



DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p376-381>

Comportamento higroscópico de partes aéreas de pimenta-de-macaco (*Piper aduncum* L.)

Carolina de L. O. C. e Silva¹, Lênio J. G. de Faria² & Cristiane M. L. Costa³

Palavras-chave:

atividade de água
isotermas de dessorção
calor isostérico
termodinâmica

RESUMO

Isotermas de dessorção de pimenta-de-macaco foram determinadas pelo método gravimétrico estático nas temperaturas de 35, 45 e 55 °C, com umidade relativa variando de 5,5-81%. Três modelos matemáticos foram aplicados para analisar os dados experimentais. O modelo de GAB modificado apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais. O calor isostérico e a entropia diferencial foram determinados pela aplicação das equações de Clausius-Clapeyron e Gibbs-Helmholtz, respectivamente. O calor isostérico e a entropia da isoterma de dessorção apresentaram comportamento similar. A teoria da compensação entalpia-entropia foi aplicada às isotermas indicando que o mecanismo de dessorção de umidade das partes aéreas de pimenta-de-macaco é controlado pela entalpia.

Key words:

water activity
desorption isotherms
isosteric heat
thermodynamics

Higroscopic behavior of aerial parts of monkey pepper (*Piper aduncum* L.)

ABSTRACT

Desorption isotherms of monkey pepper were determined by static gravimetric method at temperatures 35, 45, and 55 °C, over a relative humidity range of 5.5-81%. Three mathematical models were applied to analyse the experimental data. The modified GAB model showed the best adjustment of the experimental data. The isosteric heat and differential entropy were determined by applying Clausius-Clapeyron and Gibbs-Helmholtz equations, respectively. The isosteric heat and the entropy of desorption isotherm presented similar behavior. The enthalpy-entropy compensation theory was applied to the isotherms, indicating that the aerial parts desorption mechanism are enthalpy-controlled.

INTRODUÇÃO

A espécie *Piper aduncum* L., popularmente conhecida como pimenta-de-macaco, é uma planta aromática da família Piperaceae que ocorre na Amazônia e, segundo Silva (2004), possui grande potencial para exploração econômica em função do alto teor de óleo essencial (2,5 a 4%) e da sua comprovada utilidade na agricultura e saúde humana, por ser rico em dilapiol, um fenilpropanóide (Mota et al., 2002).

Pode ser encontrada segundo Andrade et al. (2009) na América Central, em países como Belize, Costa Rica, El Salvador e Guatemala; na América do Sul, nos países Argentina, Bolívia e Brasil (Acre, Amazonas, Pará e Paraná, entre outros) e nas Antilhas, nos países Cuba, Haiti, Porto Rico, República Dominicana e Trinidad.

Esta espécie é de grande importância no estudo e na exploração econômica tendo em vista a ação do óleo essencial presente nas partes aéreas desta planta sobre fitopatógenos como fungos, bactérias (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *S. pneumoniae*), moluscos, ácaros e larvas, além do seu efeito analgésico e anti-inflamatório com baixos níveis de toxicidade e com a vantagem de ser um produto biodegradável (Gaia et al., 2004; Silva, 2004).

A pimenta-de-macaco desponta e começa a chamar a atenção de empresas e agricultores, sobretudo da região amazônica haja vista apresentar elevada adaptabilidade às condições edafo-climáticas encontradas na região representando uma alternativa na substituição de produtos químicos altamente tóxicos, comercializados tanto no Brasil quanto no exterior (Lobato et al., 2007).

Além da secagem uma etapa significativa das operações de pré-processamento de bio-materiais, é a armazenagem cujas piperáceas podem ficar sujeitas às influências de temperatura e umidade ambientais. O material deve ser mantido em condições adequadas de forma a inibir ou evitar o crescimento de microrganismos, sobretudo fungos que, possivelmente, se desenvolvem durante a armazenagem e que podem gerar perdas de qualidade no material inviabilizando total ou parcialmente, sua utilização como fonte de dilapiol natural.

Muitos problemas com biomateriais envolvem as relações entre o conteúdo de umidade desses produtos e a umidade do ambiente pelo fato dos mesmos se comportarem como materiais higroscópicos e mudar seu conteúdo de umidade em função da temperatura e da umidade relativa do ambiente.

Desta forma, o estudo do comportamento higroscópico através da construção das isotermas de dessorção, é uma alternativa/metodologia relevante na análise e no controle de vários processos industriais com biomateriais como armazenamento, secagem, definição de embalagem e misturas.

A determinação experimental dessas isotermas poderá ser usada para calcular diferentes propriedades termodinâmicas importantes nos seus processos de secagem e de armazenagem, tal como o calor isostérico de sorção que fornece o valor da energia necessária para os cálculos, nessas operações.

Visando à promoção de aplicações tecnológicas para plantas amazônicas com potencialidades tecnológicas e industriais tem-se, como meta, contribuir para a inovação dos processos de secagem e armazenagem de partes aéreas de pimenta-de-macaco. Com base neste enfoque, o trabalho

tem, como objetivo, determinar experimentalmente as isotermas de dessorção de umidade de partes aéreas de pimenta-de-macaco nas temperaturas de 35, 45 e 55 °C, selecionar o modelo matemático que melhor descreve o comportamento higroscópico das mesmas, estimar as propriedades termodinâmicas (entalpia e entropia diferencial) e avaliar a aplicabilidade da teoria de compensação entalpia-entropia.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Secagem e Recobrimento de Partículas (LSRP), localizado na FEQ/UFPA utilizando-se folhas e galhos finos de *Piper aduncum* L. A coleta do biomaterial foi realizada na área da CEASA, cidade de Belém, em maio de 2012, sendo o material imediatamente levado para o laboratório no qual foram realizados o beneficiamento e o acondicionamento em ambiente com temperatura e umidade relativa controladas.

Para a determinação da umidade de equilíbrio das partes aéreas de pimenta-de-macaco foi utilizado o método de aproximação gravimétrico estático, conforme recomendado por Gal (1975) nas temperaturas de 35, 45 e 55 °C.

Para se obter atividades de água constantes foram utilizadas soluções salinas saturadas, preparadas pela adição de água aquecida (80 °C) isenta de impurezas, sobre uma porção de sal, até supersaturação, na proporção 1:80 (massa da amostra: volume da solução), até formar uma camada líquida de aproximadamente 2 mm (Labuza, 1983). Na Tabela 1 se encontram listadas as substâncias utilizadas e as correspondentes atividades de água (a_w) geradas em cada uma das temperaturas (T) de trabalho.

As partes aéreas de pimenta-de-macaco umidificadas com gotículas de água, cerca de $1 \pm 0,05$ g, foram colocadas em recipientes de polietileno (50 mL) e em seguida foram

Tabela 1. Valores de atividade de água (a_w) geradas por soluções aquosas saturadas nas temperaturas estudadas

Substância	T (°C)	a_w (adim)	Referência
NaOH	35	0,07	Greenspan (1977)
	45	0,06	Greenspan (1977)
	55	0,05	Greenspan (1977)
LiCl	35	0,11	Greenspan (1977)
	45	0,11	Greenspan (1977)
	55	0,11	Greenspan (1977)
CH ₃ COOK	35	0,23	Greenspan (1977)
	45	0,20	Rockland (1960)
	55	0,29	Rockland (1960)
MgCl ₂ .6H ₂ O	35	0,32	Greenspan (1977)
	45	0,31	Greenspan (1977)
	55	0,50	Greenspan (1977)
K ₂ CO ₃	35	0,41	Greenspan (1977)
	45	0,42	Young (1967)
	55	0,68	Rockland (1960)
NaNO ₂	35	0,63	Young (1967)
	45	0,61	Young (1967)
	55	0,74	Harris & Carr (1949)
NaCl	35	0,75	Greenspan (1977)
	45	0,74	Greenspan (1977)
	55	0,81	Greenspan (1977)

armazenadas em potes herméticos com as soluções saturadas gerando as respectivas atividades de água desejadas. Os potes herméticos foram colocados em estufa incubadora (marca Quimis, modelo 315.D16, com precisão de 0,3 °C e faixa de trabalho de 0 a 55 °C), com temperaturas controladas de 35, 45 e 55 °C, onde permaneceram até atingir o peso constante, verificado por meio de pesagens periódicas em balança analítica (Gehaka - modelo BG 8000 com precisão de 0,1 g).

A massa do sólido seco, necessária aos cálculos do conteúdo de umidade de equilíbrio das amostras, foi determinada em estufa com circulação de ar forçada (marca FABBE) a 105 °C por 24 h, conforme método padronizado (IAL, 1985).

Os dados experimentais do teor de água de equilíbrio foram ajustados através de três modelos matemáticos, conforme sumarizado na Tabela 2 e os critérios usados para avaliar a excelência dos ajustes foram os valores do coeficiente de determinação (R^2), o desvio médio relativo DMR (Eq. 1), erro padrão da estimativa, EPE (Eq. 2) e pela análise dos gráficos de resíduos.

Tabela 2. Modelos matemáticos para avaliar as isotermas de desorção

Modelos	Equações	Referências
Peleg	$X = K1.a_w^{N1} + K2.a_w^{N2}$	Peleg (1993)
Oswin modificado	$X = (A + BT) \left[\frac{a_w}{1 - a_w} \right]^{1/c}$	Chen & Morey (1989)
GAB modificado	$X = \frac{Xm \frac{C_G}{T} Ka_w}{(1 - Ka_w) \left(1 - Ka_w + \frac{C_G}{T} Ka_w \right)}$	Berg (1984) e Aviana et al. (2004)

Segundo Mohapatra & Rao (2005), geralmente são considerados satisfatórios os ajustes matemáticos com valores de desvio médios relativos abaixo de 10%.

$$DMR = \frac{100}{N} \sum \frac{|Y - Y'|}{Y} \quad (1)$$

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum (Y - Y')^2}{df}} \quad (2)$$

em que:

- N - número de experimentos
- df - os graus de liberdade (número de pontos experimentais obtidos menos o número de constantes no modelo)
- Y e Y' - valores experimentais e preditos, respectivamente

O calor isostérico integral de sorção (Q_{st}), em kJ mol⁻¹, é definido como calor isostérico líquido de sorção mais o calor de vaporização da água na temperatura do sistema, conforme a Eq. 3.

$$Q_{st} = q_{st} + \lambda_{vap} \quad (3)$$

O calor de vaporização da água foi obtido utilizando-se a temperatura média (T) na faixa de estudo, em °C, por meio da Eq. 4.

$$\lambda_{vap} = 44,72 - 0,03T - 9,2 \cdot 10^{-5} T^2 \quad (4)$$

A entropia diferencial de sorção (S_d), em kJ mol⁻¹ K⁻¹, foi calculada a partir da Equação de Gibbs-Helmholtz, dada pela Eq. 5, da mesma forma como avaliada em Goula et al. (2008).

$$S_d = \frac{Q_{st} - \Delta G}{T} \quad (5)$$

A energia livre de Gibbs (ΔG), dada em kJ mol⁻¹, pode ser calculada pela Eq. 6.

$$\Delta G = RT \ln(a_w) \quad (6)$$

O efeito de mudanças na sorção da água sobre a energia livre normalmente é acompanhado de mudanças nos valores de entalpia e entropia; assim, e se substituindo a Eq. 6 na Eq. 5 e rearranjando, tem-se:

$$-\ln(a_w) = \frac{q_{st}}{RT} - \frac{S_d}{R} \quad (7)$$

S_d foi estimada a partir da determinação do coeficiente linear (S_d/R), obtido graficando-se $-\ln(a_w)$ versus $1/T$, para conteúdos de umidade constante.

Os valores de atividade de água, temperatura e conteúdo de umidade de equilíbrio utilizados na confecção do gráfico, foram obtidos a partir da equação de melhor ajuste aos dados de teor de água de equilíbrio higroscópico das partes aéreas de pimenta-de-macaco (modelo que forneceu o melhor ajuste).

A teoria da compensação entalpia-entropia ou relação isocinética é utilizada para avaliar os fenômenos físicos e químicos que prevalecem nos processos de sorção. Esta teoria propõe uma relação linear entre q_{st} e S_d , dada pela Eq. 8.

$$q_{st} = T_b S_d + \Delta G \quad (8)$$

em que T_b representa a temperatura isocinética dada em Kelvin e ΔG a energia livre de Gibbs na temperatura isocinética (kJ mol⁻¹).

Para confirmar a existência da compensação, realizou-se um teste que envolve a avaliação da temperatura isocinética em relação à temperatura média harmônica T_{hm} , que é definida como na Eq. 9.

$$T_{hm} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{T} \right)} \quad (9)$$

em que:

- n - número total de isotermas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 são sumarizadas as constantes dos modelos ajustados aos dados experimentais do conteúdo de umidade das partes aéreas de pimenta-de-macaco, para as diferentes temperaturas, tal como os respectivos valores de R^2 , EPE e DMR.

Tabela 3. Estimativa dos parâmetros para os modelos de equilíbrio de umidade das partes aéreas de pimenta-de-macaco, obtidos por dessorção

Modelo	Peleg			Oswin modificado			GAB modificado			
	Temp. (°C)	35	45	55	35	45	55	35	45	55
K1		19,86	22,89	10,56	-	-	-	-	-	-
N1		2,377	2,676	0,928	-	-	-	-	-	-
K2		5,995	5,054	23,59	-	-	-	-	-	-
N2		0,381	0,441	4,233	-	-	-	-	-	-
A		-	-	-	-1683	1359	158,5	-	-	-
B		-	-	-	5,461	-4410	-0,49	-	-	-
C		-	-	-	0,095	1,792	1,438	-	-	-
Xm		-	-	-	-	-	-	5,288	4,940	6,608
Cg		-	-	-	-	-	-	0,909	0,942	0,872
K		-	-	-	-	-	-	2136	1268	624,1
R ²		0,999	1,000	0,999	0,999	0,954	0,998	0,994	0,996	0,999
e		0,214	0,026	0,237	7,679	1,300	0,379	0,458	0,393	0,202
D		3,332	0,515	6,635	85,69	9,487	7,418	6,968	9,611	6,193
Resíduos		A	A	A	T	T	A	A	A	A

A – Aleatório; T – Tendencioso

A estimativa dos valores do conteúdo de umidade da monocamada (X_m), pelo modelo GAB modificado, apresentados na Tabela 3, é importante, uma vez que a deterioração de produtos alimentícios e/ou vegetais é muito pequena quando os mesmos são armazenados abaixo de X_m ; sua ocorrência é devida à água, que é fortemente ligada ao produto abaixo do conteúdo da monocamada e não está envolvida em qualquer reação de deterioração.

Verifica-se que o valor estimado médio do conteúdo de umidade da monocamada para partes aéreas de pimenta-de-macaco ($X_{m\text{ médio}} = 5,61\%$ bs) se aproxima dos encontrados por Ascheri et al. (2007), Alcântara et al. (2009) e Dalgıç et al. (2012), para as folhas frescas de hortelã ($X_{m\text{ médio}} = 6,19\%$ bs), o pedúnculo de caju seco ($X_{m\text{ médio}} = 5,91\%$ bs) e a farinha mista do bagaço de jabuticaba e arroz ($X_{m\text{ médio}} = 5,36\%$ bs), respectivamente.

Com base nos dados apresentados na Tabela 3, observam-se que os modelos de Peleg e GAB modificados são os que melhor descrevem o processo de dessorção das partes aéreas de pimenta-de-macaco nas temperaturas de 35, 45 e 55 °C, por apresentarem valores menores que 10% para o desvio médio relativo, coeficiente de determinação próximos da unidade e distribuição de resíduos totalmente aleatória, para todas as temperaturas estudadas.

O modelo GAB modificado foi utilizado no estudo das características de dessorção de umidade e para estimar as propriedades termodinâmicas adiante, por ser um modelo teórico enquanto os outros modelos são empíricos ou semiempíricos e têm sido utilizados em vários produtos alimentícios e agrícolas apresentando bons resultados.

A Figura 1 exibe as isotermas de dessorção de partes aéreas de pimenta-de-macaco resultantes do modelo GAB modificado nas temperaturas estudadas.

Verifica-se que as isotermas apresentam o formato sigmoidal correspondente ao tipo II indicando a existência de umidade adsorvida em camadas multimoleculares.

O efeito da temperatura nos processos de dessorção também é observado na Figura 1 para uma grande faixa de atividade de água sinalizando uma diminuição no conteúdo de umidade de equilíbrio alcançado pelo material com o aumento da temperatura, o que concorda com os resultados obtidos para

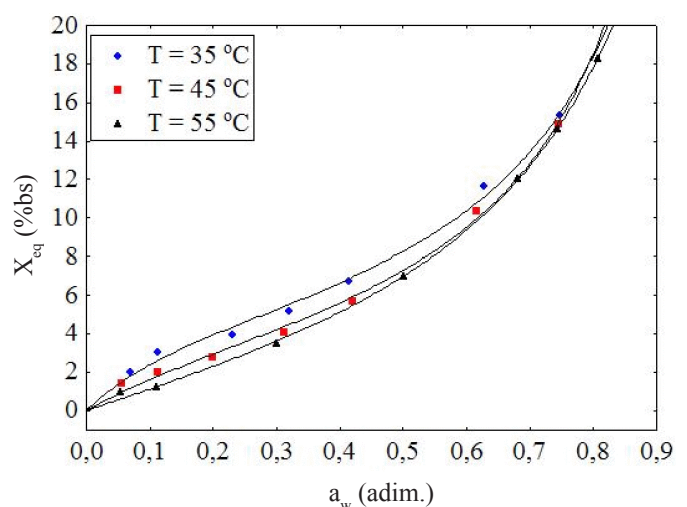


Figura 1. Efeito da temperatura na dessorção de partes aéreas de pimenta-de-macaco

produtos agrícolas (Resende et al., 2006; Ascheri et al., 2007; Pena et al., 2010).

Na Figura 2 são ilustrados os valores do calor isostérico integral de sorção, em kJ mol^{-1} , em função do conteúdo de umidade de equilíbrio. Os resultados apresentados mostram que o calor de sorção aumenta exponencialmente com o

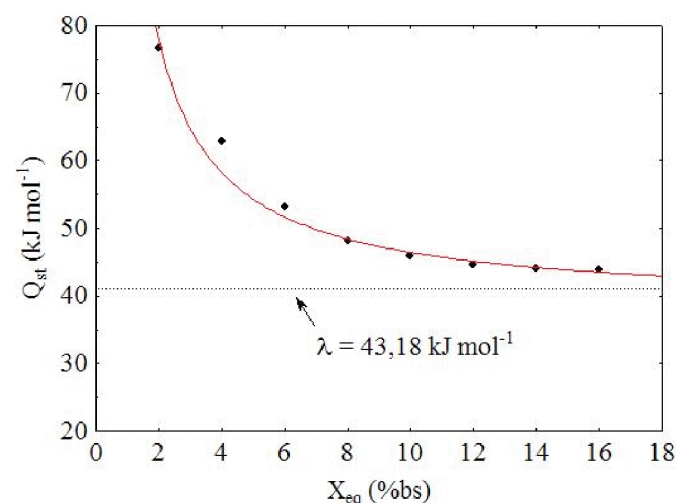


Figura 2. Calor isostérico de dessorção para partes aéreas de pimenta-de-macaco

decréscimo da umidade para o processo de dessorção como encontrado por Silva et al. (2002) no estudo da dessorção em polpa de manga. A variação máxima observada foi pequena em relação ao calor latente de vaporização da água ($43,18 \text{ kJ mol}^{-1}$) na faixa de umidade considerada (2 a 16% bs) sugerindo que a água sorvida no material depende pouco da energia de interação entre as moléculas de água e a matriz sólida do produto, na faixa de temperatura estudada.

A Eq. 10 representa o modelo matemático para os valores experimentais do calor isostérico integral (Q_{st}) de dessorção, em kJ mol^{-1} , em função do conteúdo de umidade de equilíbrio (% bs). Observa-se que a equação utilizada descreve satisfatoriamente os dados experimentais apresentado um coeficiente de determinação da ordem de 98%.

$$Q_{st} = 18830,6 \exp\left(\frac{0,004164}{X_{eq}}\right) - 18792 \quad (10)$$

A entropia diferencial de sorção é proporcional ao número de sítios de sorção disponíveis em um nível específico de energia e os valores correspondentes podem ser calculados em diferentes conteúdos de umidade. Os resultados obtidos para a entropia diferencial de dessorção, em kJ mol^{-1} , para as partes aéreas de pimenta-de-macaco, são ressaltados na Figura 3.

Observa-se a forte dependência da entropia diferencial com teor de umidade apresentando tendência exponencial, semelhante ao comportamento exibido para a entalpia diferencial (Figura 2).

Tal comportamento sugere que em baixos valores de conteúdos de umidade as moléculas de água estão fortemente ligadas à superfície do sorbato e, portanto, têm baixo grau de liberdade, ou seja, existem grandes restrições internas resultando na diminuição da entropia; já para conteúdos elevados de umidade, as moléculas de água são adsorvidas em multicamada proporcionando-lhes, desta forma, maior liberdade configuracional e favorecendo a desordem do sistema aumentando, em consequência, a entropia de sorção.

A Eq. 11 representa o modelo matemático para os valores experimentais para entropia diferencial de dessorção (S_d), em $\text{kJ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$, em função do conteúdo de umidade

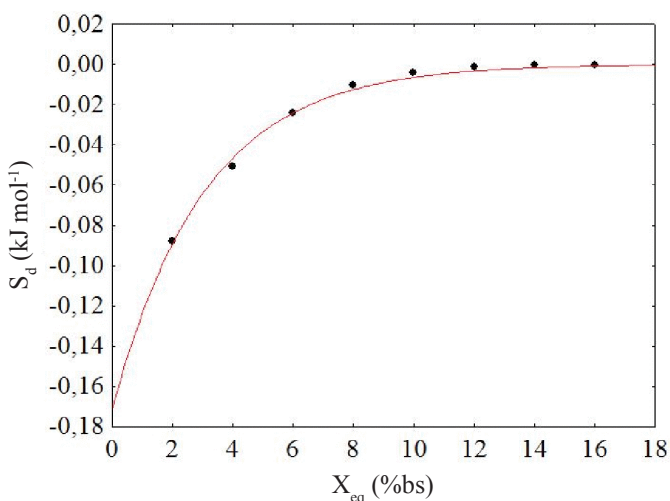


Figura 3. Entropia diferencial de dessorção para partes aéreas de pimenta-de-macaco

de equilíbrio (% bs). Verifica-se que a equação proposta representa adequadamente os dados experimentais com valor de coeficiente de determinação (R^2) de 0,9944.

$$S_d = -0,17139 \exp(-0,32639X_{eq}) \quad (11)$$

A Figura 4 apresenta a relação obtida entre os valores de entalpia e entropia diferencial de dessorção.

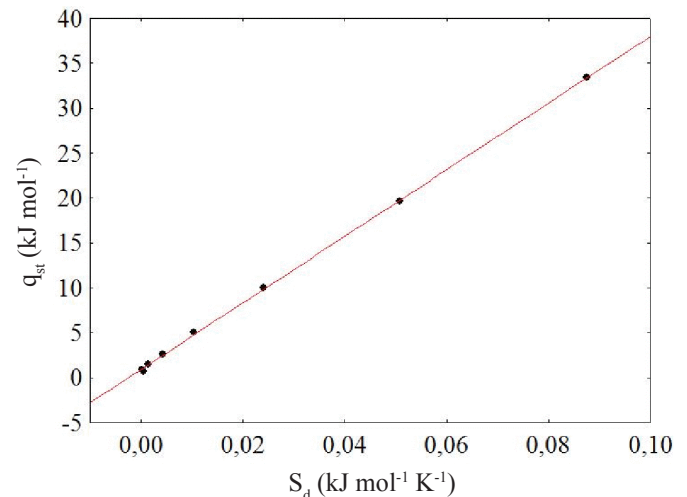


Figura 4. Relação entalpia-entropia para dessorção de umidade em partes aéreas de pimenta-de-macaco

Os valores para a temperatura isocinética (T_B) e energia livre de Gibbs (ΔG) obtidos a partir da relação linear entre q_{st} e S_d , para o processo de dessorção de umidade, foram $370,91 \text{ K}$ e $0,91899 \text{ kJ mol}^{-1}$, respectivamente.

A temperatura média harmônica calculada pela Eq. 9 foi $317,79 \text{ K}$; desta forma, como a temperatura isocinética apresentou valor diferente da média harmônica e $T_B > T_{hm}$. O mecanismo de dessorção da água em partes aéreas de pimenta-de-macaco é controlado pela entalpia. Resultados semelhantes foram obtidos por Goula et al. (2008), Sharma et al. (2009) e Dalgiç et al. (2012) os quais aplicaram com sucesso a teoria isocinética sobre a sorção dos mais diferentes produtos em que o fenômeno de sorção é controlado pela entalpia.

CONCLUSÕES

1. Os modelos matemáticos que melhor descreveram os dados experimentais de dessorção de umidade para as folhas e galhos finos de pimenta-de-macaco, foram os de Peleg e GAB modificado para todas as temperaturas estudadas.

2. As umidades de equilíbrio diminuíram com o aumento da temperatura para toda faixa de a_w avaliada, indicando mudanças nos mecanismos de interação da água com os sítios de superfície das folhas e dos galhos finos.

3. Com a redução de X_{eq} , ocorreu aumento da energia necessária para retirar água das sementes, representada pelos valores do calor isostérico integral de dessorção, que apresentou uma variação máxima pequena em referência ao calor latente de vaporização da água.

4. A entropia diferencial aumenta em função de X_{eq} . O calor isostérico e a entropia de dessorção apresentam

comportamento similar com uma mudança de forma próximo a um conteúdo de umidade de equilíbrio de 0,08% bs.

5. A teoria da compensação foi aplicada com sucesso e indicou que o processo de dessecção das partes aéreas de pimenta-de-macaco é controlado pela entalpia.

AGRADECIMENTOS

À PROPESP, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da UFPA, pela bolsa de estudo e apoio financeiro na aprovação do projeto PARD 2011.

LITERATURA CITADA

- Alcântara, S. R.; Almeida, F. de A. C.; Silva, F. L. H. da; Gomes, J. P. Isotermas de adsorção do pedúnculo seco do caju. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, p.81-87, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000100012>
- Andrade, E. H. A.; Guimarães, E. F.; Maia, J. G. S. Variabilidade química em óleos essenciais de espécies de Piper da Amazônia. 1.ed. Belém: FEQ/UFPA, 2009. 448p.
- Ascheri, D. P. R.; Ascheri, J. L. R.; Carvalho, C. W. P.; Devilla, I. A. Propriedades termodinâmicas de adsorção de água de farinhas mistas pré-gelatinizadas de bagaço de jabuticaba e arroz: Efeito dos parâmetros de extrusão. *Brazilian Journal of Food Technology*, v.10, p.183-193, 2007.
- Aviara, N. A.; Ajibola, O. O.; Oni, S. A. Sorption equilibrium and thermodynamic characteristics of soya bean. *Biosystems Engineering*, v.87, p.179-190, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2003.11.006>
- Berg, C. van den. Description of water activity of food for engineering purposes by means of the GAB model sorption. In: McKenna, B. M. *Engineering and foods*. New York: Elsevier Science, 1984. p.119-131.
- Chen, C.; Morey, R. V. Comparison of four EMC/ERH equations. *Transactions of the ASAE*, v.32, p.983-990, 1989. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.31103>
- Dalgıç, A. C.; Pekmez, H.; Belibagh, K. B. Effect of drying methods on the moisture sorption isotherms and thermodynamic properties of mint leaves. *Journal of Food Science Technology*, v.4, p.439-449, 2012. <http://dx.doi.org/10.1007/s13197-011-0302-7>
- Gaia, J. M. D.; Mota, M. G. C.; Conceição, C. C. C.; Costa, M. R.; Maia, J. G. S. Similaridade genética de populações naturais de pimenta-de-macaco por análise RAPD. *Horticultura Brasileira*, v.22, p.686-689, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362004000400004>
- Gal, S. Recent advances in techniques for the determination of sorption isotherms. In: Duckworth, R. B. (ed.) *Water relations of foods*. London: Academic Press, 1975. 139p. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-223150-6.50013-4>
- Goula, A. M.; Karapantsios, T. D.; Achilias, D. S.; Adamopoulos, K. G. Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. *Journal of Food Engineering*, v.85, p.73-83, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.07.015>
- Greenspan, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, v.81a, p.89-96, 1977. <http://dx.doi.org/10.6028/jres.081A.011>
- Harris, B. L.; Carr, D. Correction - Solutions for maintaining constant relative humidity. *Industrial & Engineering Chemistry*, v.41, p.2808-2808, 1949. <http://dx.doi.org/10.1021/ie50480a034>
- IAL - Instituto Adolfo Lutz. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, v.1, 3.ed., 1985.
- Labuza, T. P. Standard procedure for isotherm determination. *Cereal Foods World*. v.28, 1983. 258p.
- Lobato, A. K. da S.; Santos, D. G. C. dos; Castro, D. da S.; Torres, G. I. O. P. da S.; Oliveira Neto, C. F. de; Silva, M. H. L. da. Avaliação dos efeitos da temperatura e da restrição hídrica sobre a germinação de sementes de *Piper aduncum* L. *Revista Brasileira de Biociências*, v.5, p.297-299, 2007.
- Mohapatra, D.; Rao, P.S. A thin layer drying model of parboiled wheat. *Journal of Food Engineering*, v.66, p.513-518, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.04.023>
- Mota, M. G. da C., Conceição, C. C. C., Gaia, J. M. D., Maia, J. G. S. Variabilidade fenotípica para o rendimento em óleo essencial e teor de dilapiol em população naturais de pimenta-de-macaco na Amazônia Brasileira. *Horticultura Brasileira*, v.20, Suplemento 2, 2002.
- Peleg, M. Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. *Journal of Food Process Engineering*, v.16, p.21-37, 1993. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4530.1993.tb00160.x>
- Pena, R. S.; Mendonça, N. B.; Almeida, M. D. C. Comportamento higroscópico do açaí em pó. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.12, p.153-161, 2010.
- Resende, O.; Corrêa, P. C.; Goneli, A. L. D.; Ribeiro, D. M. Isotermas e calor isostérico de sorção do feijão. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.3, p.626-631, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612006000300022>
- Rockland, L. B. Relative humidity variations with temperature of saturated salt solutions. *Analytical Chemistry*, v.32, p.1375-1376, 1960. <http://dx.doi.org/10.1021/ac60166a055>
- Sharma, P.; Singh, R. R. B.; Singh, A. K.; Patel, A. A.; Patil, G. R. Sorption isotherms and thermodynamics of water sorption of ready-to-use Basundi mix. *Food Science and Technology*, v.42, p.441-445, 2009.
- Silva, M. H. L. Tecnologias para o desenvolvimento agroindustrial de *Piper aduncum* L. Seropédica: UFRRJ, 2004. 120p. Tese Doutorado
- Silva, M. M. da; Gouveia, J. P. G. de; Almeida, F. de A. C. Dessecção e calor isostérico em polpa de manga. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, p.123-127, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662002000100022>
- Young, J. F. Humidity control in the laboratory using salt solutions - A review. *Journal of Applied Chemistry*, v.17, p.241-245, 1967. <http://dx.doi.org/10.1002/jctb.5010170901>