

MODELAGEM MATEMÁTICA DA DESSORÇÃO DE FEIJÃO DE CORDA**CAMPOS Renata Cássia¹, CORRÊA Paulo Cesar², LEITE Rildo Araújo³, FREITAS Rita Cristina Pereira de⁴, LISBOA Cristiane Fernandes⁵**

¹ Eng. De Alimentos, Mestranda em engenharia Agrícola DEA-UFV. Laboratório de Propriedades Físicas e Qualidade de Produtos Agrícolas do Centro Nacional de Treinamento e Armazenamento (CENTREINAR), Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Tel +55 31 99030935 renata.eal@hotmail.com

² Eng. Agrônomo, DS., Professor adjunto do DEA-UFV

³ Eng. Agrônomo e Agrícola, Pós-doutorando em Engenharia Agrícola DEA-UFV

⁴ Eng. Agrônomo, Doutora em Engenharia Agrícola DEA-UFV

⁵ Eng. Agrícola – UEG, Doutoranda em Engenharia Agrícola DEA-UFV

Apresentado no
XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2017
30 de julho a 03 de agosto de 2017 - Maceió - AL, Brasil

RESUMO: O processo de dessorção define-se como a capacidade que a maioria dos produtos agrícolas tem de ceder água para o meio ambiente, buscando sempre uma relação de equilíbrio entre ambos. O objetivo deste trabalho foi modelar a dessorção de grãos de feijão-de-corda. Utilizou-se grãos beneficiados, *Vigna unguiculata* L. Walp., adquiridos em mercado local. Foram colocadas 5 amostras de 15g no interior de dessecadores, os quais continham soluções saturadas de: cloreto de lítio, acetato de potássio, cloreto de magnésio, carbonato de magnésio e brometo de sódio. Eles foram mantidos em B.O.D's à temperaturas de: 30, 40 e 50°C. Foram estabelecidas umidades relativas que variaram de 11% a 83%. Periodicamente as amostras foram pesadas até se obter 3 pesagens consecutivas constantes. As curvas de dessorção de feijão foram modeladas em função da umidade de equilíbrio dos grãos usando modelos matemáticos: Chung-Pfoste, Halsey modificado, Copace, Copace 3, Copace 4, Henderson modificado, Sigma-Copace e Sigma-Copace II. Para o ajuste dos dados ao modelo matemático, foi utilizado Statística, versão 7. Para análise do grau de ajuste do modelo foram considerados magnitude do coeficiente de determinação, erro médio relativo, erro médio estimado e distribuição dos resíduos. O modelo matemático que melhor se ajustou foi Copace.

PALAVRAS-CHAVE: *Vigna unguiculata* L., curvas de sorção, propriedades físicas

MATHEMATICAL MODELING OF DESORPTION FROM FLAGEOLET *Vigna unguiculata* L., Walp.

ABSTRACT: The desorption process is defined as the ability of most agricultural products to give water to the environment, always seeking a balance between the two. The objective of this work was to model the desorption of bean grains. It was used grains benefited, *Vigna unguiculata* L. Walp., Acquired in local market. Five 15g samples were placed inside desiccators, which contained saturated solutions of: lithium chloride, potassium acetate, magnesium chloride, magnesium carbonate and sodium bromide. They were kept in B.O.D's at temperatures of: 30, 40 and 50 ° C. Relative humidities were established ranging from 11% to 83%. Periodically the samples were weighed until 3 constant consecutive weighings were obtained. Beans desorption curves were modeled as a function of grain moisture using mathematical models: Chung-Pfoste, Modified Halsey, Copace, Copace 3, Copace 4, Henderson modified, Sigma-Copace and Sigma-Copace II. For the adjustment of the data to the mathematical model, Statistic, version 7 was used. For analysis of the degree of fit of the model, it was considered the magnitude of the coefficient of determination, relative mean error, estimated mean error and distribution of residues. The mathematical model that best fit was Copace.

KEYWORDS: *Vigna unguiculata L.*, sorption curve, physical properties.

INTRODUÇÃO:

Todos os produtos agrícolas tem a capacidade de ceder ou absorver água do ambiente, tendendo a manter constantemente uma relação de equilíbrio entre seus teor de água e as condições do ar ambiente. O teor de água de equilíbrio é alcançado quando a pressão parcial de vapor de água no produto se iguala à do ar que o envolve (CORRÊA et al, 2005). Essas trocas podem acontecer por meio do ganho ou perda de água, fenômenos conhecidos como adsorção e dessorção (BROOKER et al, 1992).

A isoterma é uma curva que descreve, em um teor de água específico, a relação de equilíbrio de uma quantidade de água sorvida por componentes do material biológico e a pressão de vapor ou umidade relativa, a uma dada temperatura (PARK et al, 2001).

A utilização de equações matemáticas para estimar o teor de água no equilíbrio higroscópico apresenta vantagem de predição de valores de atividade de água do produto em condições ambientais de difícil determinação experimental (RESENDE et al, 2006).

Considerando a importância do conhecimento da higroscopicidade dos produtos agrícolas, o presente trabalho teve como objetivo determinar as isotermas de dessorção para diferentes considerações de temperatura e atividade de água, e ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais, selecionando aquele que melhor represente o fenômeno da dessorção do feijão de corda.

MATERIAL E MÉTODOS:

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Propriedades Físicas e Qualidade de Produtos Agrícolas pertencente ao Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (CENTREINAR), localizado no campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa – Minas Gerais (MG).

Utilizou-se grãos beneficiados, *Vigna unguiculata L. Walp.*, adquiridos em mercado local. Foram colocadas 5 amostras de 15g no interior de dessecadores, os quais continham soluções saturadas de: cloreto de lítio, acetato de potássio, cloreto de magnésio, carbonato de magnésio e brometo de sódio. Eles foram mantidos em B.O.D's à temperaturas de: 30, 40 e 50°C. Foram estabelecidas umidades relativas que variaram de 11% a 83%. Periodicamente as amostras foram pesadas até se obter 3 pesagens consecutivas constantes.

Aos dados observados do equilíbrio higroscópico obtidos para cada condição de temperatura e umidade relativa, foram ajustados modelos comumente utilizados para a descrição de fenômenos de sorção de produtos agrícolas. Os modelos utilizados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos matemáticos para a representação das curvas de equilíbrio higroscópico

Descrição do modelo	Modelo	Equação
Copace	$U_e = \exp[(a - bT) + c.UR]$	1
Copace 3	$U_e = \exp(a + b/T + c.UR^3)$	2
Copace 4	$U_e = 1/[a + b.\log(UR)]$	3
Sigma-Copace	$U_e = \exp\{a - bT + [c.\exp(UR)]\}$	4
Sigma-Copace II	$U_e = 1/(aTb + UR.c)$	5
Henderson-Modificado	$U_e = \{\log(1-UR)/[-a(T + b)]\}^{1/c}$	6
Halsey-Modificado	$U_e = \{\exp(a - bT)/[-\ln(UR)]\}^{1/c}$	7
Chung-Pfoste	$U_e = a - b.\ln[(c - t).\ln(UR)]$	8

Onde:

U_e: teor de água no equilíbrio, kg_a.kg_{ms}⁻¹;

UR: atividade da água, decimal;

a, b e c: parâmetros de ajuste dos modelos
T: temperatura em °C.

Os dados experimentais do equilíbrio higroscópico do feijão de corda foram submetidos à análise de regressão não-linear pelos métodos Gauss-Newton e Simplex & Quase-Newton e à seleção do modelo adequado para expressar a relação entre as variáveis estudadas. Para o ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais, foi utilizado o programa Statistica 7.0.

Para análise do grau de ajuste de cada modelo, foram consideradas as magnitudes do coeficiente de determinação (R^2), do erro médio relativo (P) (Equação 9) e do erro médio estiado (SE) (Equação 10) e grau de dispersão de resíduos.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - \hat{Y}_i|}{Y_i} \quad (\text{Eq.9})$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{GLR}} \quad (\text{Eq.10})$$

em que:

Y_i = valor observado; \hat{Y}_i = valor estimado; n = número de dados observados; e

GLR = graus de liberdade do resíduo (número de dados observados menos o número de parâmetros do modelo).

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Na Tabela 2 estão apresentados as estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados aos dados de teor de água no equilíbrio higroscópico de feijão de corda, nos diferentes níveis, para diferentes condições de temperatura e umidade relativa do ar, assim como seus respectivos valores de R^2 , P, SE e tendenciosidade medida pelo grau de dispersão de resíduos.

Tabela 2. Estimativas dos parâmetros dos modelos de equilíbrio higroscópico de feijão de corda, com seus respectivos R^2 , SE, P e tendência dos resíduos.

Modelos	Estimativas dos parâmetros	R^2	SE	P(%)	Tendência
Copace	a = 1,7871	0,997	1,078	2,845	Aleatório
	b = 0,0046				
	c = 0,0046				
Copace 3	a = 1,9411	0,880	4,041	13,947	Tendencioso
	b = 8,5232				
	c = 1,3966				
Copace 4	a = 0,5416	0,000	47,942	96,133	Tendencioso
	b = 0,3554				
Sigma-Copace	a = 1,1014	0,994	1,600	5,298	Tendencioso
	b = 0,0050				
	c = 0,9172				
Sigma-Copace II	a = 0,0282	0,023	15,036	46,708	Tendencioso
	b = 0,2673				
	c = 235,3959				
Henderson-Modificado	a = $5,53 \cdot 10^{-5}$	0,996	1,319	4,144	Aleatório
	b = 75,7405				
	c = 1,8782				
Halsey-Modificado	a = 84,235	0,025	52,3	69	Tendencioso
	b = 32,458				
	c = -3,2516				

	$a = 36,1316$				
Chung-Pfoste	$b = 6,0062$	0,998	1,078	2,845	Tendencioso
	$c = -40,9764$				

Conforme Draper e Smith (1998), a capacidade do modelo para descrever fielmente um processo físico é inversamente proporcional aos valores de SE. Além disso, Ozdemir e Devres (1999) afirmam que os modelos que tem valores de P superiores a 10% e apresentam distribuição tendenciosa dos resíduos não são bons para prever o fenômeno. Sendo assim o modelo Copace apresentou-se como o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais de feijão de corda. Na Figura 1 estão representadas as isotermas de dessecção segundo a equação Copace.

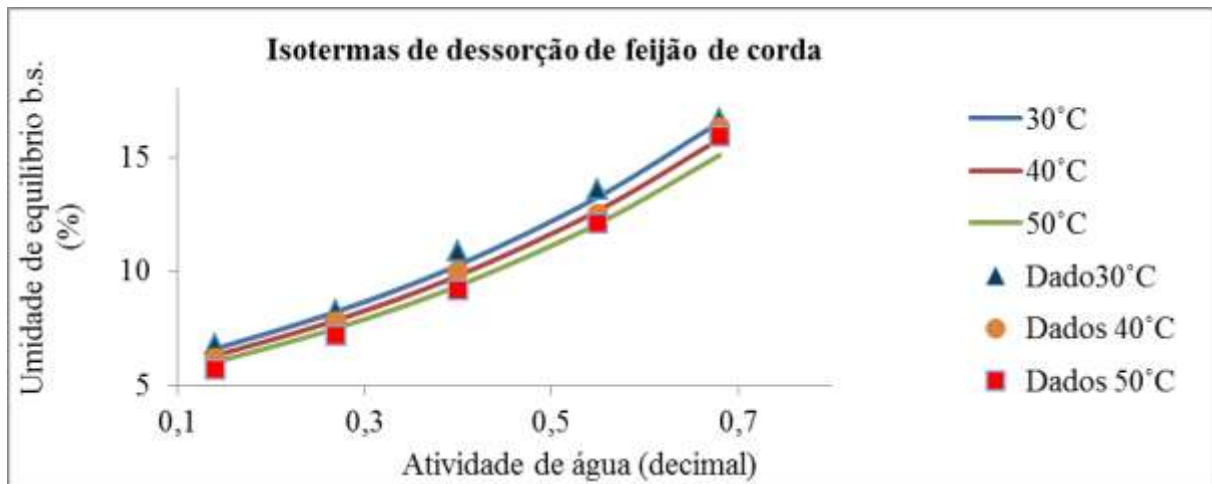


Figura 1. Isotermas de dessecção de feijão de corda segundo o modelo matemático Sigma-Copace e dados experimentais

Na Figura 1, verifica-se o efeito da temperatura sobre as isotermas de dessecção de feijão de corda. Considerando um valor constante de atividade de água, ocorre redução do teor de água no equilíbrio com o aumento da temperatura.

CONCLUSÕES:

Baseando-se em parâmetros estatísticos, o modelo Copace pode ser utilizado para prever a higroscopicidade para a sorção de feijão de corda, quando comparado aos demais modelos testados. O teor de água do feijão de corda é diretamente proporcional à umidade relativa do ar ambiente e decresce com o aumento de temperatura para um valor constante de umidade relativa.

REFERÊNCIAS

- BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. *Drying and storage of grains and oilseeds*. New York: van Nostrand Reinhold, p. 450, 1992.
- CORREA, P. C.; RESENDE, O.; RIBEIRO, D. M. Isotermas de sorção das espigas de milho: obtenção e modelagem. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo, Sete lagoas*, v. 4, n. 1, p. 126-134, 2005.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. *Applied regression analysis*. Weley series in probability and mathematical statistics. New York: John Wiley & Sons, 1998.
- OZDEMIR, M.; DEVRES, Y.O. The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. *Journal of Food Engineering, London*, v. 42, p. 225-233. 1999.
- PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra barlett (*Pyrus sp.*) com e sem desidratação osmótica. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Campinas, v. 21, n. 1, p. 73-77, 2001.