

PROPRIEDADES FÍSICAS DE GRÃOS DE TRIGO MOURISCO (*FAGOPYRUM ESCULENTUM* MOENCH) DURANTE A SECAGEM

Autores: Celizangela Gonçalves Pereira¹; Valdiney Cambuy Siqueira¹; Wellytton Darci Quequeto¹; Rafael Araujo Leite¹; Débora Marchiori Calça¹.

¹Universidade Federal da Grande Dourados.

Resumo: O trigo mourisco é uma cultura com alto valor nutricional, tendo grande importância em relação a alimentação humana, pois sua farinha não contém glúten. Substância essa, não aceita pelo organismo de pessoas celíacas, porém há poucas informações dessa cultura referente ao processo pós-colheita, assim como a caracterização de suas propriedades físicas. Deste modo, objetivou-se com o presente trabalho determinar a contração volumétrica, a porosidade e a massa específicas aparente dos grãos de trigo mourisco ao longo do processo de secagem, bem como ajustar modelos matemáticos aos valores experimentais da contração da massa. Foram utilizados grãos de trigo mourisco da cultivar IPR 91 – Baili, com teor de água inicial de 0,25 (decimal, b.s.). As amostras utilizadas para determinação das propriedades físicas foram submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar estabilizada à temperatura de 40 ± 1 °C. A massa das amostras foi pesada periodicamente, de modo que, quando o produto atingisse valores pré-estabelecidos de teor de água, eram retiradas e encaminhadas para determinação de suas propriedades físicas. Conclui-se que, a redução do teor de água durante a secagem causa o aumento da massa específica aparente e porosidade. A redução do teor de água influencia a contração volumétrica da massa dos grãos, provocando redução em seus valores de aproximadamente 14,00 e 13,29%, respectivamente, em que ambas as variáveis podem ser representadas satisfatoriamente por um modelo linear.

Palavras-chave: pós-colheita, teor de água, contração volumétrica

Physical properties of buckwheat grains (*Fagopyrum esculentum* Moench) during drying

Abstract: Buckwheat is a crop with high nutritional value, having great importance in relation to human food, since its flour does not contain gluten. This substance is not accepted by the organism of celiac people, but there is little information about this culture regarding the post-harvest process, as well as the characterization of its physical properties. Thus, the objective of the present work was to determine the apparent volumetric contraction, porosity and apparent mass of buckwheat grains throughout the drying process, as well as to adjust mathematical models to the experimental values of the mass contraction. Grains of buckwheat of the cultivar IPR 91 - Baili, with initial water content of 0.25 (decimal, b.s.) were used. The samples used to determine the physical properties were subjected to oven drying with forced air circulation stabilized at 40 ± 1 °C. The mass of the samples was periodically weighed, so that when the product reached predetermined values of water content, they were removed and routed for determination of their physical properties. It is concluded that the reduction of the water content during drying causes the increase of the apparent specific mass and porosity. The reduction of the water content influences the volumetric contraction of the grain mass, causing a reduction in its values of approximately 14.00 and 13.29%, respectively, in which both variables can be represented satisfactorily by a linear model.

Key words: post-harvest, moisture content, volumetric contraction

INTRODUÇÃO

O trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench) é uma planta dicotiledônea pertencente à família Polygonaceae, sem nenhum parentesco com o trigo comum. Sua farinha não possui glúten, sendo indicado principalmente para celíacos, além disso, afeta positivamente o organismo humano (Silva et al., 2002).

A proteína do trigo mourisco é de excelente qualidade e apresenta alto teor de lisina, um aminoácido essencial e deficiente na maioria dos cereais comuns (Rodrigues & Oliveira, 2010). Contém fibra alimentar, amido resistente, rutina e sais minerais, além de um elevado nível de ácidos graxos poliinsaturados essenciais e várias vitaminas (Francischi et al., 1994).

Diante do potencial econômico, foram realizadas até o momento algumas pesquisas com a cultura, sendo elas sobre produtividade (Görge et al., 2016), adaptação (Alves et al., 2016), cultivo (Vazhov et al., 2013) e propriedades nutricionais (Zhu, 2016). Porém, é muito vago o campo de informações referente à secagem e às propriedades físicas dessa espécie. Variações de massa específica real e aparente, porosidade e contração volumétrica são observadas em diversos produtos agrícolas ao longo do processo de secagem (Payman et al., 2011; Mir et al., 2013; Botelho et al., 2016; Smaniotto et al., 2016; Sousa et al., 2016). Essas propriedades são de extrema importância para a otimização do processo pós-colheita.

Devido à importância do trigo mourisco como fonte alimentar, principalmente para os celíacos e da falta de informações das propriedades físicas desse produto durante o processo de secagem, objetivou-se com o presente trabalho determinar a contração volumétrica, a porosidade e a massa específicas aparente dos grãos de trigo mourisco ao longo do processo de secagem, bem como ajustar modelos matemáticos aos valores experimentais da contração da massa.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Propriedades Físicas de Produtos Agrícolas da Faculdade de Ciências Agrárias, pertencente à Universidade Federal da Grande Dourados, localizada no município de Dourados, MS.

Foram utilizados grãos de trigo mourisco da cultivar IPR 91 – Baili, colhidos mecanicamente, com teor de água inicial de 0,25 (decimal, b.s.).

O teor de água inicial das amostras foi determinado utilizando o método de estufa descrito pela Regra para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), utilizando estufa de ventilação forçada a 105 ± 1 °C, durante 24 h, em três repetições.

As amostras de trigo mourisco utilizadas para determinação das propriedades físicas foram submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar estabilizada à temperatura de 40 ± 1 °C. O acompanhamento da secagem foi feito por diferença de massa, conhecendo o teor de água inicial do produto. Após o início da secagem, a massa das amostras foi pesada periodicamente, utilizando uma balança semi-analítica com resolução de 0,01 g, de modo que, quando o produto atingisse valores preestabelecidos de teor de água, as amostras eram retiradas e encaminhadas para determinação de suas propriedades físicas.

A massa específica aparente (pap), em kg m^{-3} , para do produto foi determinada utilizando uma balança de peso hectolítrico, com volume de 1 L. Para cada teor de água amostrado, durante a secagem, foram realizadas três medições, em que a massa específica aparente resultou da média das três medições.

A porosidade (ε , em %) das sementes de trigo mourisco foi calculada indiretamente por meio da Eq.1:

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_u}\right) \times 100 \quad (1)$$

Os dados experimentais referentes à massa específica aparente e porosidade dos grãos de trigo mourisco, foram submetidos à análise de regressão linear. Para o ajuste dos modelos de regressão, utilizou-se o programa computacional SigmaPlot 11.0. Foram utilizados como critérios de seleção o nível de significância do modelo pelo teste F, juntamente com os valores do coeficiente de determinação (R^2).

Para a determinação do índice de contração volumétrica da massa dos grãos de trigo mourisco foi calculada a razão entre o volume do produto em determinado instante pelo volume inicial do mesmo, conforme na Eq. 2.

$$\Psi = V/V_0 \quad (2)$$

Em que:

Ψ , adimensional;

V: volume da massa dos grãos em determinado instante, cm^3 ; e,

V_0 : volume inicial da massa dos grãos, cm^3 .

O acompanhamento da contração volumétrica da massa foi realizado com base em um volume inicial de 150 cm^3 (150 mL) de grãos de trigo mourisco, o qual foi verificado a redução desse volume, no decorrer da secagem, transferindo a massa de grãos para uma proveta de 150 cm^3 , e anotando o volume para os teores de água pré-determinados durante a secagem. Para cada teor de água amostrado foi realizado três determinações do volume da massa, na proveta de 150 cm^3 , em que o volume da massa, para cada teor de água, foi determinado pela média das três medições.

Aos dados experimentais do índice de contração volumétrica da massa dos grãos de trigo mourisco foram ajustados os modelos matemáticos apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para representar o índice de contração volumétrica da massa dos grãos de trigo mourisco em função do teor de água

Designação do modelo	Modelo	
Rahman (1995)	$\Psi = 1 + \beta (U - U_0)$	(3)
Corrêa et al. (2004)	$\Psi = 1/[a + b \exp (U)]$	(4)
Exponencial	$\Psi = a \exp (b U)$	(5)
Linear	$\Psi = a + b U$	(6)
Polinomial	$\Psi = a + b U + c U^2$	(7)
Bala & Woods modificado (1984)	$\Psi = 1 - a\{1 - \exp[-b (U_0 - U)]\}$	(8)

Em que:

U - teor de água do produto, decimal b.s.;

U_0 - teor de água inicial do produto, decimal b.s.;

a, b, c - parâmetros que dependem do produto, adimensional; e,

β - coeficiente de contração volumétrica, adimensional.

Os dados experimentais de contração volumétrica da massa foram submetidos à análise de regressão não linear, pelo método de Gauss-Newton. Para o ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais, foi utilizado o programa computacional Statistica 7.0.

Os modelos para representar o índice de contração volumétrica foram selecionados considerando os valores do erro médio relativo (P), do desvio padrão da estimativa (SE), do coeficiente de determinação (R^2) e a distribuição dos resíduos. Os valores do erro médio relativo e do desvio padrão da estimativa foram calculados conforme as Eqs. 9 e 10:

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \right) \quad (9)$$

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

Em que:

- n - número de observações experimentais;
- Y - valor experimental;
- \hat{Y} - valor estimado pelo modelo; e,
- GLR - graus de liberdade do modelo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve aumento da massa específica aparente dos grãos de trigo mourisco com a redução do teor de água (Figura 1). Os valores estimados da massa específica aparente para o trigo mourisco variaram entre 633,24 a 663,81 kg m^{-3} , para o teor de água do produto variando de 0,25 a 0,13 (decimal, b.s.). Este comportamento é semelhante a maioria dos produtos agrícolas pesquisados (Firouzi et al., 2009; Payman et al., 2011; Devilla et al., 2012; Jesus et al., 2013; Theertha et al., 2014).

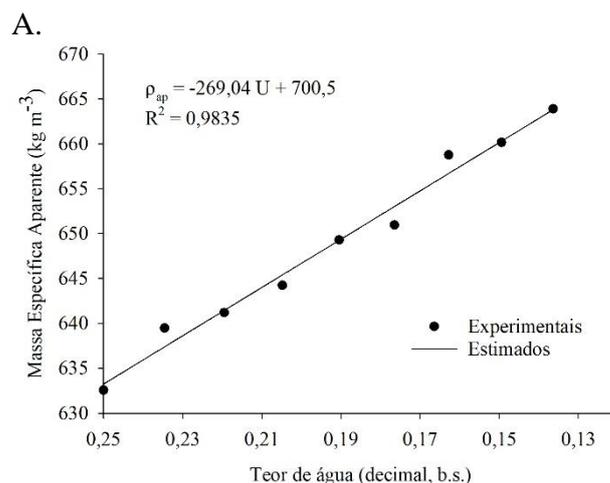


Figura 1. Valores experimentais e estimados da massa específica aparente (ρ_{ap}) (A) dos grãos de trigo mourisco em função do teor de água (U)

Com o decréscimo do teor de água e consequentemente do volume, os grãos se arranjam mais facilmente dentro do recipiente, aumentando os valores da massa específica aparente

Observa-se ainda na Figura 1 (A) que a variação da massa específica aparente em função da redução do teor de água pode ser representada, satisfatoriamente, por meio de modelos lineares, como verificado por outros pesquisadores (Solomon & Zewdu, 2009; Sousa et al, 2016).

A porosidade apresenta aumento dos seus valores com a diminuição do teor de água (Figura 2). Kingsly et al. (2006), Kibar & Öztürk (2008), relataram um aumento semelhante nos espaços vazios da massa de grãos de romã e soja, respectivamente. O modelo linear representa satisfatoriamente aos valores experimentais, apresentando elevado valor do coeficiente de determinação (R^2). A porosidade da massa de grãos apresentou para o trigo mourisco valores estimados entre 41,86 a 46,96%, na faixa de teor de água estudada.

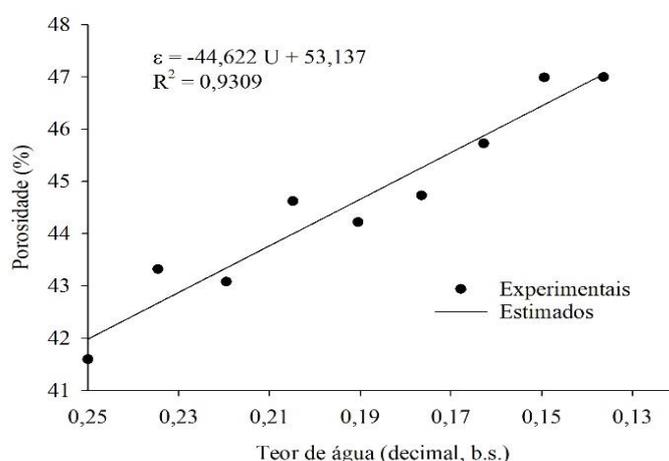


Figura 2. Valores experimentais e estimados da porosidade (□) da massa de trigo mourisco em função do teor de água (U)

Na Tabela 2, encontram-se as equações de regressão para contração volumétrica da massa de grãos de trigo mourisco, em função do teor de água, com seus respectivos coeficientes de determinação, erro médio relativo e estimado, e tendência de distribuição dos resíduos. Todos os modelos ajustados apresentam valores reduzidos de erro médio relativo, sendo todos inferiores a 10. Segundo Mohapatra & Rao (2005) é um parâmetro que pode ser utilizado para recomendação ou não de um modelo. Os valores de erro médio relativo refletem o desvio dos valores observados com relação a curva estimada pelo modelo (Kashaninejad et al., 2007). Logo, neste caso, o desvio pode ser considerado aceitável.

Tabela 2. Modelos de contração volumétrica da massa dos grãos de trigo mourisco com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2 , decimal), erro médio estimado (SE, decimal) e relativo (P, %), e tendência de distribuição dos resíduos

Modelos	Massa			
	P	SE	R^2	Resíduo
3	0,4999	0,0062	0,9863	A
4	0,4550	0,0057	0,9940	A
5	0,5011	0,0062	0,9931	A
6	0,4660	0,0057	0,9941	A
7	0,4860	0,0058	0,9939	A
8	0,4418	0,0059	0,9875	A

O desvio padrão da estimativa (SE) demonstra a capacidade de um modelo em descrever com precisão um determinado processo físico, e que quanto menor seu valor, melhor será a qualidade de ajuste do modelo em relação aos dados experimentais (Siqueira, 2012). Assim, todos os modelos utilizados apresentam bom ajuste, para a contração volumétrica da massa, já que seus valores são muito baixos.

O bom comportamento dos modelos em relação aos dados experimentais, também pode ser observado nos valores do coeficiente de determinação. Que apresentou valores superiores a 0,95 para todas as condições. Madamba et al. (1996) afirmam que isso indica representação satisfatória por parte dos modelos utilizados.

A análise conjunta dos parâmetros estatísticos permite afirmar que todos os modelos utilizados para representar a contração volumétrica da massa dos grãos de trigo mourisco podem ser recomendados.

Dentre todos os modelos ajustados, o modelo Linear é o mais simples, e por isso foi utilizado para descrever o fenômeno da contração. Verifica-se na Figura 3 o excelente ajuste do modelo, representando com fidelidade o comportamento da contração da massa dos grãos do trigo mourisco.

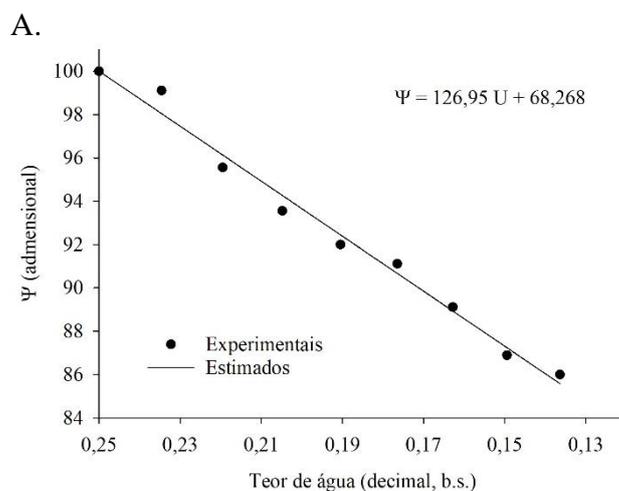


Figura 3. Valores do índice de contração volumétrica da massa (A) de grãos, experimentais e estimados, pelo modelo linear em função do teor de água para o trigo mourisco

De acordo com os resultados, verifica-se que os dados experimentais da massa de grãos de trigo mourisco, apresentaram uma redução do volume inicial na ordem de 14,00% para o intervalo de teor de água entre 0,25 a 0,13 (decimal, b.s.). Para a contração volumétrica da massa ocorre variação de 0,0128%. Essa informação são de extrema importância para otimizar o uso de secadores e dimensionar estruturas para armazenagem do produto.

CONCLUSÕES

A redução do teor de água durante a secagem causa o aumento da massa específica aparente e porosidade.

A redução do teor de água influencia a contração volumétrica da massa dos grãos de trigo mourisco, provocando redução em seu valor de aproximadamente 14,00% e essa variável pode ser representada satisfatoriamente pelo modelo de contração linear.

LITERATURA CITADA

ALVES, J. D. C.; SOUZA, A. P. D.; PÔRTO, M. L.; FONTES, R. L.; ARRUDA, J.; MARQUES, L. F. Potential of sunflower, castor bean, common buckwheat and vetiver as lead phytoaccumulators. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.20, p.243-249, 2016.

BALA, B. K.; WOODS, J. L. Simulation of deep bed malt drying. *Journal Agricultural Engineering Research*, New York, v.30, p.235-244, 1984.

BOTELHO, F. M.; CORRÊA, P. C.; BOTELHO, S. D. C. C.; ELÍAS, G. A. V.; ALMEIDA, M. D. S. D.; OLIVEIRA, G. H. H. Propriedades físicas de frutos de café robusta durante a secagem: determinação e modelagem. *Coffee Science*, v.11, p.65-75, 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA, 2009.395p.

CORRÊA, P. C.; RIBEIRO, D. M.; RESENDE, O.; AFONSO JÚNIOR, P. C.; GONELI, A. L. Mathematical modelling for representation of coffee berry volumetric shrinkage. In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM, 14., 2004, São Paulo. Proceedings... São Paulo: IDS, 2004. v. A, p.742-747.

DEVILLA, I. A.; OLIVEIRA NETO, M. C. DE; REIS, R. C. Propriedades Físicas de Sementes de Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) Variedade "Emgopa 201-Ouro". Revista Agrotecnologia, v.1, p.99-110, 2012.

FIROUZI, S.; VISHGAEI, M.N.S.; KAVIANI, B. Some physical properties of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) kernel cv. NC2 as a function of moisture content. American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, v.6, p.675-679, 2009.

FRANCISCHI, M. L. P.; SALGADO, J. M.; LEITÃO, R.F. F. Chemical, nutritional and technological characteristics of buckwheat and non-prolamine buckwheat flours in comparison of wheat flour. Plant Foods for Human Nutrition, v.46, p.323-329, 1994.

GÖRGEN, A. V.; CABRAL FILHO, S. L. S.; LEITE, G. G.; SPEHAR, C. R.; DIOGO, J. M. S.; FERREIRA, D. B. Produtividade e qualidade da forragem de trigo-mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench) e de milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R.BR). Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, v.17, p.599-607, 2016.

JESUS, F. F.; SOUZA, R. T. G.; TEIXEIRA, G. C. S.; TEIXEIRA, I. R.; DEVILLA, I. A. Propriedades físicas de sementes de feijão em função de teores de água. Engenharia na Agricultura, v.21, p.09-18, 2013.

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.

KIBAR, H.; ÖZTÜRK, T. Physical and mechanical properties of soybean. International Agrophysics, v.22, p.239-244. 2008.

KINGSLEY, A. R. P.; SINGH, D. B.; MANIKANTAN, M. R.; JAIN, R. K. Moisture dependent physical properties of dried pomegranate seeds (*Anardana*). Journal of Food Engineering, v.75, p.492-496, 2006.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. The thin layer drying characteristic of garlic slices. Journal of Food Engineering, v.29, p.75-97, 1996.

MIR, S. A.; BOSCO, S. J. D.; SUNOOJ, K. V. Evaluation of physical properties of rice cultivars grown in the temperate region of India. International Food Research Journal, v.20, p.1521-1527, 2013.

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. *Journal of Food Engineering*, v.66, p.513-518, 2005.

PAYMAN, S. H.; AJDADI, F. R.; BAGHERI, I.; ALIZADEH, M. R. Effect of moisture content on some engineering properties of peanut varieties. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, v.9, p.326-331, 2011.

RAHMAN, S. *Physical properties of foods*. Florida: CRC Press LLC, 1995. 500p.
RODRIGUES, C. M.; OLIVEIRA, V. R. Utilização de farinha de trigo sarraceno em associação com farinha de arroz e soja na elaboração de minipizzas. *Alimentos e Nutrição*, v.21, p.21-24, 2010.

SILVA, D. B.; GUERRA, A. F.; SILVA, A. C.; PÓVOA, J. S. R. Avaliação de genótipos de mourisco na região do Cerrado. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2002. p.20. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Determination of the volumetric shrinkage in jatropha seeds during drying. *Acta Scientiarum*. v.34, p.231-238, 2012.

SMANIOTTO, T. A. de S.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D. E. C. de; SIQUEIRA, V. C.; SOUSA, K. A. Ajuste de modelos matemáticos a contração volumétrica unitária e da massa dos grãos de soja. *Revista Agro@mbiente On-line*, v.9, p.397-404, 2016.

SOLOMON, W. K.; ZEWDU, A. D. Moisture-dependent physical properties of niger (*Guizotia abyssinica* Cass.) seed. *Industrial crops and products*, v.29, p.165-170, 2009.

SOUSA, R. V. de; MATA, M. E. R. C.; DUARTE, M. E. M.; ALMEIDA, R. D.; ROSA, M. E. C.; SOUSA, A. C. de. Influência do teor de água nas propriedades físicas dos grãos de arroz vermelho em casca. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.18, p.495-502, 2016.

THEERTHA, D. P.; SUJEETHA, J. A. R. P.; ABIRAMI, C. V. K.; ALAGUSUNDARAM, K. Effect of moisture content on physical and gravimetric properties of black gram (*Vigna mungo* L.). *International Journal of Advancements in Research & Technology*, v.3, p.97-104, 2014.

VAZHOV, V. M.; KOZIL, V. N.; ODINTSEV, A. V. General methods of buckwheat cultivation in Altai region. *World Applied Sciences Journal*, v.9, p.1157-1162 2013.
ZHU, F. Chemical composition and health effects of Tartary buckwheat. *Food Chemistry*, v.203, p.231-245, 2016.