

MUDANÇAS NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DO MUÇO BRÔNQUICO UMEDECIDO MONITORADO ATRAVÉS DE TÉCNICAS FOTOACÚSTICAS

Flávia L.V. Dumas, Fernanda Roberta Marciano, Daniel Acosta -Avalos, Paulo Roxo Barja, Luis Vicente F. Oliveira

Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento (IP&D), Universidade do Vale Paraiba – Av. Shishima Hifumi, 2911- Urbanova. 12244-000- São José dos Campos
ventura@univap.br

Palavras-chave: Técnicas fotoacústicas, muco brônquico, propriedades reológicas.

Área do Conhecimento: III - Engenharias

Resumo- A depuração mucociliar é um dos principais mecanismos de defesa do pulmão. A secreção bronquial, ou muco, é um fluido heterogêneo que consiste principalmente de água (95%), eletrólitos, aminoácidos e glicoproteínas de alto peso molecular. As mudanças na composição iônica podem afetar as propriedades reológicas do muco, possivelmente pela mudança na repulsão entre as moléculas de mucina. As propriedades reológicas e térmicas da matéria estão relacionadas a nível microscópico, pois as propriedades térmicas estão relacionadas com a propagação da energia cinética no sistema, e as propriedades reológicas estão relacionadas com a propagação do momento linear. Então, mudanças nas propriedades térmicas de um material devem refletir-se em mudanças nas propriedades reológicas. Considerando as propriedades térmicas, as técnicas fotoacústicas têm sido empregadas na caracterização de várias amostras pela mensuração da efusividade térmica. Este estudo tem o objetivo de analisar as mudanças nas propriedades reológicas do muco quando ele é umedecido, monitorando as mudanças temporais da efusividade térmica.

Introdução

Uma variedade de partículas diferentes, tais como bactérias ou agentes virais e poluentes ambientais, são depositados nos pulmões enquanto respiramos. Mecanismos efetivos de defesa do trato respiratório são necessários para limpar as vias aéreas dos materiais estranhos, e para manter os pulmões estéreis. Um dos mais importantes mecanismos de defesa do pulmão é a produção de muco, juntamente com o transporte contínuo dos debris que são englobados por ele, para que possam ser levados das vias aéreas periféricas para as centrais. O muco é um fluido heterogêneo que consiste basicamente de água (95%), eletrólitos, aminoácidos e macromoléculas, também chamadas de mucinas ou mucoproteínas [1,2]. Por causa do cross-link destas proteínas, o comportamento reológico do muco é descrito como viscoelástico, pelo fato do mesmo apresentar características tanto de líquido como de sólido [3].

A hipersecreção de muco está relacionada diretamente com situações patológicas, causadas pela agressão ao trato respiratório por uma substância inalatória de ação prolongada e de difícil expulsão. Esta hipersecreção ocorre com intuito de proteger as vias aéreas de uma ação irritante. O aumento do número de células produtoras de muco no epitélio respiratório significa, então, que o mesmo foi

exposto cronicamente a uma agressão. A proliferação de algumas mucoproteínas favorece o aparecimento de ligações inter e intramoleculares, que propiciam o aparecimento de alterações das propriedades reológicas do muco [1].

A nível microscópico as propriedades de difusão, condução de calor e a viscosidade estão relacionadas por possuírem mecanismos análogos de funcionamento. No caso da condução de calor, temos a transmissão da energia cinética entre as moléculas, e na viscosidade temos a transmissão do momento linear [4]. Porém, a energia cinética está relacionada matematicamente com o momento linear, o que implica que as propriedades térmicas e as propriedades reológicas de um mesmo material estão intimamente relacionadas. Para estudar as propriedades térmicas da matéria, atualmente existem varias técnicas, dentre elas as técnicas fotoacústicas, baseadas no efeito fotoacústico.

O efeito fotoacústico corresponde com a geração de som quando um material absorve luz pulsada numa câmara fechada. A amplitude do som gerado depende das propriedades térmicas e ópticas do material absorvedor, e nos dias de hoje este efeito tem sido amplamente usada por cientistas com o propósito de estudar diversas propriedades térmicas de materiais [5]. Dentre os materiais estudados com técnicas fotoacústicas podemos incluir líquidos, cristais, gases e

também materiais biológicos [6].

O objetivo deste trabalho é monitorar as mudanças nas propriedades reológicas da secreção bronquial, quando este é umedecido com soro fisiológico. O interesse é elucidar se a conduta clínica utilizada para eliminar esta secreção é adequada para fluidificar o mesmo. Para monitorar as mudanças reológicas, as propriedades térmicas serão monitoradas através do efeito fotoacústico.

Materiais e Métodos

Foram utilizadas amostras de muco brônquico de indivíduos de ambos os sexos, com idade superior a 30 anos e sem doença pulmonar prévia, internados na Santa Casa de São José dos Campos, em decorrência de procedimentos cirúrgicos extratorácicos. O protocolo de coleta foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP), e após serem comunicados sobre os procedimentos experimentais, todos os pacientes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. As amostras de muco foram coletadas pedindo-se para o paciente tossir voluntariamente, e para expectorar sobre um copo tampado com gaze. Após este procedimento, o muco foi retirado da gaze e armazenado em eppendorf's previamente preenchidos com óleo de vaselina para que não houvesse a desidratação do mesmo. Antes da realização do experimento, todas as amostras foram estocadas à temperatura de -70°C , com intervalo entre a coleta e o congelamento sempre inferior a 2 horas [7,8].

O esquema experimental usado neste trabalho, para a detecção fotoacústica, usou como fonte de luz uma lâmpada halógena de tungstênio (Xelux, 24V - 250W). A luz da lâmpada foi modulada mecanicamente com um modulador mecânico ou chopper (SRS, mod. SR540). A frequência de modulação utilizada foi 33 Hz. Lentes e espelhos foram usados para levar a luz até a câmara fotoacústica, onde um microfone de eletreto detecta o som gerado na câmara. O modulador mecânico e a saída do microfone foram conectados a amplificador síncrono (lock-in) (SRS, mod. SR530), o qual permitiu que fossem medidas a amplitude e a fase do sinal fotoacústico. Por sua vez, o amplificador lock-in esteve em comunicação com um computador para que fossem armazenados os dados colhidos.

Existem diversos tipos de células fotoacústicas. A utilizada neste trabalho foi a célula fotoacústica de duas faces. Nela, uma das faces estava fechada com uma janela de vidro e a outra com uma folha de alumínio de $25\ \mu\text{m}$ de espessura. A luz pulsada incidia pela janela de

vidro para ser absorvida depois pela folha de alumínio, e assim gerar um som no interior da câmara. Segundo o modelo matemático para explicar o efeito fotoacústico [9], o som gerado pelo alumínio depende da efusividade térmica do material que estiver por cima dele. Isto permite então monitorar as propriedades térmicas de qualquer material líquido, em função do tempo. A figura 1 mostra o esquema usado na célula fotoacústica.

No início do experimento, as amostras de muco foram submersas rapidamente em éter de petróleo para retirar o óleo de vaselina. Posteriormente a amostra de muco foi colocada sobre a folha de alumínio, e em seguida o muco foi umedecido com uma gota de soro fisiológico a 0,9%. O sinal fotoacústico foi monitorado por 4 minutos, numa varredura de 500 pontos, sendo que o soro fisiológico foi colado no ponto 100, ou seja, 50 segundos após o muco ter sido colocado no alumínio.

Para capturar o sinal no computador, um programa em Basic foi utilizado, o qual lia a amplitude e a fase do sinal fotoacústico em função do tempo, a cada 0,5 segundo. Os dados foram arquivados em arquivos com formato txt e depois foram analisados no software Microcal™ Origin® 6.0.

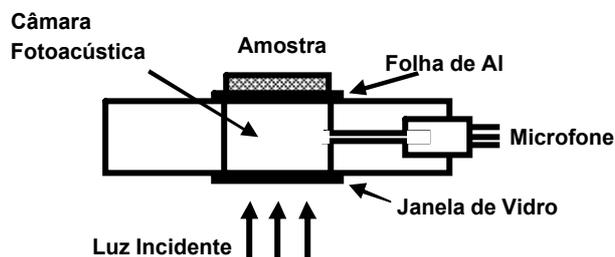


Figura 1: Esquema experimental usado com a célula fotoacústica de duas faces. Na posição da amostra foi colocado o muco analisado.

Resultados

No sistema descrito anteriormente foi monitorado o processo de mistura ou difusão de duas substâncias líquidas: água e muco. Foram realizadas duas experiências diferentes. A primeira experiência foi a mistura do muco na água quando a concentração relativa de muco era maior que a da água. O resultado pode ser observado na figura 2.

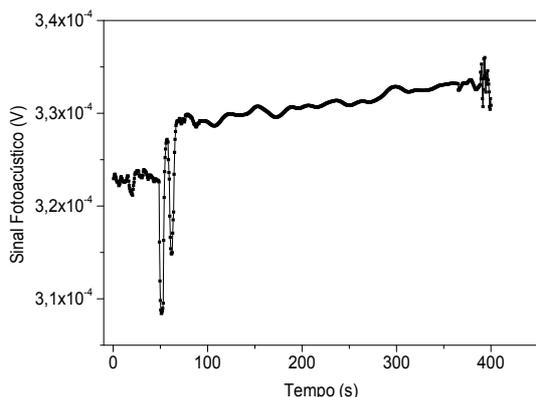


Figura 2: Monitoramento do sinal fotoacústico em função do tempo. Neste caso a quantidade de muco foi maior que a de água.

Pode-se observar que após colocar a água por cima do muco, o sinal fica instável aproximadamente 20 s, e depois estabiliza-se mantendo um comportamento crescente.

A segunda experiência foi a mistura do muco na água quando a concentração relativa do muco era menor que a da água. O resultado pode ser observado na figura 3. Neste caso, após colocar a água no muco, o sinal fica instável aproximadamente 25 s e depois estabiliza, mantendo um comportamento decrescente.

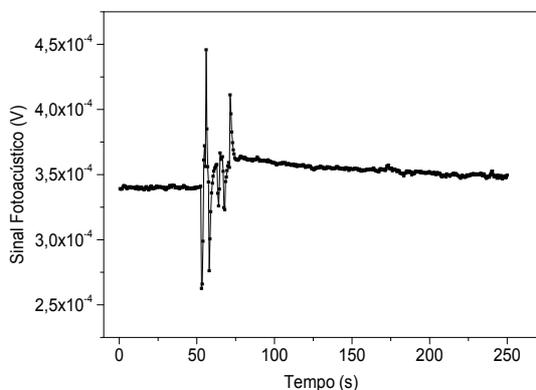


Figura 3: Sinal fotoacústico em função do tempo. Neste caso a quantidade de muco foi menor que a de água.

Nas figs. 2 e 3 observamos dois comportamentos diferentes: num o sinal cresce e no outro diminui. Porém, os dois processos não são matematicamente iguais. Na fig. 2 o crescimento é aproximadamente linear enquanto na fig. 3 o decréscimo é aproximadamente exponencial. Para observar este último comportamento, na figura 4 observa-se o ajuste do decréscimo numa função exponencial decrescente. A função utilizada no ajuste foi:

$$S(t) = S_0 + Ae^{-t/t_1} \quad (1)$$

Na equação 1 temos uma expressão para o sinal fotoacústico S em função do tempo t , onde S_0 é uma constante de integração e t_1 é uma constante relacionada com o tempo necessário para que o sinal diminua ao 36% do seu valor original. Os resultados do ajuste a esta curva mostraram um tempo de decaimento de 143 s ou 2,4 min.

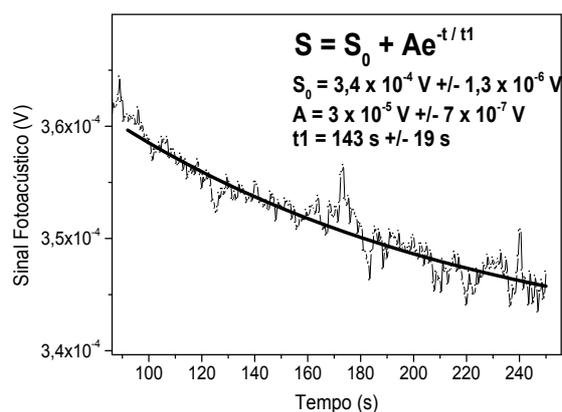


Figura 4: Ajuste exponencial do sinal na fig. 3 após o sinal estabilizar (aproximadamente aos 100 s). A linha contínua representa o melhor ajuste aos pontos experimentais. Os erros mostrados são os erros do ajuste.

Discussão

As duas experiências realizadas correspondem com duas situações extremas enquanto ao processo de mistura de duas substâncias líquidas. No caso da maior quantidade de água, o sinal após estabilizar apresenta o comportamento de da difusão de uma substância, onde a Lei de difusão de Fick tem soluções matemáticas exponenciais. No caso da maior quantidade de muco, o sinal aparentemente não atingiu o patamar da estabilidade no tempo monitorado, implicando que o processo de mistura demora um tempo maior do que o analisado. Em ambos casos, a mudança no sinal esta relacionada com a mudança na efusividade térmica da mistura muco-água, o que esta relacionado com a difusão de um líquido no outro, mudando as propriedades reológicas do novo sistema.

Conclusão

O presente trabalho apresentou resultados prévios do estudo das mudanças nas propriedades reológicas de muco umedecido. Mais estudos estão sendo realizados para compreendermos o comportamento do sinal fotoacústico durante a mistura do muco com água.

Referências

- [1] HUOTMEYER, E. et al. Regulation of mucociliary clearance in health and disease. **Eur. Respir J.** v. 13, p. 1177- 1188, 1999
- [2] VAN DER SCHANS, et al. Chest physical therapy: mucus mobilizing techniques. In: **Pulmonary Rehabilitation**. Philadelphia: Hanley & Belfus, 1996, pp. 229- 246
- [3] KING, M. Effect of particles on mucus and mucociliary clearance. In: **Lung Biology in health and disease**. New York: Marcel Dekker, 2000, pp. 521-529
- [4] LANDAU, L., AJIEZER, A., LIFSHITZ, E. **Curso de Física Geral: Mecânica y Física Molecular**. Editora MIR Moscú, pp. 365, 1979
- [5] TAM, A. C. Applications of photoacoustic sensing techniques. **Rev. Mod. Phys.** v. 58, p. 381-431, 1986
- [6] VARGAS, H.; MIRANDA, L.C.M. Photoacoustic and related photothermal techniques. **Phys. Rep.** v. 161, p. 43-101, 1988
- [7] GASTALDI, A. C. **Estudo comparativo entre secreções brônquicas obtidas com material expectorado, de orofaringe, traquéia, brônquio principal e lobar, analisando sua transportabilidade no palato de rã e na máquina de tosse**. 1994. 58f. Dissertação (Mestrado em Reabilitação) – Escola paulista de Medicina, 1994
- [8] ZANCHET, R. C. **A influência da temperatura e tempo de armazenamento sobre o transporte e ângulo de adesão do muco traqueobrônquico “normal” e de aspecto purulento**. 1999. 115f. Dissertação (Mestrado em Fisioterapia) – Centro Universitário do Triângulo (UNIT), 1997
- [9] ROSENCWAIG, A.; GERSHO, A. Theory of the photoacoustic effect with solids. **J. Appl. Phys.** v. 47, p. 64-69, 1976