

DETECÇÃO DE SINAIS FOTOACÚSTICOS EM LÍQUIDOS BIOLÓGICOS

***Aline Helena Araujo Machado¹, Dorival Alves Rocha Neto², Eduardo Polli Fujita³,
Fernanda Roberta Marciano⁴, Rosana Maria Moreira Santos⁵, Carlos Júlio Tierra
Criollo⁶, Eder Rezende Moraes⁷, Paulo Roxo Barja⁸, Daniel Avalos Acosta⁹, Marcos
Tadeu Tavares Pacheco¹⁰.***

¹⁻⁵ Faculdade de Ciências da Saúde (FCS)
Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP), Brasil, 12244-000
Fone: +55 12 3947 9999, Fax: +55 12 3947 9999
⁶⁻¹⁰ Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento (IP&D),
Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP), Brasil, 12244-000
Fone: +55 12 3947 9999, Fax: +55 12 3947 9999

alineharaujo@aol.com, dorival@directnet.com.br, edufujita@uol.com.br, femarciano@uol.com.br,
rmm santos@uol.com.br, carjulio@univap.br, eder@univap.br, barja@univap.br, dacosta@univap.br,
mtadeu@univap.br

Resumo – A Espectroscopia Fotoacústica é uma das principais técnicas de análise e caracterização de materiais. O sinal é obtido por um feixe de luz modulada que atravessa a janela, atinge a amostra e por ela é absorvida. Por um processo de desexcitação não radioativo, a radiação absorvida é transformada em energia térmica. Para a produção do sinal fotoacústico em uma amostra, coexistem três mecanismos básicos: o da difusão térmica, o da expansão térmica e o da expansão termoelástica. A luz é captada por um microfone e este sinal é enviado para o lock-in, que o amplifica, e, a seguir, é enviado para um microcomputador onde é processado e analisado. O objetivo do presente trabalho é realizar um instrumento virtual para a coleta dos sinais fotoacústicos em líquidos biológicos. Para isso, utilizou-se o modulador e o microfone da célula fotoacústica que foram conectados a um amplificador síncrono (lock-in), o software LabView® como interface entre a placa (RS232) e o lock-in, para que os dados obtidos da amostra possam ser analisados no computador. Para o primeiro teste do sistema, foi utilizada como amostra, a resina dentária. Foram realizadas medidas com frequências de 20, 40 e 80Hz. Com isso, foi possível concluir que as frequências de pico são as mesmas frequências do chopper e que quanto maior a frequência, maior é a energia do sistema.

Abstract – The Photoacoustic Spectroscopy is one of the main tecnic of analysis and characterization of the materials. The signal has been captured by the modulated beam that across the window, reach the sample and has been absorbed. By the nonexcitation process nonradioative, the absorbed radiation has been transformed in termic energy. For the produce of the photoacoustic signal in a sample, coexist threebasics mechanisms: termic scattering, termic expansion and termelastic expansion. The light has been captured by the microphone and the signal has been sent for the lock-in, and it have been amplificated, and, after, has been sent to the computer that processed and analysed it. The purpose of this work is realize a virtual instrument for the capture of the photoacoustic signal in a biological fluid. First of all, the modulator and the microphone of the photoacoustic cell has been connected to the sincron amplificatory (lock-in), the LabView® software has been the interface between the plate (RS232) and the lock-in, for the sample dates would been analyzed by the computer. For the first test of the system, the dentistry resin has been work like sample. The frequencies were: 20, 40, and 60 Hz. Than, the conclusion was low frequencies needs loud energy of the system.

Palavras-chave: fotoacústica, líquidos biológicos, instrumento virtual.

Área de Conhecimento: III – Engenharias.

1. Introdução

A Espectroscopia Fotoacústica (em geral conhecida pela sigla PAS: PhotoAcoustic Spectroscopy) é uma técnica baseada no efeito do mesmo nome, descoberto por Alexander Graham Bell em 1880. Este efeito foi considerado

apenas como uma curiosidade durante quase um século, tendo apenas uma limitada utilização na década de 30 na detecção de poluentes em gases. A partir do início da década de 1970 esta técnica ganhou um grande impulso, sendo hoje considerada como uma das principais técnicas de

análise e caracterização de materiais (FOTOACUSTICA, 2003).

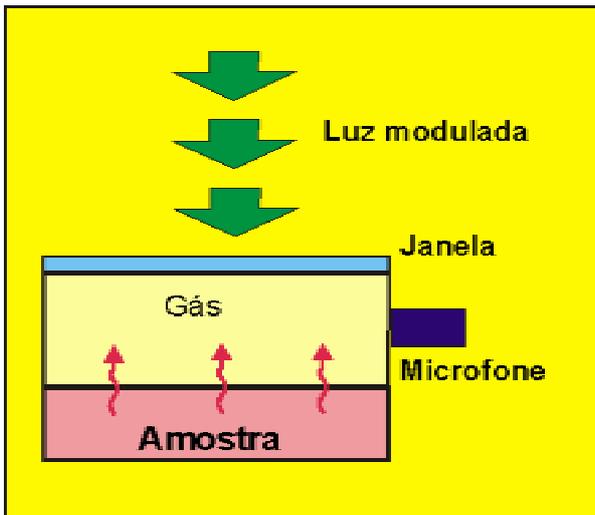


Figura 1. Efeito fotoacústico

O efeito fotoacústico é obtido em uma célula que é constituída por um recipiente fechado, preenchido por um gás (em geral o ar), no qual existe uma janela de vidro que permite a entrada de luz (Figura 1). Um feixe de luz modulada atravessa a janela, atinge a amostra e por ela é absorvida. Por um processo de desexcitação não radiativo, a radiação absorvida é transformada em energia térmica.

Para a produção do sinal fotoacústico em uma amostra sólida, coexistem três mecanismos básicos: o da difusão térmica, o da expansão térmica e o da expansão termoelástica (Figura 2).

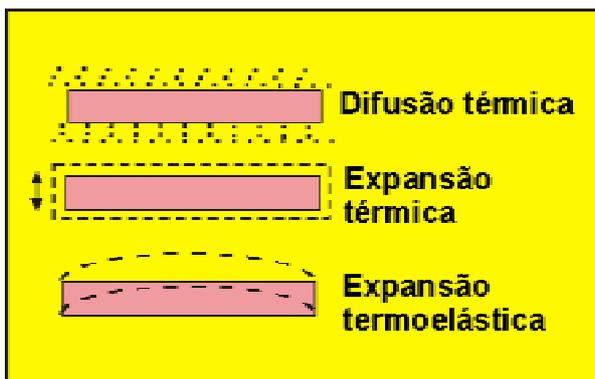


Figura 2. Mecanismos básicos para a produção do sinal fotoacústico

No primeiro processo, existe um fluxo térmico desde a amostra até o gás circundante, provocando neste uma variação da temperatura com a mesma frequência de modulação da luz incidente. No entanto, apenas uma fina camada de gás, nas vizinhanças da amostra, é que responde termicamente às flutuações de temperatura da amostra. Esta camada irá sofrer um processo cíclico de expansão/ contração funcionando como um pistão vibratório sobre o

resto da coluna de gás, gerando assim o sinal fotoacústico. Este sinal é detectado por um microfone alojado em uma câmara conectada à célula fotoacústica. Esta explanação para o fenômeno é devida a Rosencwaig e Gersho e muitas vezes é referida como *modelo do pistão simples* (FOTOACUSTICA, 2003).

No segundo processo, a vibração mecânica, devido a expansão e contração da própria amostra, se soma à vibração daquela fina camada de gás, atuando sobre o resto da coluna de gás como um pistão. Este modelo, proposto por McDonald e Wetsel é também conhecido como *modelo do pistão composto* (FOTOACUSTICA, 2003).

O terceiro mecanismo de geração do sinal é o da flexão termoelástica. Este fenômeno surge quando temos uma amostra presa em suas extremidades. A luz incidente sobre a amostra gera um gradiente de temperatura dentro dela, perpendicular à sua face de maior dimensão. Devido a este gradiente, a expansão térmica será dependente da profundidade, flexionando a amostra. Esta flexão periódica faz com que a superfície da amostra produza o sinal fotoacústico. Este mecanismo foi proposto originalmente por Rousset, Lepoutre e Bertrand (FOTOACUSTICA, 2003).

1.1. A detecção do sinal fotoacústico

A figura 3 mostra uma montagem típica de um espectrômetro fotoacústico.

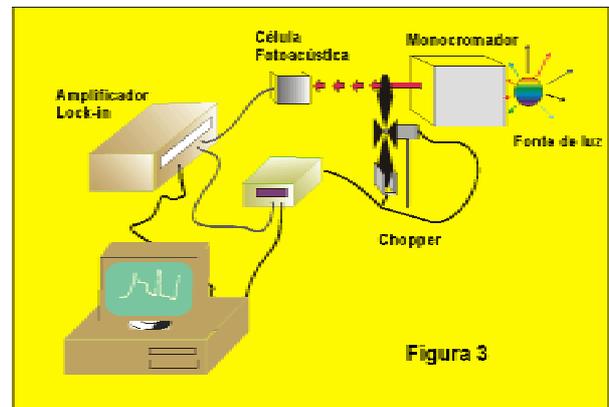


Figura 3. Montagem típica de um espectrômetro fotoacústico

Um fonte de luz policromática é modulada por um *chopper* o qual envia um sinal de referência para um amplificador síncrono (também chamado de *lock-in*). Esta luz passa por um monocromador que separa a luz branca em suas diversas componentes, obtendo-se então luz monocromática. A figura 4 mostra como isto é obtido. A luz atinge então a amostra, gerando o sinal fotoacústico que é captado por um microfone no interior da célula. Este sinal é enviado para o *lock-in*, o qual só amplifica as

componentes do sinal que possuem a mesma frequência de modulação do sinal de referência, eliminando, portanto sinais espúrios e indesejáveis. A seguir o sinal amplificado é enviado para um microcomputador onde é processado e analisado.

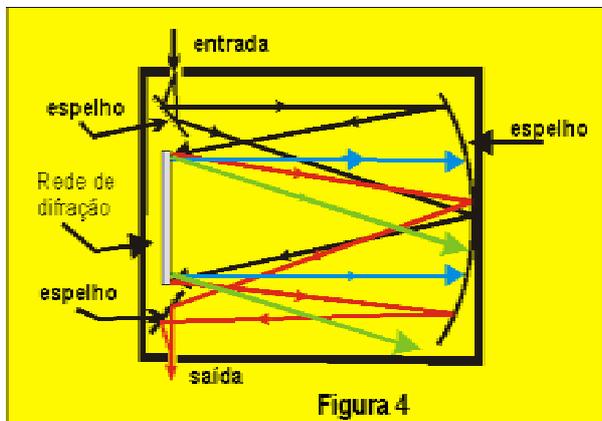


Figura 4. Obtenção da luz monocromática

1.2. Célula Fotoacústica

A célula fotoacústica consiste de uma câmara com uma reentrância na qual é colocada a amostra; esta câmara é ligada a um microfone através de um canal de ar. A modulação da pressão gera um movimento oscilatório no diafragma do microfone; isto é detectado pelas mudanças na capacitância entre o diafragma e a placa metálica fixa montada atrás deste. Para garantir o isolamento acústico, a cavidade é geralmente vedada com uma janela transparente e anéis de borracha (*o-rings*). O volume de gás (ar) na câmara precisa ser pequeno, para se detectar a expansão e contrações periódicas nas camadas próximas à amostra com maior sensibilidade (BARJA, 1996).

A célula fotoacústica aberta (OPC) substitui as células convencionais com vantagens. O detetor dos sinais fotoacústicos é um microfone de eletreto comercial, de fácil aquisição e boa sensibilidade (10mV/Pa). Este microfone consiste em um diafragma de eletreto metalizado (espessura da ordem de 10 μm , com filme metálico de 50 - 100nm) e uma placa de metal separados por uma camada de ar de 45 μm (BARJA, 1996).

1.3. Algumas aplicações da fotoacústica

A espectroscopia fotoacústica é um método que permite a obtenção de espectros de absorção ótica de sólidos, semi sólidos, líquidos e gases. É uma técnica versátil, que permite a análise de amostras tanto opticamente opacas quanto transparentes. Ademais, luz espalhadas pela amostra, que constitui um sério problema nas demais técnicas de espectroscopia ótica, não

provoca nenhum problema relevante para a fotoacústica, uma vez que apenas luz absorvida pela amostra é convertida no sinal desejado. Por outro lado, esta técnica, na maioria dos casos, não exige uma preparação rigorosa da amostra. Mais ainda: por ser uma técnica não destrutiva, permite o acompanhamento da mesma amostra quando submetida à diversos tratamentos químicos, térmicos, físicos, entre outros.

Os espectros de absorção fotoacústica fornecem elementos importantes no estudo das bandas de energia de um dado elemento, uma vez que permite a atribuição das transições óticas envolvidas. Ademais, pode oferecer algumas informações acerca do estado de coordenação de um dado íon alojado em uma matriz bem como de seu estado de oxidação (NAKAMURA, 1991). Empregando o método da separação do espectro na fase do sinal fotoacústico (CESAR, 1984), podemos caracterizar e distinguir dois (ou mais) centros absorvedores presentes em uma mesma matriz.

Entre outras aplicações, a PAS é empregada também na caracterização da propriedades térmicas da matéria, particularmente o da medida de difusividade térmica, efusividade térmica e do tempo de relaxação não radiativo. A difusividade (bem como a efusividade) térmica é um parâmetro que dá uma medida de como o calor se propaga na amostra e tem um valor único para cada material. Daí sua importância (BALDERA-LOPEZ, 1985).

Na área de materiais biológicos esta técnica é bastante promissora, uma vez que possibilita o estudo *in vivo*, deixando intacta as amostras (FOTOACUSTICA, 2003).

2. Objetivo

O objetivo do presente trabalho é realizar um instrumento virtual para a coleta e a análise espectral dos sinais fotoacústicos em líquidos biológicos.

3. Metodologia

A montagem experimental utilizada para observação do efeito fotoacústico é apresentada na figura 3.

A luz emitida pela lâmpada de Tungstenio (24V e 350W) passa por um modulador (chopper) que tem uma célula fotoelétrica responsável pelo sinal de referência da modulação. A fase do sinal fotoacústico será dada em relação a esta referência.

O modulador e o microfone da célula fotoacústica são conectados a um amplificador síncrono (*lock-in*), que recebe informações sobre a frequência de referência e o sinal fotoacústico. O amplificador síncrono mede simultaneamente a amplitude e a defasagem do sinal do microfone em relação à referência fornecida pelo

modulador, e é conectado via RS232 a um microcomputador para aquisição dos dados experimentais.

Contudo, será necessário a utilização do LabView® como interface entre essa placa (RS232) e o lock-in, para que os dados obtidos da amostra possam ser analisados no computador.

Para o primeiro teste do sistema, foi utilizada como amostra, a resina dentária. Foram realizadas medidas com freqüências de 20, 40 e 80Hz.

4. Resultado e Discussão

A figura 5 ilustra o diagrama do instrumento virtual realizado no LabView®.

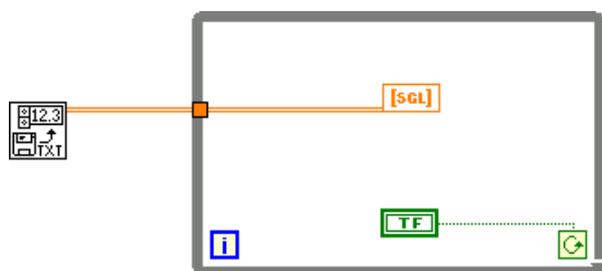


Figura 5. Diagrama do instrumento virtual.

E na figura 6 é mostrado o painel do instrumento virtual antes da realização dos experimentos.

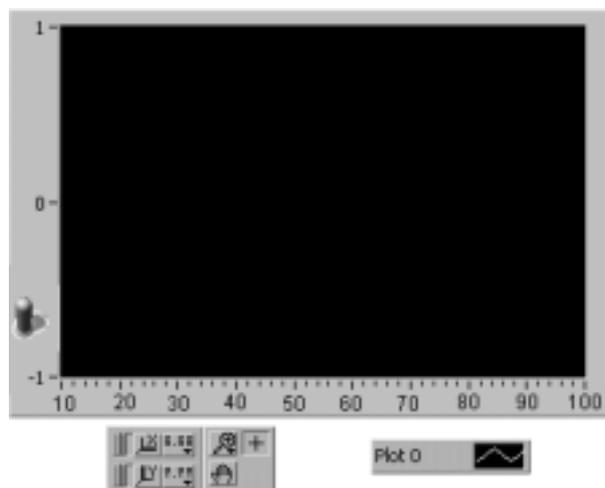


Figura 6. Painel do instrumento virtual.

Os resultados obtidos nas diferentes freqüências foram plotados. No gráfico de obtenção do sinal, a abcissa representa a voltagem e a ordenada o tempo. E nos gráficos de Transformada de Fourier, a abcissa representa a freqüência e a ordenada a intensidade relativa.

As figuras 7 e 8 mostram o sinal e sua Transformada de Fourier, respectivamente, da amostra em 20Hz. A figura 9 mostra em maiores detalhes o pico de energia na freqüência de 20Hz, que é justamente a freqüência do chopper.

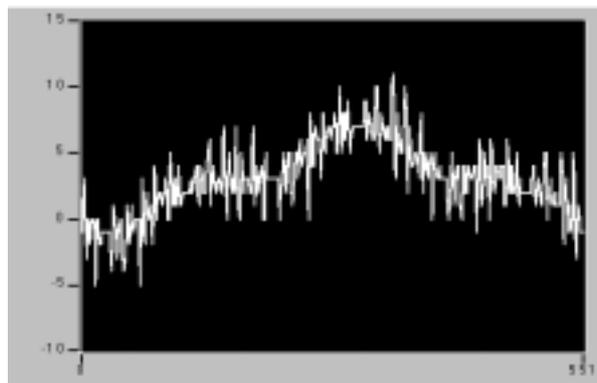


Figura 7. Sinal fotoacústico da resina dentária em 20Hz.

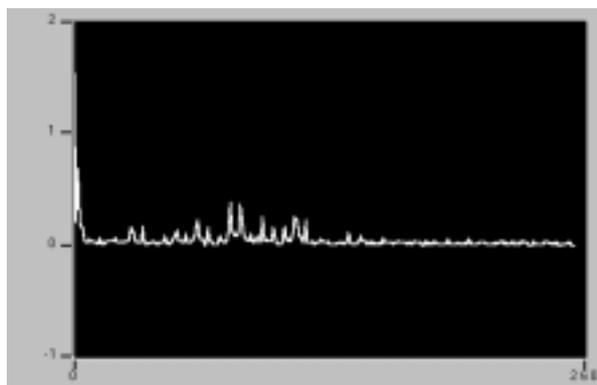


Figura 8. Transformada de Fourier do sinal da figura 7 (20Hz)

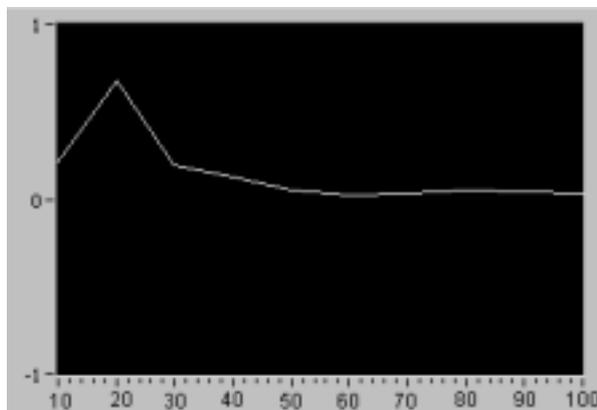


Figura 7. Aproximação da figura 6 para a melhor visualização da freqüência do pico de energia.

Na tabela 1, foram colocados os valores das freqüências dos picos de energia (de acordo com a respectiva Transformada de Fourier) com relação às diferentes freqüências ajustadas no chopper nesse experimento.

Freqüência do chopper	Freqüência do pico de energia
20 Hz	20 Hz
40 Hz	40 Hz
80 Hz	80 Hz

Tabela 1. Freqüências dos picos de energia com relação à respectiva freqüência do chopper.

Analisando-se a tabela 1, nota-se que as frequências que mais contribuem no sinal, frequências de pico, são as respectivas frequências do chopper (20, 40 e 80Hz).

Analisando-se as três Transformadas de Fourier (20, 40 e 80Hz), nota-se que para frequências baixas, a energia necessária é maior que em frequências mais altas.

Não foram feitas medidas em frequências intermediárias devido à resolução do equipamento, que é de 20 Hz. A medida na frequência de 60 Hz também não foi realizada devido a frequência da rede elétrica (60Hz).

5. Conclusão

A partir da realização do presente experimento, foi possível concluir que as frequências de pico são as mesmas frequências do chopper.

6. Trabalhos futuros

Como sugestão para trabalhos futuros, espera-se a colocação de um filtro para retirar ruídos e aumentar assim, a precisão do sistema.

7. Bibliografia

BALDERA-LOPEZ, J. A., Acosta-Avalos, D., Alvarado, J.J., Zelaya-Angel ^o, Sánchez-Sinencio F., Falcony C., Cruz-Orea A., Vargas H., *Meas.Sci. Technol.*, 6, 1163 (1995).

BARJA, P. R., *Estudo da indução fotossintética através da técnica fotoacústica: Efeitos de saturação e fotoinibição*. Dissertação de mestrado, UNICAMP, Campinas, SP (1996).

FOTOACUSTICA. Universidade Federal da Bahia. Disponível em: <<http://www.fis.ufba.br/~ossamu/Pesquisa/Fotoacustica/Fotoacustica.html>>. Acesso em: 20 abr 2003.

NAKAMURA, O., *Aplicações da Espectroscopia Fotoacústica e Ressonância Paramagnética Eletrônica ao Estudo de materiais Catalíticos*, Tese de Doutorado, UNICAMP, Campinas, SP, (1991).