

MEDIÇÃO DA EFUSIVIDADE TÉRMICA DA PELE HUMANA *IN VIVO* USANDO TÉCNICAS FOTOACÚSTICAS

*Alessandra Ramos*¹, *Paulo Roxo Barja*², *Daniel Acosta-Avalos*²

¹ Graduação em Engenharia Biomédica, Universidade do Vale do Paraíba / IP&D. Avenida Sishima Hifumi, 2911, Urbanova, 12244-000 – São José dos Campos – SP, e-mail: aleramos@univap.br

² Universidade do Vale do Paraíba / IP&D. Avenida Sishima Hifumi, 2911, Urbanova, 12244-000 São José dos Campos – SP, e-mail: dacosta@univap.br

Palavras-chave: pele, efusividade térmica, técnicas fotoacústicas.

Área do Conhecimento: III - Engenharia Biomédica.

Resumo

As técnicas fotoacústicas podem ser aplicadas em praticamente qualquer tipo de material, com o objetivo de determinar as propriedades térmicas do mesmo. Elas têm sido aplicadas em diversas áreas das ciências físicas e biológicas, pois as amostras utilizadas não precisam de um preparo prévio para serem analisadas. Um problema interessante na área médica é a determinação da efusividade térmica da pele humana *in vivo*, pois este parâmetro térmico é importante na determinação da penetração de substâncias líquidas através da pele. Neste trabalho foi mostrado que é possível medir a efusividade térmica da pele humana usando uma célula fotoacústica de duas faces tradicional. Para isto foi utilizado um modelo matemático desenvolvido no Grupo de Fotoacústica Aplicada a Sistemas Biológicos da UNIVAP, para a análise do sinal fotoacústico neste tipo de medições.

Introdução

As técnicas fotoacústicas emergiram como um valioso método para a caracterização de vários tipos de materiais, oferecendo, em muitos casos, significativas vantagens sobre técnicas tradicionais [1]. O efeito consiste na geração de ondas acústicas por qualquer tipo de material, que absorva pulsos energéticos, que podem ser de radiação eletromagnética, elétrons, prótons ou ultrassom, entre outros. A determinação fotoacústica das propriedades físicas dos materiais pode incluir a velocidade do som, elasticidade, temperatura, difusividade e efusividade térmica, entre outras [1,2]. A efusividade térmica está relacionada com a capacidade que um dado material tem de compartilhar calor com o ambiente. Este parâmetro pode ser medido através das técnicas fotoacústicas porque o sinal fotoacústico numa célula fechada depende da efusividade térmica do material por baixo do absorvedor da radiação pulsada [2].

A efusividade térmica é a impedância térmica da amostra [3]. Para o cálculo desse parâmetro, pode ser utilizada uma célula fotoacústica com duas faces na configuração de incidência dianteira [4,5].

A figura 1 mostra o desenho de uma típica célula fotoacústica com duas faces na configuração de incidência dianteira, onde se observa que a amostra encontra-se acima da câmara fotoacústica e o feixe de luz atravessa

primeiro o ar dentro da câmara até alcançar o alumínio. Nesta câmara é gerada a onda acústica, a qual é transmitida por um canal de ar até o microfone, e este gera uma tensão que é detectada apropriadamente. Esta célula deve permanecer fechada para manter estável o sinal acústico dentro da câmara [1,2].

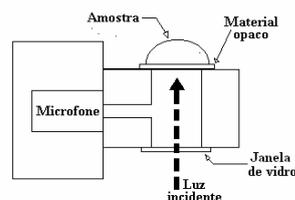


Figura 1 - Corte transversal de uma célula fotoacústica com duas faces. A luz modulada incide sob a câmara fotoacústica. Uma lâmina de vidro fecha, inferiormente, a câmara. A amostra encontra-se acima da câmara, sobre o material opaco (folha de alumínio). A câmara fotoacústica contém ar, o qual transmite a onda de pressão até o microfone.

A fotoacústica é também utilizada em muitos materiais biológicos como membranas, amostras ósseas, ou estruturas de tecidos que são insolúveis e biologicamente possuem função semelhante à de uma matriz sólida, dificultando a obtenção de dados ópticos por técnicas convencionais, uma vez que tais materiais sofrem alterações significativas quando solubilizados. A

espectroscopia fotoacústica possibilita a análise destes tecidos biológicos intactos, constituindo assim uma importante ferramenta de pesquisa e de diagnóstico [6].

O propósito do presente projeto foi caracterizar termicamente a pele *in vivo* através da efusividade térmica, medindo este parâmetro através de técnicas fotoacústicas. Recentemente foi publicado um trabalho onde a medição da efusividade térmica foi feita com uma célula fotoacústica diferencial, feita especialmente para medidas *in vivo* [5]. A hipótese é que a efusividade térmica da pele pode ser medida com uma célula fotoacústica de duas faces comum, usando as aproximações matemáticas apropriadas para a análise do sinal obtido.

Materiais e Métodos

Utilizou-se no sistema fotoacústico uma lâmpada de tungstênio halógena de 24V – 250W como fonte de luz, um modulador mecânico (Stanford Research Systems – SRS, modelo SR540), duas lentes Schneider-Kreyznarch Xenotar 1:2,8/100, um filtro verde, uma célula fotoacústica de duas faces de latão (fabricada na UNIVAP) com microfone de eletreto comercial, um amplificador síncrono (*lock-in*, Stanford Research Systems – SRS, modelo SR530) e um microcomputador para a aquisição dos dados.

As medidas foram feitas em três voluntárias, com diferente número de medições em cada uma delas, em dias aleatórios e o critério de inclusão, adotado como requisito para compor a amostra, era de que os indivíduos fossem do sexo feminino independentes de cor ou raça, apresentando uma baixa densidade de pêlos no antebraço. As medidas foram feitas na pele visualmente limpa.

Duas medidas diferentes foram feitas:

1. Uma das faces da célula foi fechada com uma folha de alumínio com ar por cima dele. O sinal fotoacústico em função da frequência de pulsos da luz (varredura de frequência) foi monitorado. Este sinal foi identificado como sinal de referência S_{ref}
2. A área a ser analisada (antebraço) foi colocada sobre a célula fotoacústica com a mesma folha de alumínio da medida anterior, e uma nova varredura em frequência foi feita. Este sinal foi identificado como sinal da pele S_{pele} .

A amplitude e a fase do sinal gerado pelo microfone de eletreto foi coletado pelo amplificador síncrono e depois armazenado num computador. Após a coleta dos dados, foi analisado o quadrado do quociente entre o sinal de referência e o sinal da pele (S_{ref} / S_{pele}) em função do inverso da frequência (f^{-1}). Seguindo

o modelo proposto na referência [4] pode-se obter um parâmetro relacionado com a efusividade do material por cima do alumínio. A relação matemática é a seguinte:

$$\left| \frac{S_{REF}}{S_{PELE}} \right|^2 \approx \frac{1}{f} \cdot \frac{\alpha_s b^2}{\pi^2} + 1 \quad (1)$$

onde α_s é a difusividade térmica do alumínio, l_s é a espessura da folha de alumínio e $b = e_{back} / e_s$ é o quociente entre as efusividades térmicas do material acima da folha de alumínio (e_{back}) e do alumínio (e_s), respectivamente. A determinação do parâmetro b permite o cálculo da efusividade térmica da pele humana em contato com o alumínio.

As análises foram realizadas com o auxílio do programa *Microcal Origin*.

Resultados

As figuras 2 e 3 mostram os resultados obtidos numa varredura de frequência para o sinal do alumínio e do alumínio mais pele humana. A figura 4 mostra a curva obtida no gráfico do quadrado do quociente entre o sinal de referência e o sinal da pele (S_{ref} / S_{pele}) em função do inverso da frequência (f^{-1}). Pode-se observar que o gráfico corresponde com uma linha reta. A inclinação desta linha está relacionada com o quociente de efusividades térmicas da pele e do alumínio, segundo a eq. 1. Os resultados obtidos para as três voluntárias analisadas estão mostrados na tabela I.

Tabela I - Resultados obtidos para a efusividade térmica ($W.s^{1/2}.K^{-1}.cm^{-2}$) das três voluntárias deste estudo.

Voluntário	Valor Médio	Desvio Padrão	N
A	0,1663	0,0157	9
B	0,1164	0,0141	6
C	0,0812	0,0741	4

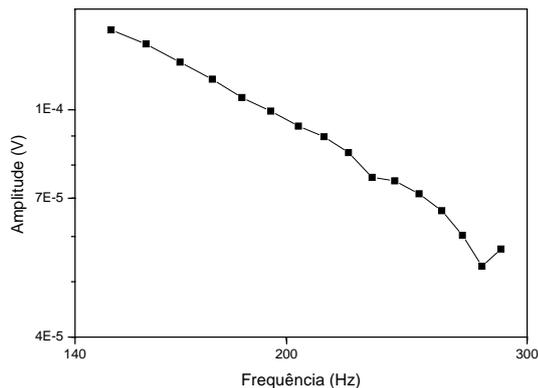


Figura 2 - Resultado obtido numa varredura de frequência para o sinal do alumínio.

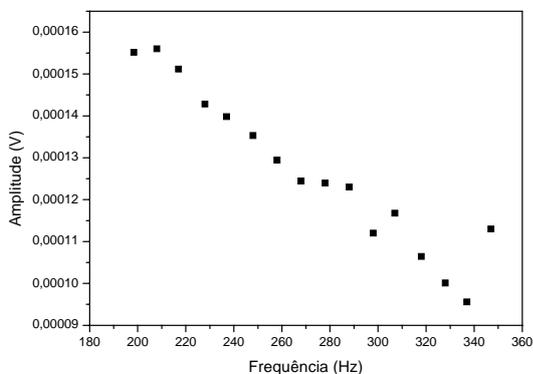


Figura 3 - Resultado obtido numa varredura de frequência no caso do alumínio mais pele humana.

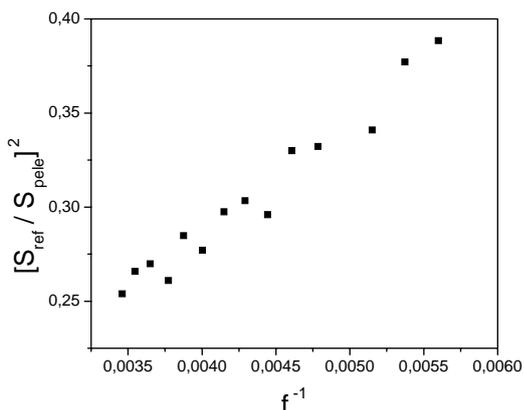


Figura 4 - Curva obtida no gráfico do quadrado do quociente entre o sinal de referência e o sinal da pele em função do inverso da frequência. A inclinação desta curva permite calcular o parâmetro b (eq. 1).

Os resultados mostrados na tabela I, obtidos usando o arranjo experimental descrito nesta metodologia, são similares aos valores obtidos no experimento realizado por Kraning [7] e não por Gutierrez et al. [5]. Neste último caso, a metodologia fotoacústica usada para a obtenção do sinal foi a mesma, sendo que o cálculo para efusividade térmica utilizado foi outro, pois as aproximações matemáticas utilizadas na ref. [5] não são apropriadas.

Nota-se que os valores obtidos experimentalmente, estão próximos dos valores reportados por Kraning [7], quando observados os seus respectivos valores. Isto é interessante, pois Kraning usou uma metodologia diferente à fotoacústica. Outra observação dos valores obtidos na tabela I, é que os valores obtidos para as voluntárias A e B são estatisticamente diferentes. No caso da voluntária C existe uma alta dispersão dos valores, além de que foram feitas poucas medições da efusividade térmica.

Conclusão

Com os resultados deste trabalho, podemos afirmar que a efusividade térmica da pele humana depende do indivíduo, pois neste caso, as voluntárias A e B mostraram diferentes valores da efusividade térmica para medições feitas na mesma região do corpo humano. Outros estudos serão feitos para analisar se os valores da efusividade térmica da pele são diferentes para outras partes do corpo humano.

Referências

- [1]VARGAS, H.; MIRANDA, L.C.M. (1988) **Photoacoustic and Related Photothermal techniques**. Physics Report 161, 43-101
- [2]ROSENCWAIG, A.; GERSHO, A. (1976) **Theory of the photoacoustic effect with solids**. J. Appl. Phys. 47, 64-69
- [3]BEIN, B. K.; PELZL, J. (1976) **Analysis of surfaces exposed to plasmas by nondestructive photoacoustic and photothermal techniques**. Plasma Diagnostics 6, 211-326
- [4]MARCIANO, F.R.; BARJA, P.R.; ACOSTA-AVALOS, D.; SILVA, M.D. (2005) **Measuring thermal effusivity of liquids using a closed photoacoustic cell**. Enviado para publicação no Review of Scientific Instruments.

Discussão

[5] GUTIÉRREZ-JUAREZ, G.; VARGAS-LUNA, M.; CÓRDOVA, T.; VARELA, J. B.; BERNAL-ALVARADO, J. J.; SOSA, M. (2002) ***In vivo* measurement of the human skin absorption of topically applied substances by photoacoustic technique.** *Physiol. Meas.* 23, 521-533

[6] BARJA, P. R. **Estudo da Indução Fotossintética Através da Técnica Fotoacústica: Efeitos de Saturação e Fotoinibição.** Dissertação de Mestrado, IFGW/Unicamp, 1996

[7] KRANING, K. K. (1973) **Heat conduction in blackened skin accompanying pulsatile heating with a xenon flash lamp.** *J. Appl. Physiol.* 35 281-287