

DETERMINAÇÃO DO EQUILÍBRIO HIGROSCÓPICO DO CAPIM-INDIANO

EDNILTON TAVARES DE ANDRADE¹, FILIPE DA SILVA DE OLIVEIRA², KÁTIA SOARES MOREIRA³; PAULA DE ALMEIDA RIOS⁴; LUANA HAERBERLIN⁵; DANILO BARBOSA CARDOSO⁶

¹ Professor Titular do Departamento de Engenharia Agrícola, UFLA, ednilton@deg.ufla.br

² Aluno do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFLA, filipe.oliveira@estudante.ufla.br

³ Aluna do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFLA, katiassoaresmoreira@hotmail.com

⁴ Aluna do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFLA, paulariosagricola@gmail.com

⁵ Aluna do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFLA, haeberlin.luana@hotmail.com

⁶ Aluno do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFLA, cardosodb@gmail.com

Apresentado no
XLVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2019
17 a 19 de setembro de 2019 - Campinas - SP, Brasil

RESUMO: No desenvolvimento de equipamentos para secagem é importante a simulação e a obtenção de informações teóricas a respeito do comportamento de cada produto durante a remoção de água. Este trabalho teve como objetivo a determinação e análise do equilíbrio higroscópico do capim-indiano em diferentes condições controladas de temperatura e umidade relativa do ar, e avaliar dentre diversos modelos descritos na literatura, o que melhor representa o comportamento da isoterma de sorção. As temperaturas utilizadas foram de 20°C, 30°C, 55°C e 70°C, com umidades relativas entre 10,75% a 85,11%. O modelo que melhor se ajustou aos dados foi o modelo de GAB Modificado com R² de 94,21.

PALAVRAS-CHAVE: higroscopicidade; *Cymbopogon flexuosus*; modelagem matemática

DETERMINATION OF HIGROSCOPIC EQUILIBRIUM OF EAST INDIAN GRASS

ABSTRACT: In the development of equipment used for drying, it is important to simulate and obtain theoretical information about the behavior of water loss for each product. The objective of this work was to determine the hygroscopic equilibrium of the Indian grass at different controlled conditions of temperature and relative humidity, and to evaluate among several models described in the literature, which best represents the behavior of the sorption isotherm. The temperatures used were 20 ° C, 30 ° C, 55 ° C and 70 ° C, with relative humidity ranging from 10.75% to 85.11%. The model that best fit the data was the modified GAB model with R² of 94.21.

KEYWORDS: hygrosopicity; *Cymbopogon flexuosus*; mathematical modelling

INTRODUÇÃO: Todos os produtos agrícolas têm a capacidade de ceder água para o ambiente ou absorvê-la, convergindo, constantemente, para uma relação de equilíbrio entre o seu teor de água e o ar ambiente. A relação entre o teor de água de um determinado produto e a umidade relativa de equilíbrio em uma temperatura pode ser expressa por equações matemáticas, e são denominadas de isotermas de sorção ou curvas de equilíbrio higroscópico. A determinação das isotermas de sorção de água constitui fator essencial nos projetos e estudos de sistemas de secagem, manuseio, processamento, armazenagem, embalagem e predição da vida de prateleira de produtos alimentícios. O comportamento higroscópico de diversos produtos agrícolas tem sido estudado por vários pesquisadores (DA SILVA et al., 2018; CORRÊA FILHO et al., 2018). Diante disto, o presente trabalho teve como objetivo

determinar as isotermas de sorção do capim-indiano e ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais, selecionando aquele que melhor represente o teor de umidade de equilíbrio do produto.

MATERIAL E MÉTODOS: O presente trabalho foi desenvolvido no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG; e os testes no Laboratório de Processamento de Produtos Agrícolas (LPPA), no mesmo departamento. O material utilizado para o estudo foi o capim-indiano (*Cymbopogon flexuosus*), procedente do Horto de Plantas Medicinais do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras. As amostras foram cortadas transversalmente com 0,2 m de comprimento, posteriormente secadas em secador de laboratório a temperatura aproximada de 45 °C até peso constante, e colocadas em sachês telados confeccionados em material plástico, previamente pesados, sendo que cada teste foi realizado com duas replicatas. O teor de água inicial das amostras foi determinado a partir do método da estufa com temperatura de 105 ± 3°C por 24 horas, conforme as Normas Analíticas (Instituto Adolfo Lutz, 1985), pelo método gravimétrico. As temperaturas dos experimentos foram obtidas a partir das regulagens da câmara e estufa, e a umidade relativa a partir das soluções utilizadas, sendo as temperaturas experimentadas de 20°C, 30°C, 55°C e 70°C, por 96 horas (obtido por meio de teste). As soluções utilizadas para o experimento e suas respectivas umidades relativas de equilíbrio em função da temperatura do ar ambiente estão dispostas na Tabela 01 (GREENSPAN, 1977).

TABELA 01. Umidade relativa de equilíbrio (%) de soluções salinas saturadas.

Temperatura (°C)	Sais	UR (%)
20	Cloreto de Magnésio	MgCl ₂
	Cloreto de lítio	LiCl
	Cloreto de Potássio	KCl
	Nitrato de Magnésio	Mg(NO ₃)
	Acetato de potássio	CH ₃ COOK
30	Cloreto de Magnésio	MgCl ₂
	Cloreto de lítio	LiCl
	Cloreto de Potássio	KCl
	Nitrato de Magnésio	Mg(NO ₃)
	Acetato de potássio	CH ₃ COOK
55	Cloreto de lítio	LiCl
	Cloreto de Potássio	KCl
	Brometo de sódio	NaBr
	Cloreto de Magnésio	MgCl ₂
70	Cloreto de lítio	LiCl
	Cloreto de Potássio	KCl

Os modelos matemáticos obtidos na literatura e representativos da higroscopicidade de produtos agrícolas, utilizados para análise de capim-indiano, foram escolhidos aleatoriamente em função da avaliação da temperatura e umidade relativa do ar ambiente, para a verificação do que melhor se ajustasse à realidade empírica do produto, de maneira a melhor representar sua isoterma. Os modelos utilizados são apresentados na Tabela 02.

TABELA 02. Modelos matemáticos usados para a representação do equilíbrio higroscópico

Modelo	Equação	
Chung Pfost	$U_e = a - b \cdot \ln[-(T + c) \cdot \ln(UR)]$	(1)
Copace	$U_e = \exp[a - (b \cdot T) + (c \cdot UR)]$	(2)
GAB Modificado	$U_e = \frac{ab(c/T)UR}{\{[1 - b UR][1 - b UR + b(c/T)UR]\}}$	(3)
Halsey Modificado	$U_e = [\exp(a - bT) / - \ln(UR)]^{1/c}$	(4)
Henderson	$U_e = [\ln(1 - UR) / (- a \cdot T_{abs})]^{1/b}$	(5)
Henderson Modificado	$U_e = \{\ln(1 - UR) / [- a \cdot (T + b)]\}^{1/c}$	(6)
Oswin	$U_e = (a - b \cdot T) / [(1 - UR) / UR]^{1/c}$	(7)
Sabbab	$U_e = a (UR^b / T^c)$	(8)
Sigma Copace	$U_e = \exp \{a - (bT) + [c \exp(UR)]\}$	(9)
GAB	$U_e = (a \cdot b \cdot c \cdot UR) / [(1 - c \cdot UR) (1 - c \cdot UR + b \cdot c \cdot UR)]$	(10)
BET Modificado	$U_e = (a \cdot b \cdot UR) / \{1 - (c \cdot UR) * [1 + (b - c) \cdot UR]\}$	(11)
Smith	$U_e = a - (b \cdot T) - c \cdot \ln(1 - UR)$	(12)
Andrade	$U_e = \exp((a UR) + (T^b) + (((T - UR) / UR)^b))^c$	(13)

Onde, U_e : Teor de água do produto, b.s.; UR: Umidade relativa do ar, decimal; T: Temperatura do ar ambiente, °C; T_{abs} : Temperatura absoluta do ar ambiente, K; a, b, c: Parâmetros que dependem da natureza do produto.

Para estimar os parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais foi utilizado o programa STATISTICA versão 5.0, com modelagem não linear. Os dados experimentais foram comparados com os valores estimados por cada modelo, verificando-se a porcentagem de erro médio relativo (P) e erro médio estimado (SE), de acordo, respectivamente, com as equações a seguir (RYAN, 2009).

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - Y_0|}{Y} \quad (11)$$

$$SE = \sqrt{\sum \frac{(Y - Y_0)^2}{GLR}} \quad (12)$$

Onde,

Y: valor observado experimentalmente;

Y_0 : valor calculado pelo modelo;

n: número de observações experimentais;

GLR: graus de liberdade do modelo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na Tabela 02, estão apresentados os resultados das estimativas relacionadas às análises dos modelos de equilíbrio higroscópico verificados para o capim-indiano. Segundo TEIXEIRA, ANDRADE, & SILVA (2012) os modelos que não apresentam ajustes satisfatórios, em função dos dados experimentais, demonstram erro médio relativo (P) superior a 10%, não representando adequadamente o fenômeno analisado, além disso, é necessário que os valores de R^2 sejam próximos da unidade. Considerando a análise dos resultados de equilíbrio higroscópico capim-indiano, expostos na Tabela 03, observa-se que o Modelo de GAB Modificado foi o que melhor se adequou ao fenômeno, podendo, portanto, ser utilizado para representar o fenômeno em outras aplicações.

TABELA 03. Parâmetros estimados, coeficientes de determinação e erros médio relativo e estimado para cada modelo analisado.

	a	b	c	R ²	P (%)	SE (decimal)
Chung Pfoot	0,3989	0,0775	1,0931	92,4370	22,2871	0,0610
Copace	-2,1525	0,0166	1,6008	95,0180	25,1690	0,0618
Gab Modificado	0,4924	0,0877	352,7309	94,2140	9,2436	0,0315
Halsey Modificado	-3,6528	0,0366	2,2990	91,7600	30,2929	0,0738
Henderson	0,0792	1,9613		82,6370	31,8538	0,1225
Henderson Mod.	1,1964	-4,5665	2,0632	96,5700	18,7509	0,0434
Oswin	0,2264	-0,0022	3,0916	95,5130	22,2162	0,0618
Sabbah	1,9840	0,7293	0,5663	93,6820	11,7283	0,0282
Sigma Copace	-2,9035	0,0165	0,9033	91,9640	30,6119	0,0739
Gab	0,5899	125,2885	0,0072	77,8880	29,3022	0,0864
Bet Modificado	0,0038	119,5932	-0,0059	75,9540	28,7326	0,0854
Smith	0,1355	0,0019	0,1081	92,6640	25,2550	0,0775
Andrade	-2,0904	0,2941	-0,3575	96,6060	13,3646	0,0393

CONCLUSÕES: A partir dos estudos realizados pode-se concluir que o modelo de GAB Modificado foi o que melhor descreveu o teor de umidade de equilíbrio do capim-indiano. Foi obtido resultado satisfatório na análise do coeficiente de determinação (R²), erro médio relativo (P) e erro estimado (SE), podendo com isto utilizar estes coeficientes em outras aplicações.

REFERÊNCIAS:

CORRÊA FILHO, L. C. et al. Post-harvest of parsley leaves (*Petroselinum crispum*): Mathematical modelling of drying and sorption processes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 131-136, 2018.

DA SILVA, M. V. et al. Hygroscopic equilibrium of microencapsulated extract of passion fruit seed and its effect on the antioxidant capacity. **Journal of Food Process Engineering**, v. 41, n. 1, p. e12597, 2018.

GREENSPAN, L. et al. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. **Journal of research of the national bureau of standards**, v. 81, n. 1, p. 89-96, 1977.

RYAN, T. **Estatística Moderna para Engenharia**. 1^a. ed. [S.l.]: Elsevier, 2009.

STATISTICA FOR WINDOWS 5. **Computer program manual**. Tulsa: StatSoft, Inc., 2000.

TEIXEIRA, L. P. et al. Determinação do equilíbrio higroscópico e do calor isostérico do bagaço de cana-de-açúcar. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v. 35, n. 3, p. 555-566, 2015.