

ISOTERMAS DE SORÇÃO DE GRÃOS DE FEIJÃO COM DANIFICAÇÃO MECÂNICA INDUZIDA

RENATA CÁSSIA CAMPOS¹, JULIANA SOARES ZEYMER², PAULO CESAR CORRÊA³, BRENDA RIBEIRO MOURA⁴, CRISTIAN COSTA FERNADES⁵

⁽¹⁾ Engenheira de Alimentos, Doutoranda 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, renata.eal@hotmail.com

⁽²⁾ Engenheira Agrônoma, Mestranda no Departamento de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa - MG

⁽³⁾ Engenheiro Agrônomo, Prof. Doutor Adjunto no Departamento de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa - MG

⁽⁴⁾ Graduanda em Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa - MG

⁽⁵⁾ Graduando em Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa - MG

Apresentado no
XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2016
24 a 28 de julho de 2016 - Florianópolis - SC, Brasil

RESUMO: O nível de danificação mecânica influencia diretamente nas diversas operações do processamento às quais os grãos são submetidos, destacando-se a secagem (dessorção), adsorção e absorção de água. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da danificação mecânica nas isotermas de sorção de grãos de feijão com danificação mecânica induzida, em diferentes condições de temperatura e umidade relativa. Foram utilizados grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) colhidos manualmente com teor de água de 35% (b.u.). Parte desse produto foi submetido à danificação mecânica induzida e a secagem controlada (amostra danificada e testemunha), para os processos de sorção. As isotermas de sorção da água foram analisadas para diferentes condições de temperatura: 20, 30, 40 e 50 °C; e umidade relativa: 0,3; 0,4; 0,5; 0,7 e 0,9 (decimal). Os dados de teor de água de equilíbrio foram correlacionados com seis modelos matemáticos, sendo que o modelo Oswin Modificado foi o que mais se ajustou aos dados experimentais.

PALAVRAS-CHAVE: danos mecânicos, equilíbrio higroscópico, histerese.

BEAN GRAIN SORPTION ISOTHERMS WITH MECHANICAL DAMAGE INDUCED

ABSTRACT: The mechanical damage level directly influence the various processing operations to which the grains are subjected highlighting drying (desorption), adsorption and absorption of water. This study aimed to evaluate the effect of mechanical damage in sorption isotherms beans with mechanical damage induced under different conditions of temperature and relative humidity. They were used beans (*Phaseolus vulgaris* L.) harvested manually with 35% water content (w.b.). Part of this product was subjected to induced mechanical damage and controlled drying (damaged and witness sample), for sorption processes. The sorption isotherms of water were analyzed for different temperature conditions: 20, 30, 40 and 50 °C; and relative humidity: 0.3; 0.4; 0.5; 0.7 and 0.9 (decimal). Equilibrium water content data were correlated to six mathematical models, and the model Modified Oswin was the most fit to the experimental data.

KEY WORDS: mechanical damage, equilibrium moisture content, hysteresis.

INTRODUÇÃO: A semente de feijão é muito suscetível a danificações mecânicas por possuir formato reniforme e tegumento tênue. O nível dessa danificação influencia diretamente nas diversas operações do processamento de grãos, destacando-se a secagem, adsorção e absorção de água. Para a mesma condição de temperatura e umidade relativa do ar, o teor de água de equilíbrio alcançado pela maioria dos produtos agrícolas submetidos a um processo de adsorção é inferior ao de dessorção (Goneli, 2008). A diferença entre o teor de água de equilíbrio alcançado na dessorção e na adsorção é denominado histerese (Wolf et al., 1972). Devido a esse fenômeno é importante que as isotermas de equilíbrio sejam determinadas tanto para ambos os processos. As isotermas de sorção podem ser obtidas por meio de modelos matemáticos, os quais têm sido estudados por vários pesquisadores (Silva, 2015; Correa, 2014; Paglarini, 2013; Sousa, 2013; Costa, 2011). Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o efeito da danificação mecânica nas isotermas de sorção de grãos de feijão com danificação mecânica induzida, em diferentes condições de temperatura e umidade relativa.

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 feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) do grupo vermelho, colhidos e debulhados manualmente, com aproximadamente 35% de teor de água (b.u.). Uma parte desses grãos foi utilizada para a obtenção das isotermas de dessorção. A parte restante do produto foi submetida à secagem em temperatura controlada de 40 °C até o teor de água de 5% (b.u), para que o mesmo fosse submetido, posteriormente, ao processo de adsorção. Os teores de água do produto foram determinados pelo método da estufa, à 105 ± 1°C, durante 24h, em três repetições (Brasil, 1992). Para a indução da danificação mecânica nos grãos de feijão, foi utilizado o aparelho Stein Breakage Tester, modelo CK2-M. O nível de danificação foi avaliado através de um condutivímetro portátil da marca Digimed, modelo DM3. Para obtenção do teor de água de equilíbrio higroscópico pelo método estático, os grãos foram colocados no interior de uma câmara climática. As temperaturas utilizadas foram de 20, 30, 40 e 50 ± 1 °C combinadas com umidades relativas de 30, 40, 50, 70 e 90 ± 3%. Foram efetuadas três repetições para cada condição. Aos dados observados do equilíbrio higroscópico obtidos para cada condição de temperatura e umidades relativas foram ajustados modelos matemáticos comumente utilizados para descrição dos fenômenos de sorção em produtos agrícolas, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Modelos matemáticos para representação das isotermas de sorção

Designação do modelo	Modelo
Oswin Modificado	$U_e = (a+bt)/[(1-A_w)/A_w]^{1/c}$ (1)
Henderson-Modificado	$U_e = \{\ln(1-A_w)/[-a(T+b)]\}^{1/c}$ (2)
Halsey-modificado	$U_e = \{\exp(a-bT)/[-\ln(A_w)]\}^{1/c}$ (3)
Sigma-Copace	$U_e = \exp\{a-(bT)+[c \exp(A_w)]\}$ (4)
Chung-Pfoste	$U_e = a-b.\ln[(c-T).\ln(A_w)]$ (5)
GAB	$U_{ee} = abc.A_w/[(1-c.A_w)(1-cA_w+bcA_w)]$ (6)

Em que U_e é o teor de água de equilíbrio em %, b.s.; A_w é a atividade de água em decimal; T é a temperatura em °C; a, b, e c são coeficientes que dependem do produto.

O ajuste dos modelos matemáticos foi realizado por meio de regressão não linear pelo método Gauss-Newton, utilizando o software Statística 7.0[®]. Para verificar o grau de ajuste de cada modelo foram consideradas as magnitudes do coeficiente de determinação (R^2), desvio padrão da estimativa (SE) e erro médio relativo (P).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A amostra de feijão testemunha e a submetida à danificação mecânica induzida apresentaram valores médios de condutividade elétrica dos exudados de $29,88 \mu\text{Scm}^{-1}\text{g}^{-1}$ e $152,38 \mu\text{Scm}^{-1}\text{g}^{-1}$, respectivamente, provando assim que a danificação mecânica induzida apresentou resultado satisfatório. Para todas as condições de temperatura e umidade relativa do ar, o teor de água dos grãos danificados foi menor. Além disso, para o aumento da pressão de vapor do ar ambiente, a diferença entre os valores de teor de água para os grãos danificados e testemunha tendem a diminuir, conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios para o teor de água de equilíbrio (% b.s.) dos grãos de feijão, para ambas as amostras, obtidos por dessorção, em função da temperatura (°C) e atividade de água do ar ambiente (decimal)

	Temperatura (°C)	Atividade de água do ar ambiente (decimal)				
		0,3	0,4	0,5	0,7	0,9
20	Testemunha	-	12,27	13,20	19,26	-
	Danificado	-	11,89	12,94	18,41	-
30	Testemunha	9,44	10,53	12,61	16,85	32,24
	Danificado	9,19	10,25	11,83	16,06	31,20
40	Testemunha	7,72	8,56	11,00	16,48	33,01
	Danificado	7,79	8,50	10,59	15,95	32,59
50	Testemunha	7,44	8,53	9,50	15,23	28,94
	Danificado	7,46	8,12	9,36	14,50	28,40

Na Tabela 3, observa-se que, para a maioria das condições apresentadas, o teor de água obtido pelo processo de adsorção dos grãos de feijão submetidos à danificação mecânica induzida foi maior. Semelhantemente ao processo de dessorção, para o aumento da pressão de vapor do ar ambiente, a diferença entre os valores de teor de água para os grãos danificados e testemunha tendem a diminuir, mascarando os teores de água de equilíbrio dos grãos danificados.

Tabela 3. Valores médios para o teor de água de equilíbrio (%b.s.) dos grãos de feijão, para ambas as amostras, obtidos por adsorção, em função da temperatura (°C) e atividade de água do ar ambiente (decimal).

	Temperatura (°C)	Atividade de água do ar ambiente (decimal)				
		0,3	0,4	0,5	0,7	0,9
20	Testemunha	-	10,18	10,18	17,53	-
	Danificado	-	10,40	10,78	17,48	-
30	Testemunha	7,28	8,50	11,10	15,72	31,26
	Danificado	7,78	9,16	11,41	15,58	29,73
40	Testemunha	6,48	7,66	10,13	15,54	30,73
	Danificado	7,10	7,88	10,19	15,74	30,24
50	Testemunha	6,67	7,64	8,92	15,22	27,99
	Danificado	6,72	7,82	9,26	15,86	27,94

Os modelos matemáticos utilizados apresentaram valores de coeficientes de determinação (R^2) superiores a 95%, valores reduzidos do desvio padrão da estimativa (SE) e erro médio relativo (P) inferior a 10%, indicando boa adequação dos modelos em explicar o fenômeno em estudo. A seleção do modelo que melhor representasse a higroscopicidade dos grãos foi feita baseando-se na aleatoriedade da distribuição dos resíduos e na menor magnitude do desvio-padrão da estimativa (SE). Verificou-se que para grãos submetidos ao processo de dessecamento, os modelos Oswin Modificado e Halsey Modificado foram os que melhor se ajustaram estatisticamente aos dados experimentais. Para grãos submetidos ao processo de adsorção, observou-se que os modelos Oswin Modificado, Halsey Modificado e Sigma-Copace foram os que melhor se ajustaram estatisticamente aos dados experimentais.

CONCLUSÕES: Os grãos submetidos à danificação mecânica induzida apresentaram valores superiores de teor de água de equilíbrio, comparados aos grãos intactos, nas mesmas condições de temperatura e umidade relativa. Baseando-se nas análises estatísticas, o modelo de Oswin Modificado é o que melhor representa a higroscopicidade dos grãos de feijão para os processos de dessecamento e adsorção, quando comparado aos outros modelos que foram estudados.

AGRADECIMENTOS: Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão de auxílio financeiro e pelo incentivo à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- BRASIL - Ministério da Agricultura e reforma Agrária. **Regras para análise de sementes.** Brasília, SNDA/DNDV/CLAV, 1992.365p.
- CORREA, P. C.; BOTELHO, F. M.; BOTELHO, S. C. C.; GONELI, A. L. D.. Isoterma de sorção de água de frutos de *Coffea canéfora*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 10, p.1047-1052. 2014.
- COSTA, L. M.; RESENDE, O.; SOUSA, K. A.; GONÇALVES, D. Coeficiente de difusão efetivo e modelagem matemática da secagem de sementes de crame. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15 n.10 Campina Grande. 2011.
- GONELI, A. L. D. **Variação das propriedades físico-mecânicas e da qualidade da mamona (*Ricinus communis* L.) durante a secagem e armazenamento.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 2008. Tese Doutorado.
- PAGLARINI, C. S.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; PIASSON, D.; SANTOS, P. Histerese das isotermas de sorção da polpa de manga (*Mangifera indica* L.) variedade manteiga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p.299-305. Campina Grande. 2013.
- SILVA, H. W.; COSTA, L. M.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C; SOARES, R. S.; VALE, L. S. R. Higroscopicidade das sementes de pimenta (*Capsicum chinense* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n. 8, p.780-784, 2015.
- SOUZA, K. A. de; RESENDE, O.; COSTA, L. M. Isotermas de dessecamento das sementes de nabo forrageiro obtidas pelos métodos dinâmico e estático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.216-222, 2013.
- WOLF, M.; WALKER, J. E.; KAPSALIS, J. G. Water sorption hysteresis in dehydrated food. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v.20, p.1073-1077, 1972.