

## MONTAGEM E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA EXPERIMENTAL PARA FOTOACÚSTICA II. Anderson José Silva Maurity, Victor Ciro Solano Reynoso. – Ciência dos Materiais – Física – Departamento de Física e Química (DFQ) – Faculdade de Engenharia – Campus de Ilha Solteira.

No laboratório de Vidros e Cerâmicas do DFQ da FEIS, estamos desenvolvendo um sistema experimental para medidas de propriedades térmicas e ópticas em materiais através do efeito fotoacústico. Em relação ao nosso trabalho anterior apresentado (CIC, FEIS-2005), nesta oportunidade procuramos melhorar e otimizar a célula fotoacústica e o sistema de detecção. Redesenhamos e construímos a célula fotoacústica na oficina mecânica do DFQ. A nova configuração vem a ser uma célula fotoacústica aberta (OPC) onde a luz modulada através de um Chopper, incide diretamente na amostra em estudo, para que o sinal fotoacústico seja gerado no interior da câmara e captado mediante a um microfone sensível.

A espectroscopia fotoacústica (PA) está relacionada com as técnicas fototérmicas no sentido que a absorção de calor pela amostra, se dá através de processos de excitação não radioativos. O nosso estudo de propriedades térmicas, está fundamentado no modelo unidimensional de Rosencwaig e Gersho. Nesse modelo o efeito fotoacústico é modelado tomando em conta algumas grandezas físicas como: comprimento de absorção ( $l_p$ ), difusão térmica ( $\mu$ ),  $\alpha$  é a difusividade térmica que permite nos ter uma idéia da rapidez com que o calor é absorvido/perdido pela amostra e ao mesmo tempo é um dos parâmetros térmicos característicos de cada amostra a sua determinação ajuda a entender como cada amostra possui a sua propriedade térmica específica; esta propriedade é característico de cada material semelhante às propriedades ópticas,  $f$  é a frequência de modulação e  $l$  é a espessura do material a ser medido.

Em nosso trabalho empregamos um tipo de configuração chamada célula aberta que consiste na fixação da amostra sobre o microfone de eletreto, mas, porém, em nosso experimento deixamos um volume mínimo no porta – amostra. de maneira que a amostra não estava necessariamente diretamente em contato com microfone. O modelo teórico para este caso prevê que o sinal fotoacústico apresenta dependência com a frequência de modulação do tipo :  $S = \frac{A}{f} \exp(-af^{1/2})$

para o caso termicamente grosso ( $l \gg \mu$ ), sendo  $l$  a espessura da amostra,  $\mu = \sqrt{\frac{\alpha}{\pi f}}$  é o

comprimento de difusão térmica,  $A$  e  $a = (\pi l^2 / \alpha)^{1/2}$  são constantes. Para o caso de amostras termicamente finas ( $l \ll \mu$ ), a dependência do sinal fotoacústico em função da modulação da luz é dada por:  $S = \frac{B}{f^{3/2}}$ , onde B é uma constante

Para a montagem experimental do nosso sistema fotoacústico utilizamos os seguintes equipamentos: a) Amplificador Sintonizado Lock-in. Para fazer a leitura final do sinal fotoacústico utilizamos o amplificador Lock-in SR530 da Stanford Research Systems, possui dois canais para a medida do sinal e a fase em quadratura.

b) Fonte de Luz laser (He -Ne). Utilizamos como principal fonte de excitação luminosa um laser de He – Ne de  $\lambda=632.6$  nm com potência de 10 mW.

c) Microfone de eletreto. O microfone empregado em nossas medidas é do tipo capacitivo de eletreto da Knowles Electronic, além de ser barato apresenta boa fidelidade, diretividade e sensibilidade.

d) Modulador ou cortador de luz (Chopper). Para fazer a modulação do feixe de laser, utilizamos um cortador de luz modelo MC1000 da Thorlabs, que funciona de maneira a poder selecionar a frequência da luz que incide na amostra. Este equipamento cria o sinal de referencia para o amplificador lock-in.

e) Osciloscópio Tectronix. O monitoramento do sinal fotoacústico gerado na célula e os possíveis alinhamentos foram realizados com a ajuda do osciloscópio da Tektronix modelo TDS 3032, para visualizar a intensidade do sinal fotoacústico e comprovar a frequência de modulação. Feito isto, é que nós levamos o sinal ao lock-in para a leitura e aquisição de dados.

f) A construção da célula fotoacústica e detecção do sinal fotoacústico. Na intenção de construir uma célula fotoacústica não ressonante, tomamos em conta o tipo de medida a ser feita. Nos experimentos de fotoacústica o desenho da célula é muito crítico devido a que precisamos melhorar para obter uma boa razão sinal/ruído, todos os estudos teóricos e experimentais predizem que para uma constante de absorção da luz pela amostra, a amplitude do sinal fotoacústico que chega ao microfone depende das dimensões da célula. A célula foi construída em latão na oficina mecânica do DFQ com o auxílio de um técnico, na qual o circuito pré-amplificador e o porta amostra se situam em seu interior. Isto permitiu o total isolamento de ruídos acústicos do exterior; o porta-amostra é uma peça feita de náilon de 3mm de diâmetro por 2 profundidade e no mesmo existe uma cavidade onde a amostra é colocada e na parte inferior existe um duto de 1 mm de diâmetro que garante a propagação do sinal fotoacústico até o microfone. A figura 1 ilustra a célula fotoacústica desta pesquisa e a figura 2 a montagem completa do sistema.

A célula fotoacústica possui forma de cilindro, e é hermeticamente fechada tanto de trás e frontal, anéis de borracha garantem a vedação. Para a passagem de luz para o interior da câmara fotoacústica é utilizada uma janela de vidro, ou seja, todos esses cuidados foram necessários para garantir o isolamento entre o interior da câmara e o ambiente externo do laboratório. Tivemos também uma atenção maior na questão da alimentação do circuito pré-amplificador, feita através de um divisor de tensão fazendo uso de duas baterias de 9V, foi preciso fazer isto pois não queríamos que qualquer ruído da rede elétrica viesse influenciar as nossas medidas fotoacústicas nos materiais.



Fig.1: Célula fotoacústica com o circuito pré-amplificador interno construído.

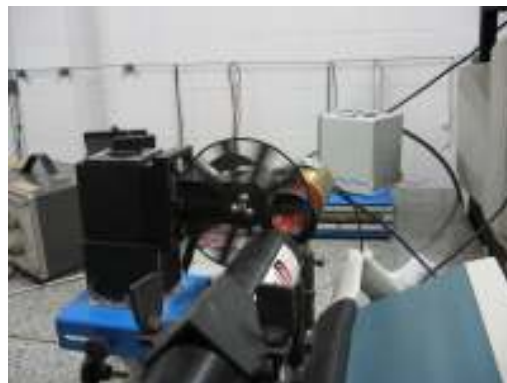


Fig.2: Aparato experimental para medidas fotoacústicas.

g) Construção do circuito pré-amplificador para o microfone de eletreto. O circuito pré-amplificador interno foi implementado na tentativa de fazer um melhor aproveitamento do sinal fotoacústico, pois geralmente o sinal medido possui intensidade muito baixa e os ruídos alheios podem atrapalhar a sua detecção. Nesta tarefa utilizamos um amplificador operacional tipo LF 353N, circuito proposto em[4] e uma etapa de polarização para o eletreto para facilitar o acoplamento do sinal, assim como também o casamento de impedância do sinal de entrada. As alterações realizadas foram no circuito pré-amplificador, na etapa de alimentação deste acrescentando um divisor de tensão e modificamos os valores dos componentes. A etapa de acoplamento foi estudada cuidadosamente para conseguir o respectivo casamento de impedância que permitiu obter um bom sinal fotoacústico. O circuito pré-amplificador utiliza a configuração inversora, temos a vantagem de termos num CI um duplo amplificador operacional que permite configurar um bom ganho para medir sinais fotoacústicos de pequena intensidade. O diagrama esquemático do circuito pré-amplificador pode ser visto como segue a figura 3. Observamos na figura a configuração de polarização do microfone e dos capacitores e resistores para o casamento de impedância e as etapas amplificadores com o LF353 até a saída do sinal.

As Medidas fotoacústicas realizadas e calibrações do sistema fotoacústico. Depois de construídos o circuito de pré-amplificação e o conjunto da célula fotoacústica, a próxima etapa foi a montagem completa do sistema e na figura 4 observamos a sequência completa da medida.

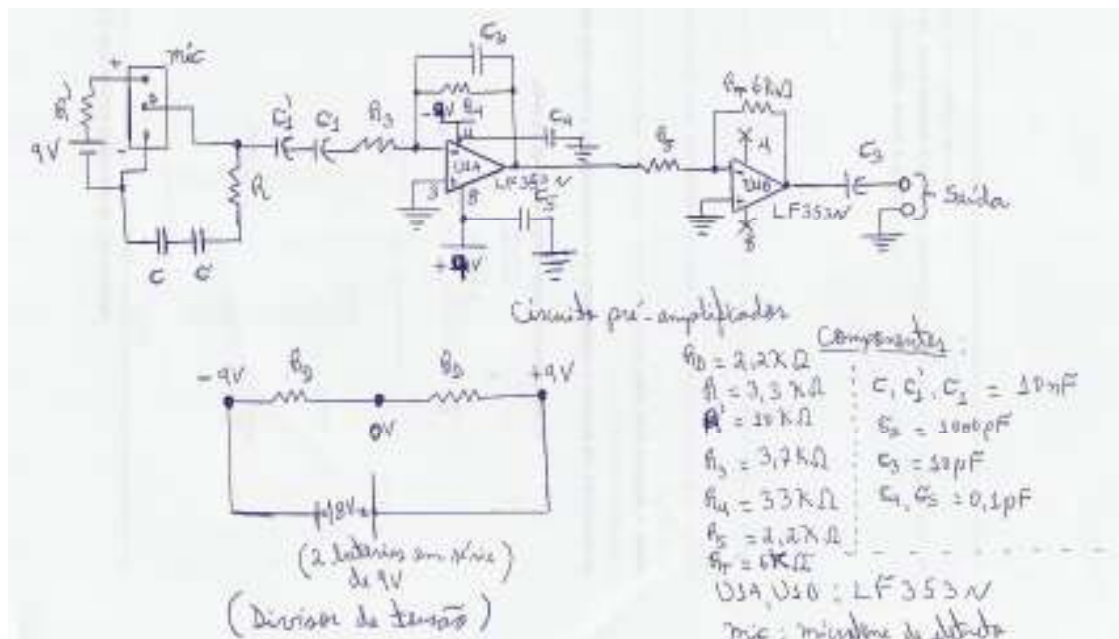


Fig. 3: Circuito pré-amplificador para medidas fotoacústicas.

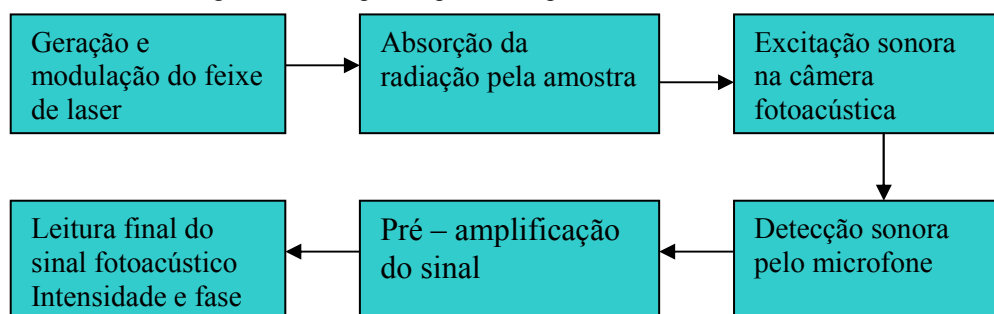


Fig. 4 : Várias etapas para a geração do sinal fotoacústico.

Foram feitas medidas fotoacústicas com uma lâmina de amostra de alumínio pintado de preto, para se obter uma curva característica de resposta do microfone, para que se possa fazer as devidas correções nas medidas fotoacústicas com outras amostras, também analisamos em um osciloscópio o formato da onda acústica gerada no experimento fotoacústico e verificamos que ela tem uma concordância com o que a literatura prevê.

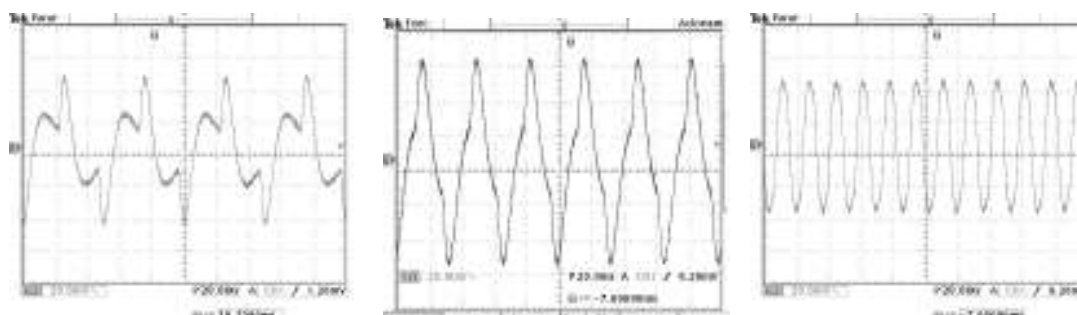


Fig. 5. Formas de onda do sinal fotoacústico para as frequências de modulação de 20Hz, 30Hz e 60Hz.

As primeiras medidas fotoacústicas foram realizadas no sentido de obter uma curva característica do comportamento do sinal fotoacústico, para efeitos de calibração do sistema. Utilizamos uma fina folha de alumínio metálico pintado de preto com espessura final de aproximadamente  $l = 0,018\text{ mm}$  que serviu de amostra sabendo que o alumínio apresenta-se em regime termicamente fino até aproximadamente 70 kHz. O sinal fotoacústico captado pelo microfone foi observado em um

osciloscópio e tem um comportamento que pode ser visto conforme algumas frequências de modulação na figura 4, já nas figuras (5.a e 5.b) temos a dependência experimental do alumínio pintado de preto e a resposta normalizada do microfone em função da frequência de modulação.

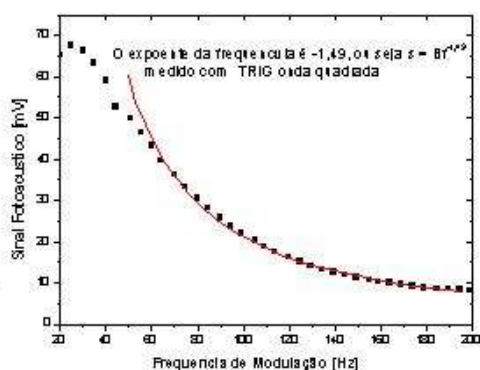


Figura 5.a : Dependência do sinal fotoacústico em função da frequência obtido experimentalmente.

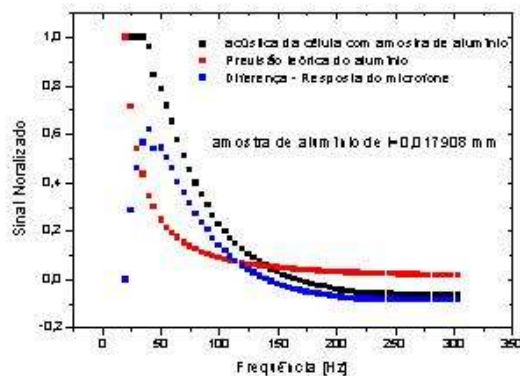


Figura 5.b : Previsão teórica para o alumínio, acústica da célula com a amostra de alumínio, e resposta do microfone experimental.

Na análise das figuras 4, notamos que a forma de onda apresenta maiores distorções para frequências abaixo de 60 Hz e só partir de 60 Hz a forma de onda se aproxima de uma senóide e percebemos que o microfone tem maior dificuldade em captar ou reproduzir fielmente os sinais para frequências abaixo de 60 Hz, e por essas e outras razões acreditamos que sejam os motivos para que na figura 5. o ajuste para a lâmina de alumínio apresente discrepâncias em comparação com a previsão teórica e a medida experimental. No entanto no ajuste experimental foi achada uma dependência do sinal fotoacústico de

aproximadamente  $S = \frac{B}{f^{1,49}}$  para a faixa de frequência de (60-200) Hz a qual se ajusta muito bem a

previsão do alumínio. Finalmente na figura 5.b é mostrada a curva de resposta para o microfone de eletreto que foi obtida experimentalmente em nosso laboratório, considerando a previsão teórica do

alumínio que é  $S = \frac{B'}{f^{1,5}}$ , onde  $B'$  é uma constante, de acordo com os estudos Bento (1987, p. 81).

Conforme os gráficos acima, vemos uma grande aproximação e concordância com alguns trabalhos da área de fotoacústica. Temos também a plena consciência que ainda devemos fazer algumas melhorias em nosso sistema experimental. Entretanto mostramos que conseguimos desenvolver o sistema gerando um bom sinal fotoacústico pela implementação da pré-amplificação do microfone de eletreto e com o adequado desenho da câmera fotoacústica.

## Referências Bibliográficas

1. FONSECA, JOSÉ ROBERTO LOCATELLI. Projeto e construção de um espectrômetro de fotoacústica : aplicação para medir a energia de um laser pulsado. Rio Claro :[ s. n.], 2002.
2. J. P. VALCÁCEL M. ; J. PALACIOS A.; J. J. ALVARADO – GIL. Determination of the thermophysical properties of polymers ( PET ) using photoacoustic spectroscopy. Journal of materials science 34, 1999.
3. BENTO, ANTONIO CARLOS. Aplicações da espectroscopia fotoacústica em materiais transparentes. UNICAMP, 1987.
4. ROBERT , YORK. Circuits, Devices, and Systems, Lab.2. UCSB, 2006.

**Bolsa : PROEX**