

ANÁLISE DA FLUIDODINÂMICA DE SEMENTES DE MAMÃO EM UM SECADOR DE LEITO DE JORRO

D. P. CHIELLE¹; D. L. O. JUNIOR¹; B. MORCELIN¹; T. VENTURINI¹; C. ALESSIO¹, N. I. CANABARRO¹; H.TANABE¹ ; e L. MEILI²

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologias-Depto. Engenharia Química

² Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia

E-mail para contato: claudianp@msn.com

RESUMO – No processamento de mamão 50% da fruta é descartada, onde a semente é possível fonte de produtos com alto valor agregado. A semente possui alto teor de umidade, necessitando a redução da umidade para seu processamento. O objetivo deste trabalho foi estudar o comportamento fluidodinâmico das sementes de mamão durante a secagem em leito de jorro cônico cilíndrico. Foi utilizado um DCCR com três níveis (Temperatura, velocidade do fluido e tempo de secagem). As sementes foram pré-secas a 60 °C até 40% de umidade evitando o colapso do leito. No ponto central notou-se que a distribuição das partículas no leito ($t=0$), altera o momento em que ocorre o início do jorro, porém o comportamento de P/P0 não se altera. O aumento da velocidade impõe menor tempo para iniciar o jorro e estabilizar a pressão. Para a temperatura, quanto mais elevada, mais rapidamente se iniciou o jorro. A secagem de sementes de mamão papaya em leito de jorro é viável, desde que sofrendo uma redução de sua umidade inicial.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a FAO (2010), 10% da produção mundial de frutas tropicais é representada pela cultura do mamão, cerca de 8 milhões de toneladas, das quais 39% são produzidas na América Latina e Caribe. O Brasil é o segundo produtor mundial de mamão, com uma produção de 1.850.000 ton no ano de 2011(FAO, 2012). O mamoeiro *Carica papaya L.*, originário da América Central, é uma planta cultivada em regiões tropicais e subtropicais, estando disseminado praticamente em todo o território nacional. Na maioria dos países as sementes do fruto de mamão, em torno de 15% do seu peso úmido, são descartados, como menciona Marfo *et al.* (1986).

Tendo em vista a tendência mundial no que diz respeito à utilização de resíduos sólidos agroindustriais, a fim de lhes agregar valor, uma grande quantidade de sementes de mamão são geralmente descartadas para o meio ambiente, tornando-se um problema ambiental, de acordo com Malacrida *et al.* (2011).

Segundo Moretto *et al* (1989), as sementes de mamão caracterizam-se pelo alto teor de gordura e proteína. Elas também apresentam um teor de umidade extremamente elevado, em torno de 78% (b.u.). Devido a esse fator, o processo de secagem torna-se necessário a fim de conservar as

propriedades físicas e químicas, pois, os teores elevados de água nas partes vegetais, além de permitirem a ação enzimática, também favorecem o desenvolvimento de microorganismos (Farias, 2003; Corrêa *et. al.*, 2004), Isso compromete sua qualidade e também aumenta custos no armazenamento e de transporte.

Segundo os estudos de Kudra e Mujumdar, (2002), a secagem é uma operação presente em praticamente todos os setores industriais, desde o agrícola até o farmacêutico. De acordo com McCormick (1983), a secagem convectiva é normalmente considerada um processo de remoção de umidade de um sólido por evaporação.

O leito de jorro tem sido aplicado para uma ampla variedade de processos industriais que vão desde a secagem até o recobrimento de partículas, mistura de sólidos, limpeza de gases, granulação, gaseificação, combustão e pirólise (Mathur e Epstein, 1974; Freitas e Freire, 2001). Segundo Mathur e Epstein (1974), isto se deve ao fato deste sistema promover, através de movimentos cíclicos, um efetivo contato entre o fluido e o sólido. O secador de leito de jorro torna-se uma alternativa bastante atrativa para a secagem de sementes em pequena escala pela facilidade de aplicação e vantagens, como baixo custo de montagem, operação e manutenção, demanda de espaço físico pequeno e produto final com baixa umidade.

A fluidodinâmica das partículas torna-se o primeiro passo para o estudo de secagem em leito de jorro. A determinação das condições operacionais de mínimo jorro, dos valores de queda de pressão e das vazões de fluido é muito importante para se estabelecer como será conduzido o processo no equipamento, conforme Adeodato, Donida e Rocha (2002). Assim, o objetivo do presente trabalho foi estudar o comportamento fluidodinâmico das sementes de mamão durante a secagem em um leito de jorro cônico cilíndrico.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As sementes de mamão da variedade papaya foram obtidas no comércio local da cidade de Santa Maria-RS, sendo as mesmas provenientes de frutas que seriam descartadas. A retirada das sementes do fruto foi realizada manualmente, sendo a exotesta (sarcotesta), tecido vegetal característico que recobre a semente, (SANTOS, 2009) retirada por fricção em peneira, sob água corrente.

As sementes foram pré-secas em estufa de convecção natural a 60 °C até atingirem a umidade de 40 % (b.u.), para evitar colapso do leito identificados por experimentos prévios. As propriedades físicas da semente in natura foram: massa específica de 940 kg.m⁻³ e esfericidade de 0,77.

A unidade experimental esquematizada na Figura 1 foi utilizada para a análise fluidodinâmica, sendo composta por: 1-Soprador ARTEK, 7,5 CV, vazão máxima 6,2 m³.min⁻¹; 2-Válvula de globo de alívio; 3-Valvula de esfera para regulagem da vazão; 4-Termoanemometro de hélice; 5-Modulo de aquecimento; 6-Modulo de secagem, leito de jorro cônico cilíndrico; 7-Manômetro em “U”; 8-Ciclone; 9-Temometro de bulbo úmido e bulbo seco; 10-Painel de controle das temperaturas e modulo de aquecimento; 11-Ponteciômetro para controle da vazão do ar.

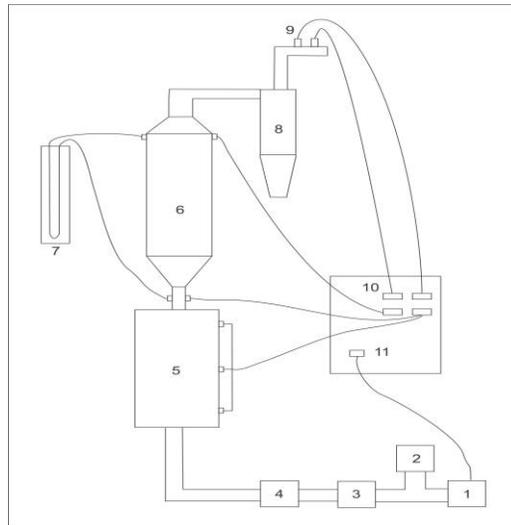


Figura 1: Unidade experimental leito de jorro cônico cilíndrico.

O leito de jorro possui ângulo interno de 60° , diâmetro de entrada do fluido de 4 cm. O corpo cilíndrico da câmara de secagem apresenta altura de 71,5 cm e diâmetro de 20 cm. O módulo de aquecimento é equipado com 3 resistências de 1000W ligadas a um controlador Novus N320.

Para realização dos experimentos, foi determinada a velocidade mínima de jorro (U_{mj}) através de análise gráfica, conforme descrito por Almeida (2009). Para a realização das curvas fluidodinâmicas de leito de jorro das sementes de mamão utilizou-se as velocidades de $1,1U_{mj}$ e $1,4U_{mj}$. Foram adicionados ao leito 500 g de semente de mamão a 40% de umidade (b.u.), quantidade necessária para atingir o leito cônico cilíndrico.

Com esses dados foram coletados os dados de velocidade (U) e da queda de pressão (ΔP) para a construção das curvas fluidodinâmicas. As coletas foram realizadas em intervalos de dois minutos até os primeiros vinte minutos, intervalos de cinco minutos até sessenta minutos de experimento, e após foram realizadas coletas no intervalo dez minutos até o término do experimento. Para análise do comportamento das variáveis independente foi utilizado um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) para três variáveis: Temperatura(T), Velocidade (U) e Tempo (t) conforme demonstrado na Tabela 1, descrito por Rodrigues (2009). Este planejamento também foi realizado para a secagem e análise do comportamento fluidodinâmico.

Tabela 1- Delineamento composto central rotacional (DCCR)

| Ensaio | Temperatura | Velocidade | Tempo |
|--------|-------------|-------------|------------|
| 1 | 52,1(-1) | 9,75(-1) | 1,21(-1) |
| 2 | 87,9(1) | 9,75(-1) | 1,21(-1) |
| 3 | 52,1(-1) | 11,25(1) | 1,21(-1) |
| 4 | 87,9(1) | 11,25(1) | 1,21(-1) |
| 5 | 52,1(-1) | 9,75(-1) | 3,29(1) |
| 6 | 87,9(1) | 9,75(-1) | 3,29(1) |
| 7 | 52,1(-1) | 11,25(1) | 3,29(1) |
| 8 | 87,9(1) | 11,25(1) | 3,29(1) |
| 9 | 40(-1,68) | 10,5(0) | 2,25(0) |
| 10 | 100(1,68) | 10,5(0) | 2,25(0) |
| 11 | 70(0) | 9,24(-1,68) | 2,25(0) |
| 12 | 70(0) | 11,76(1,68) | 2,25(0) |
| 13 | 70(0) | 10,5(0) | 0,5(-1,68) |
| 14 | 70(0) | 10,5(0) | 4(1,68) |
| 15 | 70(0) | 10,5(0) | 2,25(0) |
| 16 | 70(0) | 10,5(0) | 2,25(0) |
| 17 | 70(0) | 10,5(0) | 2,25(0) |

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra os dados obtidos para determinação da velocidade mínima de jorro. Após a análise gráfica pode determinar a U_{mj} que é de 8,4 m.s⁻¹.

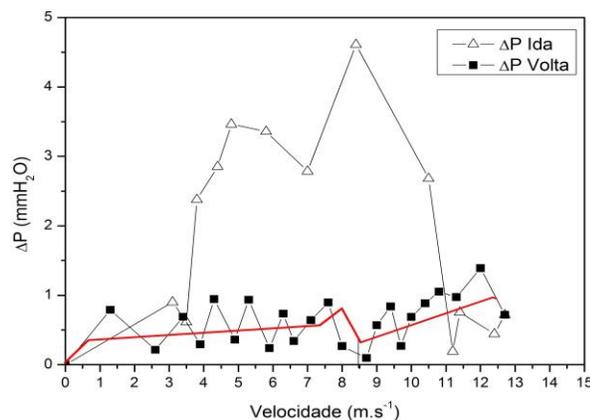


Figura 2 – Curva fluidodinâmica para determinação de U_{mj} .

O comportamento da pressão foi analisado em relação às velocidades e as temperaturas utilizadas no decorrer do tempo para cada experimento. Nas Figuras 3, 4 e 5 serão apresentados os adimensionais de queda de pressão em diferentes velocidades e temperaturas. O adimensional de queda de pressão foi calculado dividindo-se cada valor de queda de pressão coletado no tempo pelo valor inicial da pressão.

A Figura 3 apresenta os valores obtidos do adimensional de pressão no ponto central (70°C e 1,25U m.s-1) em relação ao tempo. A diferença entre cada experimento, pode ser explicada devido ao fato de que cada ensaio foi realizado em uma data diferente, tendo as condições climáticas alteradas, e conseqüentemente pequenas alterações nos valores da pressão podem ocorrer. Também foi observado que a distribuição das partículas dentro do leito, no tempo inicial, altera o momento do início do jorro, no ensaio 15 ocorreu aos 14 minutos, no ensaio 16 ocorreu aos 16 minutos e no ensaio 17 ocorreu aos 40 minutos. Esta diferença pode ser explicada devido ao fato de não ter sido feita uma homogeneização das sementes após serem colocadas na câmara de secagem, ocorrendo diferentes distribuições das partículas dentro do leito. As partículas quando estão concentradas no centro da câmara de secagem, ou seja, em maior quantidade no fluxo principal do gás, existe uma necessidade maior de energia para iniciar o jorro, que pode ser observado no ensaio 17. Quando as partículas não se concentram na parte central, e sim, mais próximo as extremidades da câmara de secagem, o jorro acontece em período de tempo menor, devido não necessitar da mesma energia para iniciar o mesmo processo, isso foi observado nos ensaios 15 e 16. Em uma análise geral do comportamento fluidodinâmico, em mesmas condições, o comportamento de P/P_0 demonstrou manter um padrão dentro das repetições, assim descrevendo que a pressão tem uma alteração somente até o momento que ocorre o jorro, depois tem a tendência a manter-se estável. A variação da pressão, após o tempo que tende a estabilidade, apresentado nos gráficos pode ser relacionada por erro de leitura do operador, sendo que a mesma foi feita visualmente em um manômetro em “U”, em mmH₂O. A altura do operador e o ângulo de visão podem ter as causas das diferenças de 1 mmH₂O, entre as leituras, ocasionando os pequenos desvios do adimensional, após a estabilização.

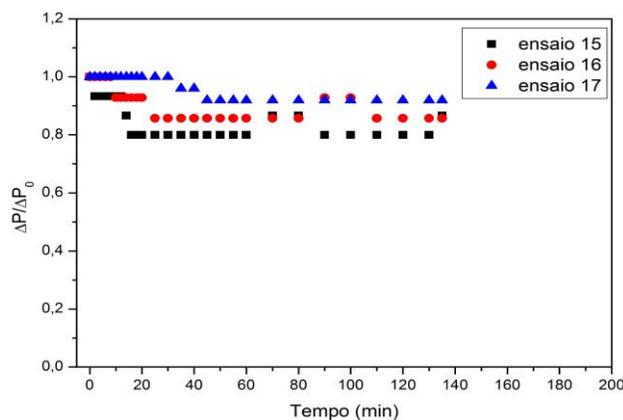


Figura 3 – Adimensional da pressão no leito em função do tempo no ponto central: $U=10,5$ m.s-1; $T=70$ °C e $t=2,25$ h.

Na Figura 4 está apresentada a influência da velocidade na fluidodinâmica das partículas. A velocidade apresentou influência principalmente no tempo de início do jorro dentro da câmara de secagem, onde pode ser observado que no Ensaio 10 o jorro iniciou aos 14 minutos e no Ensaio 12, onde a velocidade foi maior, iniciou aos 6 minutos. Outra observação constatada foi que ao utilizar velocidades maiores, mostrou a tendência de estabilização mais rápida da pressão. Esta avaliação torna-se importante, pois o aumento da velocidade não provocou aumento da pressão quando

comparado com a velocidade inferiores, e também teve uma maior estabilidade. Alterando a velocidade do ar de secagem, abre a possibilidade de obter-se diferentes características fluidodinâmicas no leito, podendo provocar alterações desejadas, conforme o tipo de operação e nas taxas de transferência de calor e massa. Os demais ensaios que foram comparadas somente a mudança da velocidade do ar, apresentaram comportamento semelhante.

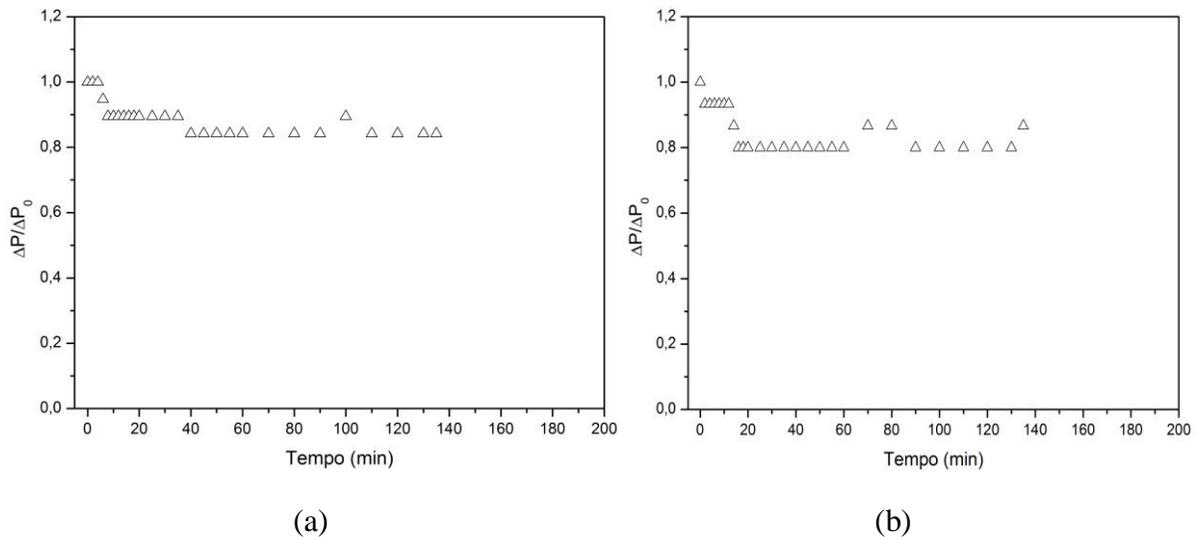


Figura 4 – Adimensional de queda de pressão no leito em função do tempo com a mudança de T, Ensaio 7 (a) e 8 (b); (a) $v = 11,25 \text{ m.s}^{-1}$; $T = 52,1^\circ\text{C}$ e $t = 3,29 \text{ h}$; (b) $v = 11,25 \text{ m.s}^{-1}$; $T = 87,9^\circ\text{C}$ e $t = 3,29 \text{ h}$.

Na Figura 5, foi analisada a influência da temperatura no comportamento fluidodinâmico das sementes. O aumento da temperatura influencia no início do jorro. No ensaio 7, o jorro iniciou aos 10 minutos porém no ensaio 8 o jorro iniciou aos 3 minutos. Os comportamento apresentou uma tendência de que ao utilizar temperatura mais elevadas, o qual ocorre uma estabilização da pressão mais rápida, porém no decorrer do experimento, houve um aumento no adimensional, que fica claro na Figura 5 (b), o que não foi observado quando trabalhado com temperaturas menores. Este comportamento, para temperatura mais elevadas, foi explicado, devido ao trabalhar com maiores temperatura, ocorria uma redução da umidade superficial mais rápida, mais o atrito entre as partículas e as paredes do equipamento, as sementes de mamão liberavam um pó fino e também a liberação da exotesta, assim interrompendo o fluxo de ar e conseqüentemente ocasionando um aumento no adimensional de Pressão. Este comportamento pode ser observado e todos os experimento que trabalharam com temperaturas superiores a 70°C .

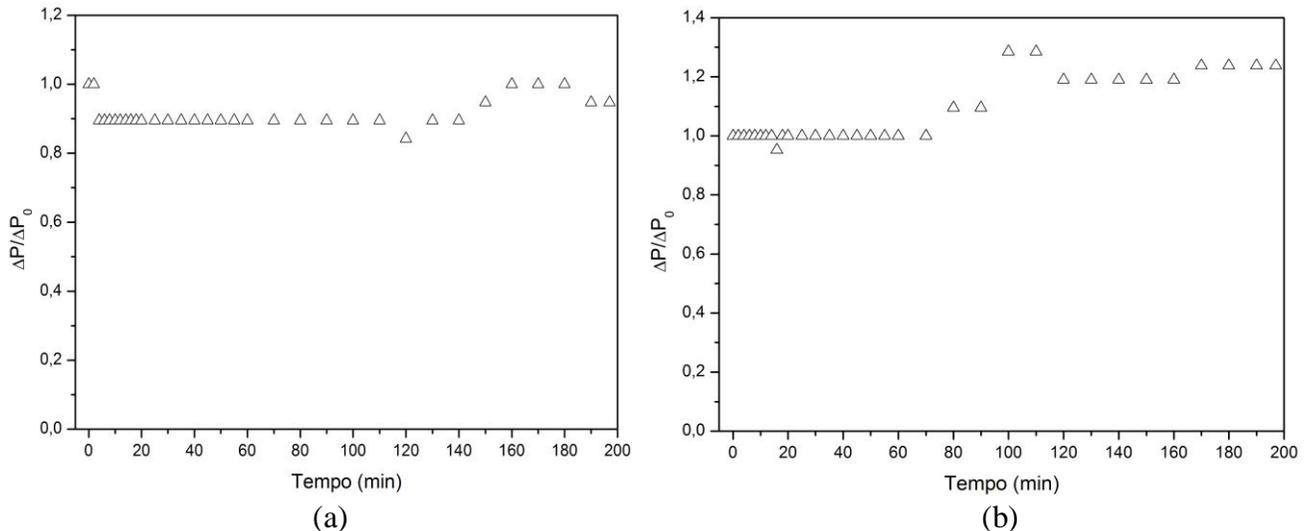


Figura 5 – Adimensional de queda de pressão no leito em função do tempo com a mudança de T, Ensaio 7 (a) e 8 (b); (a) $v = 11,25 \text{ m.s}^{-1}$; $T = 52,1^\circ\text{C}$ e $t = 3,29 \text{ h}$; (b) $v = 11,25 \text{ m.s}^{-1}$; $T = 87,9^\circ\text{C}$ e $t = 3,29 \text{ h}$.

4. CONCLUSÃO

A partir dos resultados fluidodinâmicos para o leito de jorro para secagem de sementes de mamão pode afirmar que na unidade experimental utilizada, a velocidade mínima de jorro é de $8,4 \text{ m.s}^{-1}$ para semente com teor de umidade de 40%. Para secagem de sementes de mamão é necessário realizar pré-secagem, para não ocorrer colapso do leito. A distribuição das partículas dentro da câmara de secagem influenciam no comportamento fluidodinâmico, interferindo no momento de início do jorro. Velocidades maiores tem melhor estabilidade da pressão e início do jorro mais rápido. A temperatura influencia na fluidodinâmica das sementes, quanto maior, mais rápido o início do jorro. Temperaturas altas, ocorre maior liberação de partículas e pode aumentar a pressão dentro do leito.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEODATO M.G., Donida, M. W., Rocha, S. C. S. Metodologia Para Determinação Das Condições de Mínimo Jorro - 30°ENEMP. UFSCar, 2002.

ALMEIDA, A. R. F. Análise da secagem de pastas em leito de jorro. 165p. Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2009.

CORRÊA, R. M.; Bertolucci, S. K. V.; Pinto, J. E. B. P.; Reis, E. S.; Alves, T. L. Rendimento de óleo essencial e caracterização organoléptica de folhas de assa-peixe submetidas a diferentes métodos de secagem. *Ciênc. Agrotec.*, Lavras, v.28, nº 2, p.341- 346, 2004.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAOSTATS). Statistical Databases. Agriculture.2013. <[http:// www.fao.org/faostat](http://www.fao.org/faostat)>

FARIAS M.R. Avaliação da qualidade de matérias-primas vegetais. In: Simões CMO, Schenkel EP, Gosmann G, Mello JCP, Mentz LA, Petrovick PR (org.) Farmacognosia: da planta ao medicamento. 5.ed. Porto Alegre: UFRGS, Florianópolis: UFSC. 2003.

FREITAS, L.A.P; FREIRE, J.T. Heat transfer in a draft tube spouted bed with bottom solids feed, *Powder Technology*, v. 114, p. 152-162, 2001.

KUDRA, T.; Mujumdar, A.S. *Advanced Drying Technologies*, Marcel Dekker, New York, 2002.

Malacrida, C. R., M. Kimura, et al. "Characterization of a high oleic oil extracted from papaya (*Carica papaya* L.) seeds." *Ciencia E Tecnologia De Alimentos*, v. 31(4), p. 929-934, 2011.

Marfo, E. K., O. L. Oke, et al. "Chemical-Composition of Papaya (*Carica-Papaya*) Seeds." *Food Chemistry*, v. 22(4), p. 259-266, 1986.

MATHUR, K.B.; EPSTEIN, N. *Spouted Bed*, *Academic Press*, New York, 1974.

Mccormick, P. Y. (1983). *Solids Drying Fundamentals*. In: Perry, J.; Chilton, C. H. *Chemical Engineering Handbook*, McGraw Hill Co., sec. 20-24.

MORETTO, E.; Fett, R. *Tecnologia de óleos e gorduras vegetais*. Rio de Janeiro: Varela, 1989.

RODRIGUES, M. I., Lemma, A F. *Planejamento experimental e otimização de processos*. 2ª ed., 358p, ISBN: 85-9838-0-X Campinas – SP.

SANTOS, S. A., et al. Estudos morfo-anatômicos de sementes de dois genótipos de mamão(*Carica papaya*L.). *Rev. bras. sementes* [online]. 2009, vol.31, n.2, pp. 116-122. ISSN 0101-3122.