



ENEPEX

ENCONTRO DE ENSINO,
PESQUISA E EXTENSÃO

8° ENEPE UFGD • 5° EPEX UEMS

PARÂMETROS TERMODINÂMICOS DURANTE A SECAGEM DE FOLHAS DE TIMBÓ (*Serjania marginata* Casar)

Elton Aparecido Siqueira Martins¹; Cesar Pedro Hartmann Filho²; Eduardo Zanetti Lage¹; Murilo Henrique Rojas dos Santos³; André Luís Duarte Goneli⁴; Lidiane Dauzacker Gomes⁵

UFGD/FCA – Caixa Postal 533, 79.804-970 – Dourados – MS, E-mail: murilorojas@hotmail.com

¹Aluno de Mestrado em Engenharia Agrícola. ²Aluno de Mestrado em Agronomia. ³Aluno de Graduação em Agronomia. ⁴Orientador Professor FCA, Bolsista PQ CNPq. ⁵Aluna de Graduação em Engenharia Agrícola.

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi determinar os parâmetros termodinâmicos durante a secagem de folhas de timbó (*Serjania marginata* Casar). Foram utilizadas folhas de timbó, colhidas com teor de água inicial de, aproximadamente, 67% b.u., cultivadas no Horto de Plantas Medicinais – HPM da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados, localizada no município de Dourados - MS. A redução do teor de água ao longo da secagem foi acompanhada pelo método gravimétrico (perda de massa), conhecendo-se o teor de água inicial do produto, até o mesmo atingir o teor de água final de, aproximadamente, 7,4% b.u., com auxílio de uma balança analítica com resolução de 0,01 g. A secagem das folhas de timbó foi realizada, em estufa de circulação forçada de ar, para diferentes condições controladas de temperatura (40, 50, 60 e 70°C). De acordo com os resultados encontrados, verifica-se que o aumento da temperatura do ar de secagem promoveu o aumento da energia livre de Gibbs, enquanto a entalpia e a entropia decresceram.

Palavras chave: Secagem, difusão, entalpia.

INTRODUÇÃO

O timbó (*Serjania marginata* Casar.), é uma espécie vegetal de hábito trepador escandente, apresentando uma grande ocorrência no cerrado brasileiro, sendo utilizado tanto para fins ornamentais, quanto para o manejo integrado de pragas em locais de recuperação de áreas degradadas, devido ao seu potencial inseticida (GUARIM NETO & SANTANA, 2000).

Segundo Bourdyet al. (2004), o timbó possui propriedades medicinais, sendo o composto de suas folhas utilizados popularmente para dores de estômago.

O interesse por produtos com potencial terapêutico, condimentares e aromáticas vem crescendo a cada dia que passa, tanto no Brasil como no mundo (MARTINAZZO et al., 2007; TABALDI et al., 2012). Devido a essa demanda acaba-se tornando essencial, além das praticas agrícolas sustentáveis e mais eficientes, o desenvolvimento de técnicas eficientes de secagem e armazenamento para que a biomassa produzida pela planta e suas propriedades químicas possam ser aproveitadas de forma integral e efetiva (TABALDI et al., 2012).

Conhecer as propriedades termodinâmicas nos processos de secagem de produtos agrícolas é uma importante fonte de informação para projetar equipamentos de secagem, calcular a energia requerida nesse processo, estudar as propriedades da água adsorvida e avaliar a microestrutura dos alimentos e o estudo dos fenômenos físicos que ocorrem na superfície dos produtos agrícolas (CORRÊA et al., 2010).

Dessa forma, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de determinar os parâmetros termodinâmicos durante a secagem de folhas de timbó.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no laboratório de Propriedades Físicas de Produtos Agrícolas, da Faculdade de Ciências Agrárias - FCA, pertencente à Universidade Federal da Grande Dourados, no município de Dourados, MS. Foram utilizadas folhas da parte aérea de timbó, colhidas no Horto de Plantas Medicinais – HPM da FCA.

O teor de água inicial e de equilíbrio das amostras foram determinados logo após a coleta e no final do processo de secagem, respectivamente, utilizando-se o método gravimétrico recomendado pela ASABE (2010), para forrageiras e plantas similares, em estufa com circulação forçada de ar a 103 ± 1 °C, durante 24 h.

O produto foi submetido a quatro temperaturas controladas de ar de secagem, sendo, 40, 50, 60 e 70 °C, com respectivas umidades relativas do ar de secagem de 19,2; 16,4; 9,3 e 4,8%, em uma estufa com circulação forçada de ar, até que o produto atingisse o teor de água de equilíbrio. O teor de água inicial das folhas de timbó, submetidas aos ensaios de secagem, foi de aproximadamente 67% b.u., para fins de modelagem matemática considerou-se o fim da secagem quando o teor de água das folhas atingiram aproximadamente 7,4% b.u..

Durante o processo de secagem, as bandejas com as amostras foram pesadas periodicamente, utilizando uma balança analítica digital com resolução de 0,01 g. O tempo

entre as leituras foi controlado por meio da diferença de massas, de forma que não permitisse diferenças grandes de teor de água entre as leituras.

Os coeficientes de difusão efetivo das folhas de timbó, para as diferentes temperaturas de secagem, foram calculados utilizando a Equação1, considerando-se a forma geométrica do produto como aproximada de uma placa plana, e com aproximação de oito termos.

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[-(2n+1)^2 \cdot \pi^2 D_i \left(\frac{\theta}{4L} \right)^2 \right] \quad (1)$$

em que:

D_i - coeficiente de difusão efetivo, $m^2 s^{-1}$; L - espessura do produto, m;
 θ - tempo de secagem, s; n - número de termos do modelo.
 U - teor de água, decimal (b.s.) U_i - teor de água inicial, decimal (b.s.)
 U_e - teor de água de equilíbrio, decimal (b.s.)

A espessura das folhas de timbó foi mensurada utilizando-se um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm. Foram realizadas medições em 50 folhas, sendo que em cada folha foi realizadas três medições em diferentes locais, após isso foi calculada a média dos valores mensurados, sendo essa média a espessuras das folhas, que foi de 0,5922 mm.

Para avaliar a influência da temperatura no coeficiente de difusão efetivo, foi utilizada a equação de Arrhenius, descrita na Equação2:

$$D_i = D_o \exp \left(\frac{E_a}{R T_a} \right) \quad (2)$$

em que:

D_o -fator pré-exponencial; R - constante universal dos gases, $8,314 \text{ kJ kmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$;
 T_a - temperatura absoluta, K; E_a - energia de ativação, KJ mol^{-1} .

As propriedades termodinâmicas entalpia específica, entropia específica e energia livre de Gibbs, relacionadas ao processo de secagem das folhas de timbó, foram determinadas através do método descrito por Jideani&Mpotokwana (2009), de acordo com as Equações3, 4 e 5:

$$\Delta h = E_a - RT \quad (3)$$

$$\Delta s = R \left(\ln D_0 - \ln \frac{k_B}{h_p} - \ln T \right) \quad (4)$$

$$\Delta G = \Delta h - T\Delta s \quad (5)$$

em que:

Δh - entalpia específica, J mol⁻¹; k_B - constante de Boltzmann, 1,38 x 10⁻²³ J K⁻¹;

Δs - entropia específica, J mol⁻¹ K⁻¹; h_p - constante de Planck, 6,626 x 10⁻³⁴ J s⁻¹;

ΔG - energia livre de Gibbs, J mol⁻¹.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 1, são apresentados os valores médios do coeficiente de difusão efetivo obtidos durante a secagem das folhas de timbó, para as temperaturas do ar de secagem estudadas, e considerando a espessura das folhas de timbó de 0,5922 mm.

Tabela 1. Coeficiente de difusão efetivo para as diferentes temperaturas de secagem das folhas de timbó

Temperatura (°C)	D × 10 ⁻¹¹ (m ² s ⁻¹)
40	0,6630
50	5,1229
60	7,0289
70	12,0712

A energia de ativação necessária para a difusão de água durante a secagem das folhas de timbó, calculada de acordo com a Equação 2, foi de 81,39 kJ mol⁻¹. Nos processos de secagem, quanto menor a energia de ativação maior será a difusividade de água no produto. A energia de ativação é uma barreira que deve ser ultrapassada para que o processo de difusão possa ser desencadeado no produto (KASHANINEJAD et al., 2007)

Com relação às propriedades termodinâmicas (entalpia específica, entropia específica e energia livre de Gibbs), observa-se que os valores de entalpia diminuem com o incremento dos valores de temperatura (Tabela 2), indicando que é necessária uma menor quantidade de energia para que a secagem ocorra em temperaturas mais elevadas.

Tabela 2.Propriedades termodinâmicas do processo de secagem das folhas de timbó

Temperatura (°C)	Δh	Δs	ΔG
	kJ mol ⁻¹ K ⁻¹		
40	78,7861	-0,1958	140,1081
50	78,7030	-0,1961	142,0676
60	78,6199	-0,1963	144,0297
70	78,5367	-0,1966	145,9942

Analisando a variação dos valores de entropia (Tabela 2) observa-se que a mesma teve um comportamento semelhante ao da entalpia, ou seja, seu valor reduziu com o aumento da temperatura do ar de secagem. Esse comportamento era um fenômeno esperado, pois a diminuição da temperatura acarreta em menor excitação das moléculas de água, resultando num aumento da ordem do sistema água-produto (CORRÊA et al., 2010). Segundo Goneli et al (2010), a entropia é uma grandeza termodinâmica ligada ao grau de desordem, onde seus valores se elevam durante um processo natural em um sistema isolado. Os valores negativos de entropia podem estar atribuídos à existência de adsorção química e/ou modificações estruturais do adsorvente (MOREIRA et al., 2008).

Diferentemente dos valores de entalpia e entropia, houve um aumento dos valores da energia livre de Gibbs com o aumento da temperatura do ar de secagem (Tabela 2). A energia livre de Gibbs é atribuída ao trabalho necessário para tornar os locais de sorção disponíveis (NKOLO MEZE'E et al., 2008). Os valores positivos da energia livre de Gibbs indicam que a secagem das folhas de timbó não foi um processo espontâneo, esses valores positivos são característicos de uma reação endergônica, ou seja, requerem adição de energia proveniente do meio em que se encontra o produto para que ocorra a reação (CORRÊA et al., 2010).

CONCLUSÕES

O aumento da temperatura do ar de secagem, para as folhas de timbó, promoveu a redução dos valores de entalpia específica e entropia específica, enquanto os valores da energia livre de Gibbs aumentaram.

REFERÊNCIAS

ASABE - American Society of Agricultural and Biological Engineers. Moisture Measurement – Forages: Standard S358.2 DEC1988, R2008. In: American Society of Agricultural and

Biological Engineers (ed.). Standards, Engineering Practices, and Data. St. Joseph: ASABE, 2010. p.684-685.

BOURDY, G.; MICHEL, L. R. C. de; ROCA-COULTHARD, A. Pharmacopeia in a shamanistic society: the Izoceño-Guaraní (Bolivian Chaco). **Journal of Ethnopharmacology**, v.91, p.189-208, 2004.

CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M.; GONELI, A. L. D.; CARVALHO, F. M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, v.57, p.595-601, 2010.

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M. Water desorption and thermodynamic properties of okra seeds. **Transactions of the ASAE**, v.53, p.191-197, 2010.

GUARIM NETO, G.; SANTANA, S. R. A família Sapindaceae para a flora do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. In: Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-Econômicos do Pantanal: Os Desafios Do Novo Milênio, 3, 2000, Corumbá Anais... Corumbá: Embrapa Pantanal, 2000. p. 1-46.

JIDEANI, V. A.; MPOTOKWANA, S. M. Modeling of water absorption of botswanabambara varieties using Peleg's equation. **Journal of Food Engineering**, v.92, p.182-188, 2009.

KASHANINEJAD, M.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A.; TABIL, L. G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, v.78, p.98-108, 2007.

MARTINAZZO, A. P.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MELO, E. de C. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, p.301-306, 2007.

MOREIRA R.; CHENLO, F.; TORRES, M. D.; VALLEJO, N. Thermodynamic analysis of experimental sorption isotherms of loquat and quince fruits. **Journal of Food Engineering**, v.88, p.514-521, 2008.

NKOLO MEZE'E, Y. N.; NOAH NGAMVENG, J.; BARDET, S. Effect of enthalpy-entropy compensation during sorption of water vapour in tropical woods: The case of bubinga (*Guibourtia tessmanii* J. L'Éonard; *G. pellegriniana* J. L.). **Thermochimica Acta**, v.468, p.1-5, 2008.

TABALDI, L. A.; VIEIRA, M. C.; ZÁRATE, N. A. H.; SILVA, L. R.; GONÇALVES, W. L. F.; PILECCO, M.; FORMAGIO, A. S. N.; GASSI, R. P.; PADOVAN, M. P. Cover crops and their effects on the biomass yield of *Serjania marginata* plants. **Ciência Rural**, v.42, p.614-620, 2012.