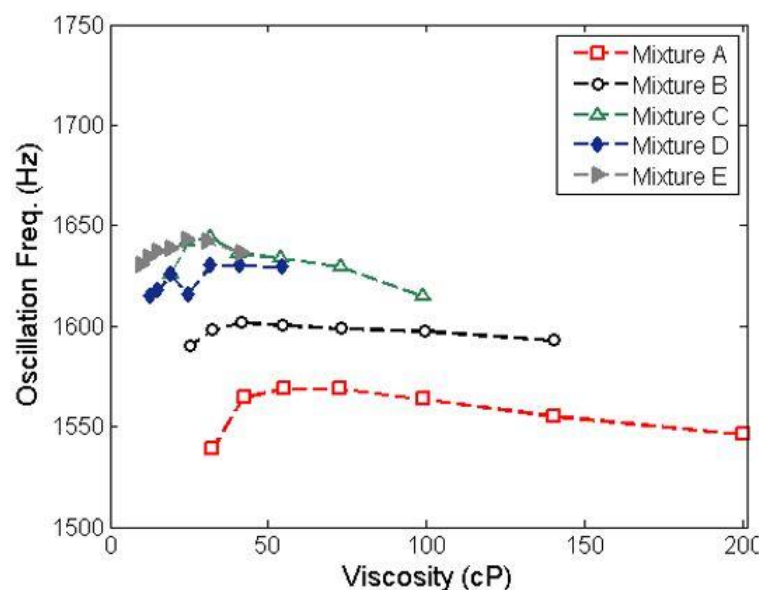
A Fig. 8 mostra a variação do fator de amortecimento com a viscosidade. É possível perceber que quanto maior a viscosidade, maior é o fator de amortecimento em módulo, isso significa que quanto mais viscoso o fluido for, mais rápido o transdutor elétrico parará de oscilar. A figura mostra ainda que para fluidos com viscosidade intermediária as curvas de resposta do sensor apresentam um comportamento repetitivo. Somente o caso com o fluido mais viscoso (Fluido A) apresentou variação significativa com relação aos demais fluidos. O motivo para esse comportamento ainda não foi compreendido. Testes adicionais estão sendo realizados para identificar a origem da variação.

Com exceção do caso com o fluido A, as curvas sugerem que o amortecimento é fracamente influenciado pela densidade. Isso porque fluidos com densidades diferentes, mas viscosidades semelhantes, apresentaram amortecimento parecido. Esse resultado é interessante do ponto de vista de calibração do sensor pois facilita o procedimento



**Figura 8. Gráfico Fator de Amortecimento x Viscosidade.**

A Fig. 9 mostra a variação da frequência de vibração natural com a viscosidade. É possível notar que a frequência natural não varia significativamente com a mudança de viscosidade de um fluido. Entretanto há uma variação considerável entre fluidos na mesma faixa de viscosidade. Essa oscilação está relacionada com o valor de pico escolhido para identificação da frequência dominante no espectro. Logo pequenas mudanças na distribuição de amplitudes do espectro podem induzir grandes saltos na medição da frequência do sinal. Pretende-se melhorar essa identificação. Uma possível alternativa é através de medidas integrais e centroides. De qualquer maneira, os resultados obtidos sugerem que a frequência natural é afetada mais pela densidade de um fluido do que pela sua viscosidade.



**Figura 9. Gráfico da frequência de vibração natural x viscosidade.**

Através dos dados coletados foi possível obter superfícies de calibração de densidade e de viscosidade, Figs. 10 e 11, respectivamente. Utilizando-se apenas os resultados retornados pelo sensor, frequência de oscilação e fator de amortecimento, é possível obter a viscosidade e densidade do fluido testado em que o sensor está imerso. A calibração foi realizada seguindo um polinômio de terceira ordem, como mostrada nas Eqs. 3 e 4.

$$\rho = a_0 + f a_1 + D a_2 + f^2 a_3 + D^2 a_4 + f D a_5 + f^3 a_6 + D^3 a_7 + f^2 D a_8 + D^2 f a_9 \quad (3)$$

$$\mu = b_0 + f b_1 + D b_2 + f^2 b_3 + D^2 b_4 + f D b_5 + f^3 b_6 + D^3 b_7 + f^2 D b_8 + D^2 f b_9 \quad (4)$$

Em que  $a_n$  e  $b_n$  são os coeficientes de calibração,  $f$  é a frequência de oscilação,  $D$  é o fator de amortecimento,  $\rho$  é a densidade e  $\mu$  é a viscosidade dinâmica.

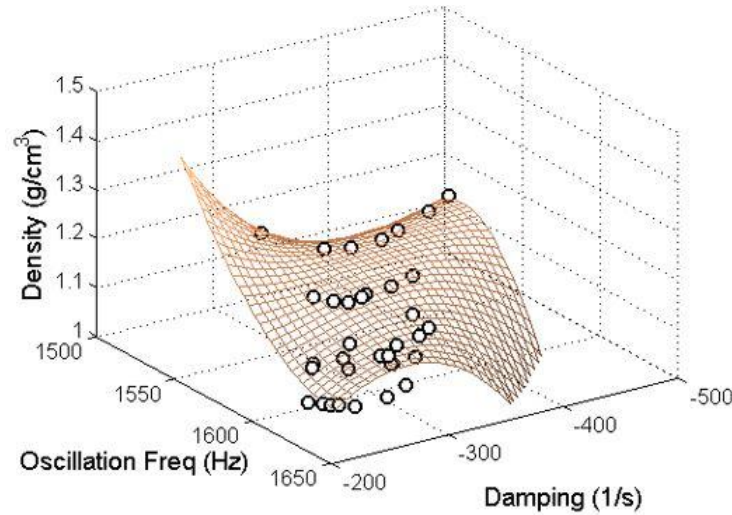


Figura 10. Superfície de calibração Densidade.

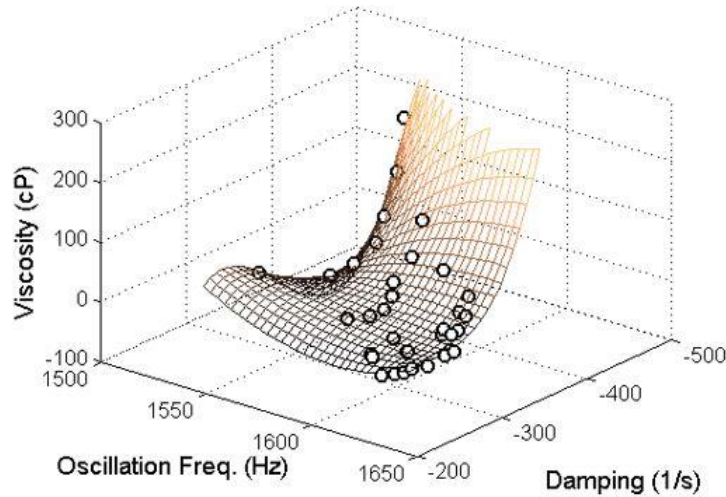


Figura 11. Superfície de calibração de Viscosidade.

A partir da análise das incertezas associadas à calibração, está sendo avaliada a possibilidade de se utilizar o equipamento para o monitoramento do nível de degradação de óleos lubrificantes.

#### 4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi estudado o funcionamento de um instrumento de baixo custo concebido para medir a densidade e a viscosidade de fluidos, utilizando transdutores piezoelétricos.

Ao fim do experimento foi possível concluir que o sensor proposto é sensível a variações das propriedades do fluido. Notou-se que o amortecimento é fortemente dependente da viscosidade do fluido enquanto que a frequência natural é mais afetada pela densidade. Na próxima etapa do trabalho pretende-se avaliar a sensibilidade de sensores sendo apertados por uma peça de metal. Espera-se que assim a incerteza das medições seja reduzida e com isso será possível realizar

medições em fluidos com nível aceitável de incerteza (abaixo de 10%), o que não era possível com o sensor de menor diâmetro.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Conselho Nacional de Pesquisa – CNPq.

## 6. REFERÊNCIAS

- Bogue, R., 2007, "MEMS sensors: past, present and future", *Sensor Review*, Vol. 27 Issue: 1, pp.7-13.
- Etchart, I., Chen, H., Dryden, P., Jundt, J., Harrison, C., Hsu, K., Marty, F., Mercier, B., 2008, "MEMS sensors for density-viscosity sensing in a low-flow microfluidic environment", *Sensors and Actuators A* 141, pp. 266-275.
- Green E., e Parker, P., *J. SOC. Chem. Ind.*, 58, 319-320 (1939).
- Haykin, Simon S.; Van Veen, Barry, *Sinais e Sistemas*, Porto Alegre, RS: Editora Bookman, 1a. Edição, 2001.
- Heinisch, M., Vogl-Brunnmaier, T., Reichel, E.K., Dufour, I., Jakoby, B., 2014, "Reduced order models for resonant viscosity and mass density sensors", *Sensors and Actuators A* 220, pp. 76–84.
- Jakoby, B., Scherer, M., Buskies, M. and Eisenschmid, H., 2003, "An Automotive Engine Oil Viscosity Sensor", *IEEE SENSORS JOURNAL*, VOL. 3, NO. 5, pp. 562-568.
- Lukas, M. e Anderson, D. P., 2006, "Machine and Lubricant Condition Monitoring for Extended Equipment Lifetimes and Predictive Maintenance at Power Plants", *POWER-GEN '96 International Conference*.
- Malpica, L.G.T., 2007, "Manutenção Preditiva De Motores De Combustão Interna, À Gasolina, Através Da Técnica De Análise De Lubrificantes", Tese de Mestrado, Unesp, São Paulo.
- Martin, S. J., Cernosek, R.W. and Spates, J. J., 1995, "Sensing Liquid Properties with Shear-Mode Resonator Sensors", *The 8th International Conference on Solid-state Sensors and Actuators, and Eurosensors IX*. Stockholm. Sweden, pp. 712-715.
- Méndez-Sánchez, A.F., Pérez-Trejo, L., Mercado, A.M.P., 2010, "Determinación de la viscosidad de fluidos newtonianos y no newtonianos (una revisión del viscosímetro de Couette)", *Lat. Am. J. Phys. Educ.* Vol. 4, No. 1, pp. 237-245.
- Ricco, A. J. and Martin, S. J., 1987, "Acoustic wave viscosity sensor", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 50, No. 21, 1474-1476.
- Silveira, E. L. C., Caland, L. B., de Moura, C. V. R., Moura, E. M., 2006, "Determinação De Contaminantes Em Óleos Lubrificantes Usados E Em Esgotos Contaminados Por Esses Lubrificante", *Quim. Nova*, Vol. 29, No. 6, pp. 1193-1197.
- Takarada, J., Wakatsuki, N., Mizutani, K., and Yamamoto, K., 2012, "Measurement of Liquid Viscosity and Density Using Single Piezoelectric Resonator with Two Vibration Modes", *Japanese Journal of Applied Physics* 51.
- Thalhammer, R., Braun, S., Devcic-Kuhar, B., Gröschl, M., Trampler, F., Benes E., Nowotny, H. and Kostal, M., 1998, "Viscosity Sensor Utilizing a Piezoelectric Thickness Shear Sandwich Resonator", *IEEE TRANSACTIONS ON ULTRASONICS, FERROELECTRICS, AND FREQUENCY CONTROL*, VOL. 45, NO. 5, pp. 1331-1340.
- Tropea, C., Yarin, A., Foss, J., 2007, *Handbook of Experimental Fluids Mechanical*, Springer.
- Webster, J. G., 1999, "The Measurement, Instrumentation and Sensor Handbook".

## 7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

# DEVELOPMENT OF A PIEZOELECTRIC SENSOR FOR MEASUREMENTS OF VISCOSITY AND DENSITY OF FLUIDS

Mike Pessanha Valente, [mikepvalente@gmail.com](mailto:mikepvalente@gmail.com)<sup>1</sup>

Igor Braga de Paula, [igordepaula@puc-rio.br](mailto:igordepaula@puc-rio.br)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica, Rua Marquês de São Vicente, 225, Cep: 22451-900, Gávea - Rio de Janeiro, RJ.

**Abstract.** *In the present work, a sensor was designed, built and tested to be applied for monitoring lubricating oils properties. The idea is to measure density and viscosity in real time to monitor the degradation of lubricating oils. Viscosity is one of the most important properties of fluids, especially for lubricating oils. These lubricants deteriorate with the operating time and must be replaced periodically. The prediction of fluid replacement is essential to guarantee the engine health and avoid excessive loss of efficiency. The device proposed uses two bonded piezoelectric disks that are immersed in the fluid. One of the disks is excited with a step signal disturbance and the other is used to measure the deformation of the membrane. It was evaluated how the variation of the density and viscosity affect the natural frequency and the damping factor of the sensor and the calibration of the device was performed. Thereby, it was possible to measure the influence of the fluids on the dynamic behavior of the equipment. The analysis of the uncertainties associated with the calibration of the sensor indicates that it can be suitable for monitoring degradation of highly viscous lubricating oils.*

**Keywords:** *Viscosity, density, piezoelectricity, fluids, sensor.*

The authors are the only responsible for the content of this work.