

Cláudia R. L. Macedo Costa¹,
Paulo Roxo Barja²,
Débora Janine Dias Vieira³

PROPOSTA DE CARACTERIZAÇÃO FOTOACÚSTICA DO NÍVEL DE OLEOSIDADE DA PELE

RESUMO: O presente estudo teve por objetivo propor um método experimental direto com base na análise fotoacústica para avaliação comparativa do nível de oleosidade da pele. A técnica fotoacústica consiste em um método para a caracterização de vários tipos de materiais, oferecendo, em muitos casos, vantagens sobre técnicas tradicionais, por possibilitar a análise de tecidos biológicos intactos e poder analisar amostras altamente espalhadoras, como a pele humana. Na pesquisa, foram utilizados dois cosméticos, um óleo e um talco corporal, clinicamente testados e comercialmente disponíveis. O estudo foi realizado numa amostra de dezenove voluntárias, nove de pele seca e dez de pele oleosa. Foram realizadas quatro séries de medidas a partir de um protocolo de higienização prévia às medidas (limpeza da região do antebraço a ser medida com algodão embebido em álcool 70%): 1) medida inicial na pele do antebraço após protocolo de assepsia; 2) medida no mesmo antebraço do item anterior, após aplicação de talco corporal; 3) medida no antebraço oposto após protocolo de assepsia; 4) medida no mesmo antebraço do item anterior, após aplicação de óleo corporal. Os resultados das medidas em antebraço limpo não mostraram diferença estatisticamente significativa entre pele seca e pele oleosa, possivelmente devido ao protocolo de limpeza utilizado. No entanto, para ambos os tipos de pele, a técnica fotoacústica foi capaz de apresentar diferenças na pele humana *in vivo* após aplicação de diferentes produtos (óleo ou talco) e mostrou aumento significativo da amplitude do sinal fotoacústico após aplicação de talco e redução significativa após aplicação de óleo.

PALAVRAS-CHAVE: efusividade térmica, pele humana, técnica fotoacústica.

Data de recebimento: 28/11/06. Data de aceite para publicação: 27/08/07.

1 Fisioterapeuta, Prof^ª. Auxiliar, CCBS, Campus de Cascavel, UNIOESTE, Cascavel, PR, (0XX45) 3220-3000,

CP 701 – CEP 85819-110 e-mail:caurejane@yahoo.com.br.

2 Físico, Prof. Dr., IP&D, Campus de Urbanova, UNIVAP, São José dos Campos, SP.

3 Fisioterapeuta, Prof^ª. da FUNORTE, Montes Claros, MG.

ABSTRACT: The present paper has aimed to propose a direct experimental method based in the photoacoustic analysis to evaluate comparatively the skin oiliness level. Photoacoustic technique is a method employed in the characterization of different materials, offering, in many cases, meaningful advantages over traditional techniques, allowing the analysis of intact biological tissues and highly light-scattering samples, as the human skin. In the research, two cosmetics were used, an oil and a body talcum powder, both clinically tested and commercially available. The study was performed through measurements in nineteen volunteers, being nine of them with dry skin and ten of them with oily skin. Four series of measurements were carried out after previous hygienization of the samples (cleaning in the forearm region to be measured with cotton soaked in 70% alcohol): 1) the first one, in the forearm skin after asepsis protocol; 2) measurement in the same forearm skin as the previous item, after application of body talcum powder; 3) measurement in the opposite forearm after asepsis protocol; and 4) measurement in the same forearm skin as 3), after application of body oil. Measurement results in clean forearm did not show statistically significant differences between dry and oily skin, possibly due to the asepsis protocol employed. On the other side, for both skin types, the photoacoustic technique was able to show differences in human skin after application of different products (oil or talcum powder), showing significant elevation of the photoacoustic signal amplitude after talcum powder application and significant reduction after oil application.

KEYWORDS: photoacoustic technique, human skin, thermal effusivity.

INTRODUÇÃO

Pele humana

A pele recobre a superfície do corpo e é um dos maiores órgãos humanos, atinge cerca de 16% do peso corporal. Está em comunicação constante com o ambiente e apresenta múltiplas funções, dentre as quais: i) proteger o organismo contra a perda de água por evaporação e contra o atrito; ii) colaborar na termorregulação do corpo; e iii) proteger contra a radiação ultravioleta (UV), através da produção de melanina (JACOB et al., 1990). A cor, a textura e as pregas da pele ajudam a caracterizar os indivíduos. Qualquer alteração da função ou do aspecto da pele pode acarretar consequências importantes para a saúde física e mental.

A pele apresenta-se constituída por uma porção epitelial de origem ectodérmica, a epiderme e uma porção conjuntiva de origem mesodérmica, a derme. Em continuidade com a derme está a hipoderme, que, embora tenha a mesma origem da derme, não faz

parte da pele, apenas lhe serve de suporte e união com os órgãos subjacentes (MORGANTI et al., 2001).

Pêlos, glândulas (sebáceas e sudoríparas) e unhas são estruturas anexas da pele. São derivadas da epiderme, mas acham-se imersas na derme. Além disso, há diversos tipos de receptores nervosos que fazem da pele um órgão sensorial. As glândulas sebáceas situam-se na derme e seus ductos geralmente desembocam na porção terminal dos folículos pilosos. As glândulas sebáceas são alveolares e vários desses alvéolos desembocam em um ducto curto. A luz dos alvéolos é cheia de gotículas de lipídios. A secreção sebácea é uma mistura complexa de lipídios que contém triglicerídeos, ácidos graxos livres, colesterol e ésteres. As glândulas sebáceas são responsáveis pela oleosidade da pele (secretam óleo sobre a pele). A atividade dessas glândulas é nitidamente influenciada por hormônios sexuais (JACOB et al., 1990).

As glândulas sebáceas encontram-se em toda a pele, à exceção das regiões palmoplantares, variando em tamanho e número segundo sua localização: no rosto e no couro cabeludo são grandes e numerosas (400 a 900 por cm^2), no tronco são pequenas e menos abundantes, incrementando-se na parte anterior do tórax e linha média das costas. As células periféricas glandulares contêm tonofilamentos que refletem sua origem epidérmica e escassos lipídios. À medida que os lipídios se formam, o glucógeno é consumido; os tonofilamentos se deslocam e o citoplasma se enche de vacúolos. Na célula, os vacúolos se fundem e provocam um aumento de tamanho até cem vezes o normal, assim, adquirem um aspecto de célula de corpo estranho. Em um estágio posterior, a membrana se desorganiza, a célula se rompe e elimina seu conteúdo no canal sebáceo.

Os distúrbios das glândulas sebáceas incluem a acne, a acne rosácea, a dermatite perioral e os cistos sebáceos.

O sebo, produzido pelas glândulas sebáceas, é composto por várias substâncias que atuam como lubrificantes naturais do pêlo, evitando que fiquem quebradiços. Também torna a pele oleosa, diminuindo a evaporação de água a partir da camada córnea (camada mais superficial da pele - epiderme); protege a pele contra o excesso de água na superfície, ajuda a evitar o crescimento de bactérias e fungos (ações bactericida e antifúngica) e promove a emulsão de algumas substâncias. O sebo é normalmente eliminado pelos folículos pilossebáceos (formados por um pêlo e uma glândula sebácea), situados na derme.

A aparência da pele depende de uma série de fatores, como idade, sexo, clima, alimentação e o estado de saúde do indivíduo. No início do

século XX, Helena Rubinstein desenvolveu a classificação da pele em quatro tipos (normal, seca, oleosa e mista), de acordo com o tipo e a quantidade das secreções encontradas na superfície da derme (CORAZZA, 2006).

A cosmetologia moderna tem mantido essas classificações clássicas da pele, tendo em conta, essencialmente, o equilíbrio que deve existir no manto hidrolipídico. No entanto, é importante levar em consideração outros parâmetros, como aspectos histológicos, vascularização, pigmentação, secreções, pH cutâneo, hidratação, exame visual e exame à palpação.

A análise de todos esses parâmetros é essencial para uma boa caracterização do tipo de pele; assim pode ser escolhido o tratamento cosmético mais adequado. Atualmente, essa divisão orienta mulheres (e muitos homens) na escolha de cremes e tratamentos para melhorar a aparência da pele e evitar os sinais da idade.

A classificação de Rubinstein em quatro tipos de pele permanece imutável há anos. Recentemente, essa classificação foi ampliada. Depois de pesquisar 1400 pacientes durante oito anos, a médica americana Leslie Baumann, chefe do Centro de Dermatologia Cosmética da Universidade de Miami, desenvolveu o 'Sistema Baumann de classificação dos tipos de pele'. O sistema é baseado em um questionário com 64 itens, preenchido de acordo com as respostas dos próprios pacientes, que avalia a pele em quatro parâmetros: seca ou oleosa, sensível ou resistente, pigmentada ou não pigmentada e enrugada ou firme (MONTEIRO, 2006). Pela combinação desses parâmetros, Baumann catalogou a pele humana em um total de dezesseis categorias (CARELLI, 2006).

Segundo CORAZZA (2006), o nível de oleosidade depende da produção de gordura efetuada pela glândula sebácea. A ação do sol, ar condicionado, vento, poeira e poluição destroem a resistência natural da pele e causam a formação de manchas e alteram o relevo cutâneo, com o aparecimento de linhas e rugas. Com o passar dos anos, o organismo desacelera a velocidade de renovação das células, há também a diminuição na produção de substâncias lubrificantes naturais, o que propicia o aparecimento de manchas, linhas e sinais de expressão. Além disso, a qualidade da alimentação e os hábitos de cuidado com o corpo físico também alteram a pele, transformando sua condição.

TÉCNICA FOTOACÚSTICA

A técnica fotoacústica baseia-se no efeito do mesmo nome, descoberto por Graham Bell, em 1880. O efeito fotoacústico é obtido em uma célula 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. 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 e gera ondas de pressão (ondas acústicas) que podem ser captadas por um microfone (BARJA, 1996). A análise do sinal fotoacústico permite estudar propriedades ópticas e térmicas da amostra.

O efeito fotoacústico foi considerado apenas como uma curiosidade durante quase um século, tendo utilização limitada, na década de 30, na detecção de poluentes em gases (PFUND, 1939). A partir da década de 1970, com o desenvolvimento de um modelo teórico para explicar a geração do sinal fotoacústico em sólidos (ROSENCWAIG & GERSHO, 1976), esta técnica ganhou um grande impulso, sendo hoje considerada como uma das principais técnicas de análise e caracterização de materiais (VARGAS, 1988; BARJA et al., 2005).

A técnica fotoacústica permite a obtenção de espectros de absorção óptica de sólidos, líquidos e gases. É versátil e permite a análise de amostras tanto opticamente opacas quanto transparentes. A luz espalhada pela amostra, que constitui um sério problema nas demais técnicas de espectroscopia óptica, não interfere nas medidas fotoacústicas, em que apenas a luz absorvida pela amostra é responsável pelo sinal. Além disso, na maioria dos casos, a técnica fotoacústica dispensa preparação prévia da amostra e permite o acompanhamento da mesma amostra quando submetida a diversos tratamentos químicos, térmicos e/ou físicos (PERONDI & MIRANDA, 1987).

A técnica fotoacústica tem sido utilizada com sucesso no estudo de materiais biológicos como membranas, amostras ósseas ou estruturas de tecidos que são insolúveis, dificultando a obtenção de dados por técnicas convencionais. Assim, a técnica fotoacústica possibilita a análise desses tecidos biológicos intactos e se constitui como importante ferramenta de pesquisa e diagnóstico (ANJOS et al., 2003). Atualmente, destacam-se aplicações no campo da medicina, nos quais a técnica permite a obtenção de dados ópticos em amostras cujo estudo convencional não é possível devido ao nível do espalhamento de luz (BARJA et al., 2003).

Um dos parâmetros importantes na determinação da amplitude do sinal fotoacústico é a efusividade térmica, que mede a impedância da amostra, ou seja, sua habilidade em trocar calor com o meio, sendo um parâmetro físico relevante para estudos que envolvem o aquecimento ou resfriamento de uma amostra (BALDERAS-LÓPES et al., 1995). Nos estudos de Anjos (2004) e Rompe (2004), associou-se a mudança na amplitude do sinal fotoacústico às alterações na efusividade térmica do sistema pele + produto aplicado. A partir disso, o presente trabalho teve por objetivo propor um método experimental direto para avaliação comparativa do nível de oleosidade da pele pela amplitude do sinal fotoacústico.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização do experimento, utilizou-se uma montagem fotoacústica convencional com os seguintes equipamentos: lâmpada halógena de tungstênio (XELUX, 24V, 250W) com ventilador acoplado; conjunto óptico com lentes; modulador mecânico (Stanford Research Systems, modelo SR540); amplificador síncrono (Stanford Research Systems, modelo SR530); célula fotoacústica (construída na Oficina Mecânica da UNIVAP); lâmina de alumínio (espessura de 60 μ m); microfone comercial de eletreto; e microcomputador para aquisição dos dados.

O experimento foi conduzido no Laboratório de Fotoacústica Aplicada a Sistemas Biológicos do Instituto de Pesquisa & Desenvolvimento (IP&D) da UNIVAP. Na montagem fotoacústica utilizada (Fig. 1), o feixe de luz branca, proveniente da lâmpada de tungstênio, passa por uma lente e pelo modulador mecânico. Em seguida, a luz modulada passa pela segunda lente, que direciona o feixe de luz até a face inferior da célula fotoacústica. Essa face possui uma janela de vidro por onde a luz modulada atravessa a câmara e incide sobre a lâmina de alumínio situada na face oposta da célula fotoacústica.

O antebraço da voluntária sob análise foi posicionado sobre a lâmina de alumínio e o sinal fotoacústico produzido é coletado por um microfone de eletreto situado no interior da célula fotoacústica. O sinal é enviado para o amplificador, que só amplifica os componentes do sinal com frequência de modulação igual à do sinal de referência, maximizando a relação sinal/ruído. A seguir, o sinal amplificado é enviado para um microcomputador, onde são arquivados os dados. A

coleta de dados utilizou o programa Sin530r, desenvolvido no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

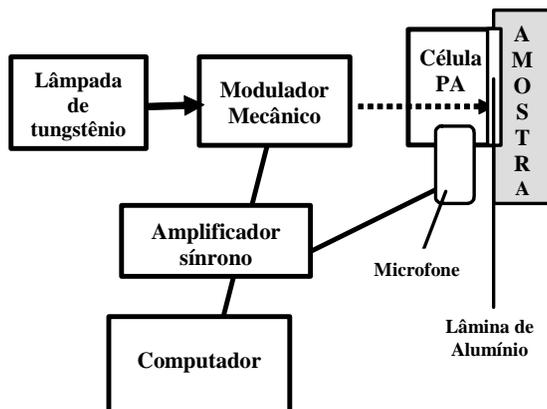


Figura 1 Esquema da montagem fotoacústica utilizada.

Na pesquisa, foram utilizados dois cosméticos: um óleo e um talco corporal clinicamente testados e comercialmente disponíveis. O óleo corporal é composto por óleo mineral puro, vitamina E (Tocoferol) e fragrância. Sua fórmula emoliente é indicada para hidratar e amaciar a pele. Já o talco corporal é indicado para absorver a umidade da pele e consiste em mineral silicato de magnésio pulverizado.

Voluntárias

Participaram da pesquisa 19 voluntárias com idade entre 20 e 30 anos, do sexo feminino e com o fototipo de pele entre II a V. Ao se adotar a classificação clínica usual proposta por Fitzpatrick (FITZPATRICK & MOSHER, 2000), os participantes selecionados apresentavam pele oleosa (dez voluntárias) ou seca (nove voluntárias). Para saber o tipo de pele das voluntárias foi feita uma pergunta (Qual o seu tipo de pele? Normal, seca, oleosa ou mista?). Todas as voluntárias que participaram deste estudo leram e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, sendo excluídos aqueles que não atendiam aos critérios explicitados para a pesquisa.

Métodos

a) Teste inicial da montagem fotoacústica

Antes das medidas em pele humana, o ajuste da montagem era feito observando-se o sinal fotoacústico da lâmina de alumínio isolada, com a escala de sensibilidade do amplificador, escolhida de acordo com

o nível de sinal. Tais medidas iniciais eram realizadas para avaliar a eficiência da vedação da célula fotoacústica com o uso da folha de alumínio, bem como maximizar o nível de sinal pelo ajuste da montagem óptica.

b) Protocolo de higienização prévia às medidas

Foi realizado um protocolo de higienização prévia às medidas, o qual consistiu na limpeza, com algodão embebido em álcool 70%, da região do antebraço a ser medida. Em seguida, foram realizadas quatro séries de medidas:

- i) Pele – antebraço após protocolo de limpeza com álcool 70%;
- ii) Pele + Talco corporal – mesmo antebraço de i), após aplicação de talco;
- iii) Pele – antebraço oposto ao de i), após protocolo de limpeza com álcool 70%;
- iv) Pele + Óleo corporal – mesmo antebraço de iii), após aplicação de óleo.

c) Protocolo de uso do talco e do óleo na pele das voluntárias

Para delimitar a área do antebraço onde seria aplicado o produto (óleo/talco), foi confeccionado um molde quadrado de cartolina de 9 cm², revestido por plástico autocolante. O talco era previamente pesado em balança de precisão (Balança Adventurer™, OHAUS), sendo utilizada a quantidade de 0,35g, suficiente para espalhar na área determinada. O óleo foi dosado por uma seringa milimetrada de 10ml, aplicando-se 0,1ml do produto, também suficiente para espalhamento. Tanto o talco quanto o óleo foram friccionados na pele do antebraço por dez segundos, evitando que o produto fosse totalmente absorvido pela pele da voluntária.

d) Coleta do sinal fotoacústico

Para a realização das medidas, o antebraço foi posicionado contra a face externa da folha de alumínio que vedava a célula fotoacústica. A lâmina de alumínio era acoplada à célula com o auxílio de graxa de silicone, para vedar a célula fotoacústica, a fim de evitar vazamento do sinal. Por ser um material opticamente opaco, a folha de alumínio bloqueia a passagem direta da luz até a pele; no entanto, o calor é transmitido até a amostra, pois a folha de alumínio utilizada é termicamente fina para a frequência de modulação empregada nas medidas (GUTIÉRREZ & JUÁREZ, 2002). Nessas condições, o sinal fotoacústico depende das propriedades térmicas (efusividade e

difusividade térmicas) do material sob análise (sistema pele humana + produto aplicado).

As medidas *in vivo* foram divididas em quatro fases. Após o ajuste da montagem (sinal do alumínio), a voluntária, sob avaliação, inicialmente posicionava o antebraço limpo contra a folha de alumínio que vedava a célula fotoacústica; em seguida, posicionava-se o mesmo antebraço na montagem, após aplicação de talco; na etapa seguinte, posicionava-se o antebraço oposto limpo; por fim, na última etapa, a medida era realizada no antebraço oposto, após aplicação de óleo. Após as medidas com talco, a célula fotoacústica era delicadamente limpa com um pincel fino nº2, para a eliminação de partículas que pudessem interferir nas medidas subsequentes.

As medidas do sinal fotoacústico foram realizadas em função do tempo, utilizando o programa “Sin530r”. Foram feitas varreduras temporais de 100 pontos (à taxa de 2 pontos por segundo), com frequência de 17 Hz e amplificador síncrono ajustado para a sensibilidade de 20mV. O sinal (amplitude e fase) era coletado pelo amplificador síncrono e enviado ao microcomputador para arquivo e posterior análise dos dados. A análise estatística foi efetuada pelo programa INSTAT® (GraphPad).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão os resultados obtidos para as medidas realizadas sem aplicação de talco ou óleo nas voluntárias, divididos em dois grupos: pele seca (S) e pele oleosa (O).

TABELA 1 Resultados das medidas das voluntárias com a pele limpa (valores expressos em miliVolts; para pele oleosa, N=10; para pele seca, N=9)

Grupo	S (mV)	O (mV)
Média	24,9	25,8
Desvio Padrão	3,6	5,9
Máximo	30,0	38,0
Mínimo	19,0	15,0

Constatada a diferença no desvio padrão dos grupos, realizou-se o teste comparativo Mann-Whitney (não-pareado, não-paramétrico), que

não apontou diferença estatisticamente significativa entre os grupos. Ao se observar a Tabela 1, no entanto, percebe-se a tendência da pele oleosa apresentar sinal mais alto do que a pele seca. A seguir, apresentam-se alguns argumentos para explicar o fato da diferença encontrada não ser estatisticamente significativa.

O número de voluntárias (dezenove) foi considerado suficiente, à primeira vista, para a observação de diferença entre os grupos. No entanto, esse número não se mostrou suficiente devido à alta dispersão dos dados, especialmente para as medidas de pele oleosa (ver Tabela 1). Isto provavelmente ocorreu porque, segundo Gutiérrez-Juárez et al. 2002, as medidas in vivo podem ser afetadas por diversos fatores como: o grau de hidratação da pele, movimento involuntário, transpiração excessiva e aspereza da pele.

Dentre os fatores, experimentalmente foi possível observar que os movimentos involuntários têm maiores implicações para a pesquisa, pois, ao contrário dos outros, são de difícil controle por parte do pesquisador e, em muitos casos, nem mesmo a voluntária percebe que executou um movimento involuntário, o qual pode não ser registrado pelo pesquisador. Este fator pode ter prejudicado a observação de diferença estatisticamente significativa entre os tipos de pele; deste modo, a análise dos dados coletados aponta para a necessidade de ampliar o número de medidas neste tipo de estudo.

Em seguida, faz-se consideração a uma questão ainda mais importante, relacionada ao protocolo de higienização prévia às medidas. Os resultados obtidos levam-nos a crer que o protocolo de assepsia prévia da pele tenha levado a uma homogeneização temporária dos tipos de pele (seca e oleosa). Isso pode ser explicado pelo fato de que o álcool 70% retira momentaneamente a oleosidade da pele, ressecando sua superfície devido à remoção dos lipídeos (MURRAY et al, 2000). De acordo com Gutiérrez e Juárez (2000), um intervalo de tempo de dez minutos entre a limpeza e a realização das medidas pode ser suficiente para a pele retornar às suas condições fisiológicas habituais, o que poderá ser confirmado em experimentos futuros.

A seguir, são apresentados os resultados obtidos para as medidas fotoacústicas realizadas após aplicação de talco ou óleo nas voluntárias (Tabela 2), divididos em quatro grupos: pele seca após aplicação de óleo (SO); pele seca após aplicação de talco (ST); pele oleosa após aplicação de óleo (OO); pele oleosa após aplicação de talco (OT). Os valores são relativos e obtidos pela normalização dos dados de cada voluntária a partir do respectivo sinal antes da aplicação de cada produto. Assim, na Tabela 2, pode-se verificar efeito da aplicação de óleo ou talco em cada um dos tipos de pele analisados.

TABELA 2 Resultado das medidas das voluntárias após aplicação de óleo e talco (valores relativos, obtidos pela normalização dos dados de cada voluntária a partir do respectivo sinal antes da aplicação de cada produto; para pele oleosa, N=10; para pele seca, N=9)

Grupo	SO	ST	OO	OT
Média ± Erro Padrão	0.93 ± 0.04	1.19 ± 0.07	0.87 ± 0.03	1.13 ± 0.04
Mediana	0.93	1.18	0.85	1.15
Máximo	1.10	1.57	1.29	1.39
Mínimo	0.77	0.91	0.70	0.92

Em cada grupo, foi efetuado o teste t pareado para avaliar se o valor encontrado era diferente do valor 1.0 (correspondente à pele sem aplicação de produto). Isto foi confirmado para os quatro grupos, com $p = 0,0095$ (SO); $p = 0,0006$ (ST); $p = 0,0007$ (OO); e $p = 0,0012$ (OT). Os dados indicam elevada significância estatística ($p < 0,001$) tanto para pele oleosa quanto para pele seca após aplicação dos produtos.

Na Tabela 3 estão os resultados da análise estatística comparativa efetuada sobre os dados da Tabela 2, pelo teste Kruskal-Wallis (ANOVA não paramétrico). Na análise global, encontrou-se $P < 0.0001$ (alto nível de significância).

TABELA 3 Resultado da análise estatística comparativa entre os tipos de pele após aplicação de óleo ou talco

Comparação	p
SO x ST	$P < 0.001$
SO x OO	$P > 0.05$ (ns)
SO x OT	$P < 0.01$
ST x OO	$P < 0.001$
ST x OT	$P > 0.05$ (ns)
OO x OT	$P < 0.001$

Os resultados apresentados na Tabela 3 estão relacionados às propriedades térmicas do material analisado (sistema pele + produto),

em particular a efusividade térmica, como citado anteriormente. Segundo Gutiérrez & Juárez et al. (2000), Rompe (2004) e Anjos (2004), na configuração experimental utilizada, há uma relação inversa entre efusividade e sinal fotoacústico. Assim, quanto menor a efusividade, maior o sinal fotoacústico.

Na Tabela 3, a comparação efetuada mostra alto nível de significância quando se compara o efeito dos diferentes produtos aplicados. Assim, para ambos os tipos de pele, a amplitude do sinal fotoacústico mudou de acordo com a substância aplicada, que se atribui à diferença entre os valores de efusividade dos produtos (óleo e talco) aplicados na pele. De acordo com Gutiérrez-Juárez et al. (2000), o valor de efusividade do óleo é de aproximadamente $0.07 \text{Ws}^{-\frac{1}{2}} \text{cm}^{-2} \text{K}^{-1}$. A partir desse valor e dos resultados encontrados na Tabela 2, conclui-se que o valor de efusividade do óleo é significativamente maior do que o valor de efusividade do talco.

Também na Tabela 3, pode-se observar que nas comparações SO x OO e ST x OT (diferentes tipos de pele com aplicação do mesmo produto), não há significância estatística, indicando que a aplicação de um dado produto resulta em efeito semelhante para diferentes tipos de pele.

CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

Devido ao protocolo de higienização prévia às medidas, que uniformizou os tipos de pele, bem como à alta dispersão nos dados de pele oleosa, não foi possível verificar significância estatística na comparação entre os níveis de oleosidade da pele. Os resultados encontrados sugerem que estudos adicionais sejam efetuados com um maior número de voluntárias; além disso, recomenda-se que após o protocolo de assepsia da pele seja feito um intervalo de 10 minutos antes da realização das medidas.

Por outro lado, é possível observar que a amplitude do sinal fotoacústico muda de acordo com a substância aplicada à pele, devido às diferenças na efusividade do sistema pele + produto aplicado. Deste modo, a técnica fotoacústica foi eficaz para mostrar diferenças na pele humana in vivo após aplicação de diferentes produtos.

Esta pesquisa abre perspectivas para a realização de estudos comparativos entre os níveis de oleosidade da pele ao se utilizar a técnica fotoacústica. Estudos complementares a este trabalho estão sendo realizados no Laboratório de Fotoacústica da Universidade do

Vale do Paraíba (UNIVAP), tais como: análise dos fototipos de pele a partir da técnica fotoacústica e análise da nimesulida (fármaco) associada ao ultra-som a partir da fotoacústica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS, F. H; ROMPE, P. C. B; MANSANARES, A. M; SILVA, E. C; BARJA, P. R; AVALOS, D. A. Análise Fotoacústica do Efeito do Protetor Solar na Pele Humana. In: ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UNIVAP. 3., 2003, São José dos Campos, SP. Anais de Trabalhos Completos. São José dos Campos: UNIVAP, 2003.

ANJOS, F. H. Análise fotoacústica da concentração relativa de piroxicam administrado por sonoforese na pele humana in vivo. Dissertação de mestrado, UNIVAP – São José dos Campos, SP, 2004.

BALDEIRAS- LOPES, J. A. et al. Photoacoustic Measurements of transparent liquid samples: Thermal effusivity. *Measurements in Science and technology*. v. 6, p. 1163-1168, 1995.

BARJA, P. R. Estudo da Indução Fotossintética Através da Técnica Fotoacústica: Efeitos de Saturação e Fotoinibição. 71 f. Dissertação (Mestrado em Física) – Instituto de Física Gleb Wataglin, Universidade Estadual de Campinas, 1996.

BARJA, P. R; MANSANARES, A.M; SILVA E.C; ALVES P.L.C.A. Photoacoustics as a tool for the diagnosis of radicular stress: Measurements in eucalyptus seedlings. *Review of Scientific Instruments*. v. 74 , n. 1, p. 709-711, 2003.

BARJA, P. R.; ACOSTA-AVALOS, D.; ROMPE, P.C.B.; ANJOS, F.H.; MARCIANO, F.R.; SILVA, M.D. In vivo evaluation of drug delivery after ultrasound application: a new use for the photoacoustic technique. *J. Physique IV*, v. 125, p. 789-792, 2005.

CARELLI, G. Questões de pele. *Revista Veja* edição 1963; ano 39, n. 26, 05 de julho, p. 96-102, 2006.

CORAZZA, S. Não estava tudo errado. Disponível em <http://www.belezainteligente.com.br>. Acesso em 20 de Setembro de 2006.

FITZPATRICK, T. B.; MOSHER, D. B. Pigmentação cutânea e distúrbio do metabolismo da melanina. In: ISSELBACHER, Kurt J. et al. *Medicina interna*. 9ªed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 276-284, 2000.

GUTIÉRREZ-JUÁREZ, G.; VARGAS-LUNA, M; CÓRDOVA, T; VARELA, J. B; BERNAL-ALVARADO, J. J; SOSA, M. Skin absorption studied by photoacoustic techniques. *Medical Physics*, p. 206-212, 2000.

GUTIÉRREZ-JUÁREZ, G.; VARGAS-LUNA, M; CÓRDOVA, T; VARELA, J. B; BERNAL-ALVARADO, J. J; SOSA, M. In vivo measurement of the human skin absorption of topically applied substances by photoacoustic technique. *Physiological Measurement*. v.23, p. 521-531, 2002.

JACOB, S. W., FRANCONI, C. A., LOSSOW, W. J. *Anatomia e fisiologia humana*, 5 ed, Rio de Janeiro, ed. Guanabara, 1990.

MONTEIRO, E. Como classificar sua pele. Disponível em <http://www.dermatologia.com.br>. Acesso em 20 de Setembro de 2006.

MORGANTI, P; RUOCCO, E; WOLF, R; RUOCCO, V. Percutaneous absorption and delivery systems. *Clinics in Dermatology*. v. 19, p. 489-501, 2001.

MURRAY, P. R; ROSENTHAL, K. S; KOBAYASHI, G. S; PFALLER, M. A; *Microbiologia médica*. 3 ed, Rio de Janeiro, ed. Guanabara, 2000.

PFUND, A. H., *Science*, v. 90, p. 326, 1939.

PERONDI, L. F., MIRANDA, L. C. M. Minimal- Volume photoacoustic cell measurement of thermal diffusivity: effect of the thermoelastic sample bending. *J. Appl. Phys.* v. 62, p. 2955-2959, 1987.

ROMPE, P. C. B. Estudo fotoacústico das propriedades de penetração do diclofenaco dietilamônio de uso tópico aplicado na pele humana in vivo. *Dissertação (mestrado, UNIVAP)*. São José dos Campos, SP, 2004.

ROSENCHWALD, A; GERSHO, A. Theory of photoacoustic effect with solids. *J. Appl. Phys.*, v. 47, p. 64-69, 1976.

VARGAS, H; MIRANDA, L. C. M. Photoacoustic and related photothermal techniques. *Physics Report*. v. 161, p. 43-101, 1988.