

## ISOTERMAS DE SORÇÃO EM GRÃOS DE ARROZ EM CASCA

JULIANA SOARES ZEYMER<sup>1</sup>, PAULO CESAR CORRÊA<sup>2</sup>, GABRIEL HENRIQUE HORTA DE OLIVEIRA<sup>3</sup>, FERNANDA MACHADO BAPTESTINI<sup>4</sup>, RITA CRISTINA PEREIRA DE FREITAS<sup>5</sup>

<sup>(1)</sup> Engenheira Agrônoma, Mestranda em Engenharia Agrícola, 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 - MG. Fone: (0XX31)38992030, jujuszeymer@gmail.com

<sup>(2)</sup> Engenheiro Agrônomo, Prof. Doutor no Departamento de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa - MG

<sup>(3)</sup> Engenheiro Agrícola e Ambiental, Prof. Pós-Doutor no Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais, Manhuaçu-MG

<sup>(4)</sup> Engenheira Agrícola e Ambiental, Prof. Pós-Doutora no Departamento de Engenharia Rural, UFES, Alegre - ES

<sup>(5)</sup> Engenheira Agrônoma, Doutora em Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa - MG

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

**RESUMO:** A avaliação das alterações do teor de água de produtos agrícolas devido às condições ambientais é de extrema importância para que se conheçam as interações entre as moléculas de água e os constituintes do produto, relacionando-se diretamente com os processos pós-colheita. Dito isto, este trabalho teve como objetivo avaliar diferentes modelos matemáticos para prever as isotermas de sorção (dessorção e adsorção) em grãos de arroz em casca. Para a obtenção do equilíbrio higroscópico dos grãos, foi empregado o método estático-gravimétrico, em diferentes condições de temperatura (10, 20, 30, 40 e 50 ± 1 °C) e umidade relativa (10, 30, 50, 70, 90 ± 2 %). Os dados do teor de água de equilíbrio foram correlacionados com seis modelos matemáticos, sendo que o modelo de Chung Pfof foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, apresentando valores de 5,16 e 5,99 % b.s. de erro médio relativo (MRE); 0,49 e 0,45 (decimal) de desvio padrão da estimativa (SDE), para dessorção e adsorção, respectivamente, além de maior coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e distribuição aleatória dos resíduos. O teor de água de equilíbrio, para uma temperatura constante, decresceu de acordo com a redução da atividade de água.

**PALAVRAS-CHAVE:** dessorção; adsorção; teor de água de equilíbrio

### MATHEMATICAL MODELING OF HYGROSCOPIC EQUILIBRIUM OF ROUGH RICE GRAINS

**ABSTRACT:** Evaluation of moisture content alterations of agricultural products due to environmental conditions is extremely important to understand the interactions between the water molecules and the constituents of the product, directly related to the post-harvest processes. Being that stated, this work aimed to evaluate different mathematical models to predict sorption isotherms (desorption and adsorption) in rough rice grains. Static-gravimetric method was used to obtain the equilibrium moisture content of grains, in different temperature conditions (10, 20, 30, 40 and 50 ± 1°C) and relative humidity (10, 30, 50, 70 and 90 % ± 2%). The equilibrium moisture content data were correlated with six mathematical models, and the Chung Pfof model best fitted the experimental data, presenting values of 5.16 and 5.99 % of mean relative error (MRE); 0.49 e 0.45 (decimal) of standard deviation of the

estimate (SDE), for desorption and adsorption, respectively, along with higher determination coefficient ( $R^2$ ) and random residual plots. Equilibrium moisture content, for a constant temperature, decreased with water activity decrease.

**KEY WORDS:** desorption; adsorption; equilibrium moisture content

**INTRODUÇÃO:** Os grãos de arroz em casca, assim como inúmeros outros tipos de produtos agrícolas, são higroscópicos e possuem a capacidade de ceder ou absorver água do ambiente. Se o teor de água aumenta, eleva-se também a taxa respiratória do grão, e o risco de desenvolvimento de fungos torna-se maior, comprometendo a qualidade do produto. Por outro lado, a redução do teor de água promove perdas econômicas devido à perda de massa do produto (Yazdani et al., 2006). Essas mudanças no teor de água ocorrem até que o produto entre em equilíbrio com as condições do ar que o circunda, sendo um fenômeno constantemente observado para o arroz. O uso de modelos matemáticos é imprescindível, pois relatam o teor de água de equilíbrio do produto em determinada condição ambiental, sem a necessidade de realizar testes onerosos e demorados. Além disso, em conjunto com a estimativa de tempo, pode-se antever o que poderá ocorrer com os grãos armazenados, sendo informação importante para a tomada de decisão do profissional responsável (Corrêa et al., 2016). Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais dos grãos de arroz em casca, de modo a prever as isotermas obtidas na dessorção (perda de água) e na adsorção (ganho de água).

**MATERIAL E MÉTODOS:** O trabalho foi realizado no Laboratório de Propriedades Físicas e Avaliação da Qualidade de Produtos Agrícolas, pertencente ao Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem, localizado na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. Foram utilizados grãos de arroz irrigado, variedade Urucuia, processado em casca, provenientes da Fazenda Experimental da EPAMIG, região do Sul de Minas Gerais, colhidos manualmente com teor de água de 0,28 (b.s.), sendo estes utilizados para análise do processo de dessorção. Para o processo de adsorção, os grãos foram desidratados em estufa à temperatura de 40°C até o teor de água de 0,17 (b.s.). Para obtenção do teor de água de equilíbrio pelo método estático, foram construídas cinco isotermas, nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 ± 1 °C combinadas com umidades relativas de 10, 30, 50, 70 e 90 % ± 2%, em triplicata. No final de cada processo de sorção, o teor de água de equilíbrio de cada amostra foi determinado pelo método gravimétrico, em estufa com circulação forçada de ar, a 105 ± 1 °C por 24 h em três repetições (Brasil, 2009). Aos dados experimentais do teor de água de equilíbrio higroscópico dos grãos de arroz em casca, foram ajustados seis modelos matemáticos frequentemente utilizados para representar a higroscopicidade de produtos agrícolas.

Tabela 1. Modelos matemáticos de equilíbrio higroscópico dos grãos de arroz em casca

Nome do modelo	Modelo	Número da equação
Henderson Modificado	$U_e = \{\ln(1-A_w)/[-a(T+b)]\}^{1/c}$	(1)
Halsey Modificado	$U_e = \{\exp(a-bT)/[-\ln(A_w)]\}^{1/c}$	(2)
Oswin Modificado	$U_e = (a+bT)/[(1-A_w)/A_w]^{1/c}$	(3)
Copace	$U_e = \exp[a-(bT)+(cA_w)]$	(4)
Chung PPost	$U_e = a-b\ln[-(T+c)\ln(A_w)]$	(5)
Smith	$U_e = a-(bT)-c\ln(1-A_w)$	(6)

Em que:  $U_e$  – teor de água de equilíbrio, (% b.s.);  $A_w$  – atividade de água (decimal); T – temperatura (°C); a, b e c – parâmetros de ajuste dos modelos utilizados.

O ajuste dos modelos matemáticos foi realizado por meio de regressão não linear pelo método Gauss-Newton, utilizando o software Statística 7.0<sup>®</sup>. Para verificar o grau de ajuste de cada modelo foram consideradas as magnitudes do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), desvio padrão da estimativa (SDE), erro médio relativo (MRE) e distribuição dos resíduos.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** De modo geral, quanto menores forem as magnitudes do erro médio relativo (MRE) e do desvio padrão da estimativa (SDE), melhor o ajuste do modelo aos dados observados experimentalmente (Rosa et al., 2010). O coeficiente de determinação deve ser superior a 96% (Kashaninejad et al., 2007), e os valores residuais do modelo devem formar distribuições aleatórias (Corrêa et al., 2014). Desta forma, analisando os instrumentos estatísticos utilizados neste estudo, observou-se que o modelo de Chung Pfof foi o que, em geral, melhor se ajustou aos dados experimentais, sendo o modelo escolhido para representar a higroscopicidade dos grãos de arroz em casca. Segundo Ulmann et al. (2016), o modelo de Chung Pfof vem sendo utilizado tradicionalmente para produtos amiláceos. Na Tabela 2 estão apresentados os parâmetros do modelo de Chung Pfof, ajustado aos dados de equilíbrio higroscópico dos grãos de arroz em casca, obtidos por dessorção e adsorção, com seus respectivos valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), desvio padrão da estimativa (SDE), erro médio relativo (MRE) e análise da distribuição dos resíduos.

Tabela 2. Estimativas dos parâmetros do modelo de Chung Pfof, obtidos por adsorção e dessorção, para grãos de arroz em casca

Modelo	Dessorção	Adsorção
Chung Pfof	a = 37,41332	a = 35,93673
	b = 6,23300	b = 6,08728
	c = 49,64200	c = 50,48329
	$R^2$ (%) = 99,60	$R^2$ (%) = 99,64
	SDE (decimal) = 0,49	SDE (decimal) = 0,45
	MRE (%) = 5,16	MRE (%) = 5,99
	Resíduos aleatórios	Resíduos aleatórios

Nas Figuras 1 e 2, são apresentados os resultados experimentais do teor de água de equilíbrio dos grãos de arroz em casca, obtidos por dessorção e adsorção, bem como suas isotermas determinadas pelo modelo de Chung Pfof.

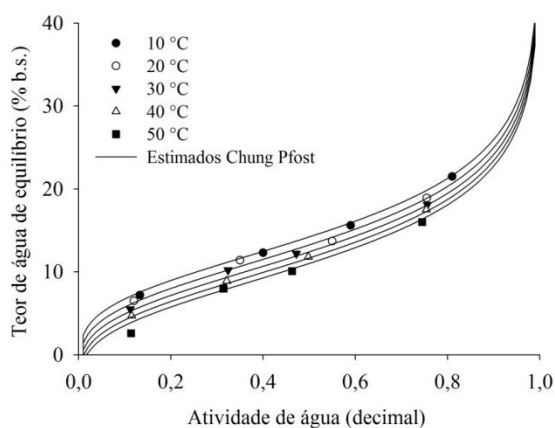


Figura 1. Isotermas de dessorção estimadas pelo modelo de Chung Pfof

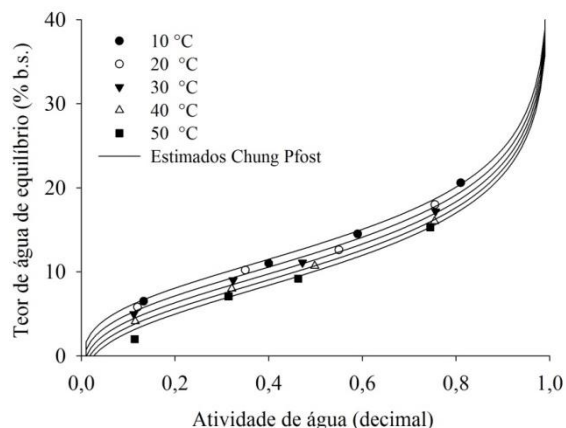


Figura 2. Isotermas de adsorção estimadas pelo modelo de Chung Pfof

Analisando as Figuras 1 e 2, verifica-se a influência da temperatura sobre as isotermas de dessorção e adsorção dos grãos de arroz em casca, uma vez que, com o aumento da temperatura, para um valor constante de atividade de água, ocorre redução do teor de água de equilíbrio. Segundo Mazza & LeMaguer (1980), esta tendência se deve à redução no número de locais de sorção ativos para a ligação da água, como resultado de mudanças físicas e químicas no produto induzidas pela temperatura. Segundo Mohsenin (1986), ao passo que ocorre um incremento na temperatura, a vibração das moléculas sofre um aumento, elevando a distância entre estas, diminuindo assim a atração entre as moléculas, fazendo com que a quantidade de água sorvida mude à medida que ocorre variação na temperatura a uma dada umidade relativa.

**CONCLUSÕES:** Baseando-se nas análises estatísticas, o modelo de Chung Pfof é o que melhor representa a higroscopicidade dos grãos de arroz em casca, para os processos de dessorção e adsorção, quando comparados aos outros modelos testados; o teor de água de equilíbrio dos grãos de arroz em casca é diretamente proporcional à umidade relativa e reduz com o aumento da temperatura, para um mesmo valor de atividade de água.

## REFERÊNCIAS:

- BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Regras para análises de sementes**. Brasília, 2009. 399 p.
- CORRÊA, P.C.; BOTELHO, F.M.; BOTELHO, S.C.C.; GONELI, A.L.D. Isotermas de sorção de água de frutos de *Coffea canephora*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, p.1047-1052. 2014.
- CORRÊA, P.C.; OLIVEIRA, G.H.H.; OLIVEIRA, A.P.L.R.; GONELI, A.L.D.; BOTELHO, F.M. Isotermas de dessorção de sementes de beterraba. **Engenharia na Agricultura**, v.24, p.15-21, 2016.
- 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.
- ROSA, G.S.; MORAES, M.A.; PINTO, L.A.A. Moisture sorption properties of chitosan. **Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie, Suíça**, v.43, p.415-420. 2010.
- MAZZA, G.; LEMAGUER, M. Dehydration of onion: some theoretical and practical considerations. **Journal of Food Technology**, v.15, p.181-194, 1980.
- MOHSENIN, N.N. Physical properties of plant and animal materials. New York: Gordon and Breach Publishers, 1986. 841p.
- ULLMAN, R.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D.E.C.; COSTA, L.M.; CHAVES, T.H. Higroscopicidade das sementes de sorgo-sacarina. **Engenharia Agrícola**, v.36, p.515-524, 2016.
- YAZDANI, M.; SAZANDEHCHI, P.; AZIZI, M.; GHOBADI, P. Moisture sorption isotherms and isosteric heat for pistachio. **European Food Research Technology**, v.223, p.577-584, 2006.