

Contração Volumétrica de Grãos de Aveia Durante a Secagem

Mario Sergio Garutti de Oliveira¹, André Luís Duarte Goneli², Renata Henrique Hoscher¹, Edilene Alves Ferreira¹, Michele Rosemari Hauth¹, Weliton Lucas da Silva Benites¹

77

RESUMO

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de se avaliar o efeito da variação do teor de água na contração volumétrica unitária e da massa dos grãos de aveia branca (*Avena sativa L.*) e ajustar diferentes modelos matemáticos aos valores experimentais. Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que a redução do teor de água acarreta no encolhimento do produto, sendo que, a contração unitária apresentou uma redução de 34%, enquanto que a da massa de grãos foi de 15%. O modelo Quadrático foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais de contração volumétrica, tanto unitária quanto da massa. Embora tenha ocorrido contração de volume dos grãos de aveia branca, sua forma não varia durante o processo de secagem, para a faixa de umidade estudada.

Palavras-chave: *Avena Sativa L.*, propriedades físicas, Encolhimento.

INTRODUÇÃO

A aveia branca (*Avena sativa L.*) ou aveia-comum, pertencente à família *Poaceae*, é considerada um alimento funcional desde a década de 90, quando a Food and Drug Administration (FDA) autorizou a rotulagem desta informação nos produtos comercializados. Trata-se de um cereal de alto valor nutricional, sendo fonte de proteínas, fibras, vitaminas e minerais, indispensáveis na dieta humana. Contudo, tem competido por espaço no cultivo com outras culturas de inverno, como a cevada, triticale, aveia preta e o trigo (SCHIAVO, 2015).

¹Estudantes de Pós-Graduação FCA/UFGD, Rodovia Dourados-Itahum, km 12. Campus Universitário - Caixa-Postal: 533. CEP: 79804-970 - Dourados, MS. Email: mario.garutti@hotmail.com; renatahoscher@hotmail.com; edilene.univasf@yahoo.com.br; michele.r.hauth@hotmail.com; welitonlucasbenites@gmail.com

²Professor FCA/UFGD, Rodovia Dourados-Itahum, km 12. Campus Universitário - Caixa-Postal: 533. CEP: 79804-970 - Dourados, MS. Email: andregoneli@ufgd.edu.br

A aveia representa uma cultura de várias aptidões, como cobertura de solo, produção de grãos, forragem ou como rotação de culturas, que atendem à demanda da indústria alimentícia humana e animal, desta forma, possui grande potencial na produção agrícola e, também, relevância entre pesquisadores, profissionais da área de saúde e consumidores em geral. (GOETTEMS, 2016).

Os grãos de aveia, assim como a maioria dos produtos agrícolas, são colhidos com teor de água acima do aconselhado para o armazenamento. Esses produtos possuem grandes perdas, em razão da perecibilidade a deterioração, sendo que essas iniciam na colheita e chegam até o consumidor (CENCI et al., 1997). A fim de diminuir essas perdas e garantir conservação por maior tempo sem degradação dos produtos, surgem artifícios para redução do teor de água, como a desidratação (OLIVEIRA et al., 2006).

A secagem consiste na redução do teor de água de um produto através da evaporação, onde tem envolvido processos de transferência de calor e massa. Para secar pode-se utilizar qualquer forma de transferência de calor ou uma combinação da convecção, da condução e da radiação, para fornecer o calor ao produto a ser seco. No processo de secagem é necessário o fornecimento de calor para evaporar a água do produto e um meio de transporte para remover o vapor de água, que na secagem convectiva é o ar (LUIZ et al., 2007).

Na secagem, em função da perda de água, acontecem mudanças físico-químicas no alimento, como, por exemplo, alterações na cor, sólidos solúveis totais, redução do volume, além de danos à estrutura celular do produto, acarretando deformações e decréscimo das dimensões características (MAYOR; SERENO, 2004). O encolhimento trata-se de um fenômeno típico na desidratação, dependente das condições de secagem (temperatura, umidade e velocidade do ar de secagem), que pode resultar em desuniformidade dos tamanhos e formas em um mesmo produto, assim, a obtenção de valores de contração para diferentes situações de secagem torna-se importante para conhecimento das características essenciais do produto (CORRÊA FILHO, 2015). O emprego de altas temperaturas na secagem de grãos de aveia pode comprometer as características intrínsecas do produto, como, escurecimento do óleo, desnaturação proteica, gelatinização do amido, rancidez do grão e ainda a redução de volume.

A contração volumétrica envolve leis mecânicas e de deformação dos materiais (TOWNER, 1987) dificultando seu estudo teórico. Contudo, diversas pesquisas têm se baseado em modelos empíricos na tentativa de melhor representar esse fenômeno. No começo da secagem o produto tende a manter sua forma *in natura*, mas, com a redução de água no processo ocorre o seu encolhimento, além da deformação dos tecidos, formação de poros e demais mudanças microestruturais (KOÇ et al., 2008).

Considerando a importância de informações técnicas a despeito das propriedades físicas dos produtos agrícolas, de modo que possibilite a expansão do cultivo de aveia branca, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a contração volumétrica durante a secagem de grãos de aveia branca.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Pré-Processamento de Produtos Agrícolas que pertence a Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados (FCA/UFGD), na cidade de Dourados - MS.

Foram utilizados grãos de aveia-comum (*Avena sativa* L.) da cultivar FMS 3, procedentes da Fundação MS, em um cultivo experimental, no município de Maracaju - MS. Os grãos foram colhidos, debulhados e limpos manualmente, sendo retirados todo tipo de material diferente e as impurezas. O teor de água inicial das amostras foi determinado em estufa, a 105 ± 3 °C, por 24 h, em três repetições (adaptado de BRASIL, 2009), sendo de, aproximadamente, 0,41 (decimal b.s.).

A secagem das amostras de grãos foi realizada em estufa de circulação forçada de ar na temperatura de 40 °C. Os grãos foram acomodados em bandejas de alumínio e secos até o teor de água final médio de 0,1 (decimal b.s.). A umidade foi acompanhada pela diferença de massa, conhecendo-se o teor de água inicial, sendo que, para cada temperatura foram utilizadas três repetições.

A massa das amostras foi aferida em uma balança analítica com resolução de 0,01 g. Ao longo do processo, para teores de água de interesse, a secagem foi interrompida e o volume da amostra determinado, para medir a contração volumétrica.

A contração volumétrica unitária (de cada grão) e da massa de grãos de aveia branca foram avaliadas durante o processo de secagem pelo índice de contração volumétrica ($\Psi\Psi$), dado pela relação entre o volume para cada teor de água de interesse e o volume inicial. Para a avaliação da contração volumétrica da massa, 2000 mL de grãos foram submetidos à secagem, sendo utilizada uma proveta graduada de 2000 mL \pm 5 mL para o acompanhamento da variação de volume da amostra. A avaliação da contração volumétrica unitária, foi feita conhecendo-se as dimensões características principais (Figura 1) de 20 grãos de aveia, que foram secos e separados da massa de grão em um cadinho de alumínio, foram medidas através de um paquímetro digital, com resolução de 0,01 mm ao longo do processo de secagem. O acompanhamento da secagem destes 20 grãos também se deu por diferença de massa, conhecendo-se o teor de água inicial do produto.

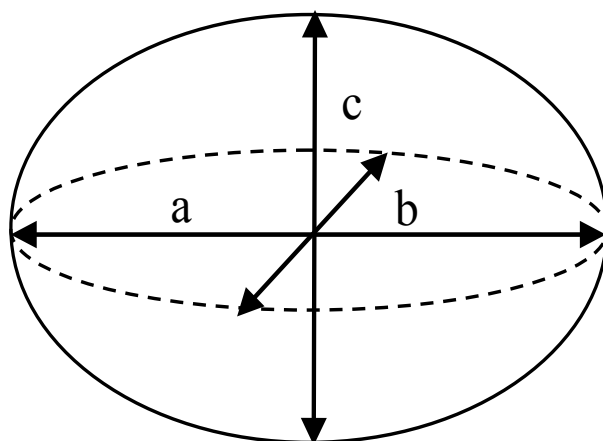


FIGURA 1. Desenho esquemático da aveia branca, considerada como elipsoide tri axial, com seus respectivos eixos ortogonais (a – maior eixo do grão, mm; b – eixo médio do grão, mm; c – menor eixo do grão).

O volume dos grãos de aveia foi determinado conforme a equação a seguir:

$$V_g = \frac{\pi(a b c)}{6} \quad (1)$$

Foram determinados, ainda, os índices de contração de cada eixo ortogonal (dimensão final/ dimensão inicial), desta maneira pode-se avaliar a maneira com que ocorre o encolhimento do produto, seja de forma proporcional a todas as direções, ou desuniforme.

Aos dados experimentais da contração volumétrica unitária e da massa foram ajustados diferentes modelos matemáticos descritos na Tabela 1.

TABELA 1. Modelos matemáticos utilizados para estimar a contração volumétrica unitária e aparente de produtos agrícolas

Descrição do modelo	Modelo
Bala e Woods modificado (1984)	$\psi = 1 - a \{1 - \exp[-b(U_i - U)]\}$
Corrêa et al. (2004)	$\psi = 1 / (a + b \exp U)$
Exponencial	$\psi = a \exp(b U)$
Linear	$\psi = a + b U$
Quadrático	$\psi = a + b U + c U^2$
Rahman (1995)	$\psi = 1 - b(U_i - U)$

Em que:

ψ = índice de contração volumétrica, adimensional; U = teor de água do produto, decimal b.s.; U_i = teor de água inicial do produto, decimal b.s.; e a, b, c e n são coeficientes de ajuste dos modelos que dependem do produto e das condições de secagem.

Para o ajuste dos modelos matemáticos foi feita análise de regressão pelo método Gauss-Newton. O grau de ajuste do modelo será avaliado por meio das magnitudes do desvio padrão da estimativa (SE) e do erro médio relativo (P), sendo que, de modo geral, quanto menores forem as magnitudes desses índices, melhor o ajuste do modelo aos dados observados.

Os valores de SE e P para cada modelo foram calculados pelas Equações 2 e 3, respectivamente:

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \right) \quad (2)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (3)$$

Em que:

Y- valor observado experimentalmente; \hat{Y} - valor estimado pelo modelo; n - número de observações experimentais; e GLR - graus de liberdade do modelo (número de observações menos o número de parâmetros do modelo).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a Tabela 2, constata-se que as três dimensões dos grãos de aveia diminuíram proporcionalmente com a diminuição do teor de água, não apresentando diferenças significativas a nível de 5% de probabilidade, fato que indica que os grãos de aveia branca, para a faixa de umidade estudada, apresentam contração uniforme dos eixos ortogonais, não mudando drasticamente sua forma.

TABELA 2. Dimensões médias dos eixos ortogonais (a, b e c) e seus respectivos índices de contração (a/a_0 , b/b_0 e c/c_0), contração volumétrica da massa (Ψ_m) e contração volumétrica unitária (Ψ_u) dos grãos de aveia branca.

Teor de água (decimal b.s.)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	V (mm ³)	a/a ₀	b/b ₀	c/c ₀
0,41	12,711	3,695	4,194	103,14	1,00	1,00	1,00
0,34	12,287	3,559	3,894	89,19	0,97	0,96	0,93
0,27	11,914	3,504	3,688	80,62	0,94	0,95	0,88
0,21	11,738	3,397	3,625	75,69	0,92	0,92	0,86
0,15	11,595	3,361	3,535	72,15	0,91	0,91	0,84
0,11	11,265	3,338	3,455	68,05	0,89	0,90	0,82

Em que: Índices de contração são dados em decimal.

Corrêa et al. (2005), obtiveram resultados semelhantes secando grãos de trigo na mesma temperatura do presente estudo. Ainda, demonstraram que o trigo, assim como a aveia, se opõe a maioria dos produtos agrícolas porosos que, durante a secagem, se contraem desigualmente nos eixos ortogonais, alterando suas formas e tamanhos

característicos. O volume total dos grãos teve uma redução de aproximadamente 35 % durante o processo.

A contração volumétrica aparente, conforme observado na Tabela 2, apresentou uma redução do volume inicial de 15%, enquanto que a contração volumétrica unitária dos grãos de aveia obteve uma redução de 34%. Diante desses resultados, é possível observar que a contração volumétrica unitária foi maior do que aquela observada para a massa de grãos, para a temperatura de secagem em estudo.

Observa-se, pela Tabela 3, que todos os modelos testados apresentaram baixas magnitudes do desvio padrão da estimativa (SE). Este índice indica o erro médio cometido pelo modelo na mesma unidade de medida da variável em estudo, sendo que, necessariamente, quanto menor sua magnitude, melhor o seu ajuste. Enquanto que os valores erro médio relativo foram significativos, mostrando um ajuste inadequado na maioria dos modelos utilizados na contração de volume unitária e de massa.

TABELA 3. Modelos de contração volumétrica unitária e da massa de grãos de aveia branca com seus respectivos coeficientes de determinação (R²), erro médio estimado (SE) e relativo (P).

Modelos	Ψ_m (adimensional)			Ψ_u (adimensional)		
	SE (decimal)	P (%)	R ² (decimal)	SE (decimal)	P (%)	R ² (decimal)
Bala e Woods (1984), modificado	0,0068	0,4607	0,9953	0,0189	1,7543	0,9903
Exponencial	0,0159	1,1817	0,9739	0,0336	2,7905	0,9690
Quadrático	0,0050	0,3211	0,9981	0,0272	2,1553	0,9848
Linear	0,0176	1,3197	0,9681	0,0394	3,3869	0,9571
Corrêa et al. (2004)	0,0116	0,8657	0,9862	0,0237	1,6879	0,9847
Rahman (1995)	0,0181	1,5132	0,9572	0,0467	4,3953	0,9232

Contudo, o modelo de regressão quadrático para a os resultados experimentais de contração volumétrica aparente e unitária obteve um bom ajuste, devido aos melhores valores do coeficiente de determinação e, também, ao fato de ter sido o único modelo adequado para descrever este fenômeno nas condições analisadas. Expressões quadráticas são frequentemente descritas como viáveis para a modelagem da contração volumétrica de produtos agrícolas durante a secagem, como: soja (BOTELHO et al., 2018), figo (CORRÊA FILHO et al., 2015) mamona (GONELI et al., 2011), dentre outros.

Na Figura 2 observa-se os valores experimentais e estimados pelo modelo Quadrático, para a descrição da variação volumétrica unitária (A) e aparente (B) dos grãos de aveia branca.

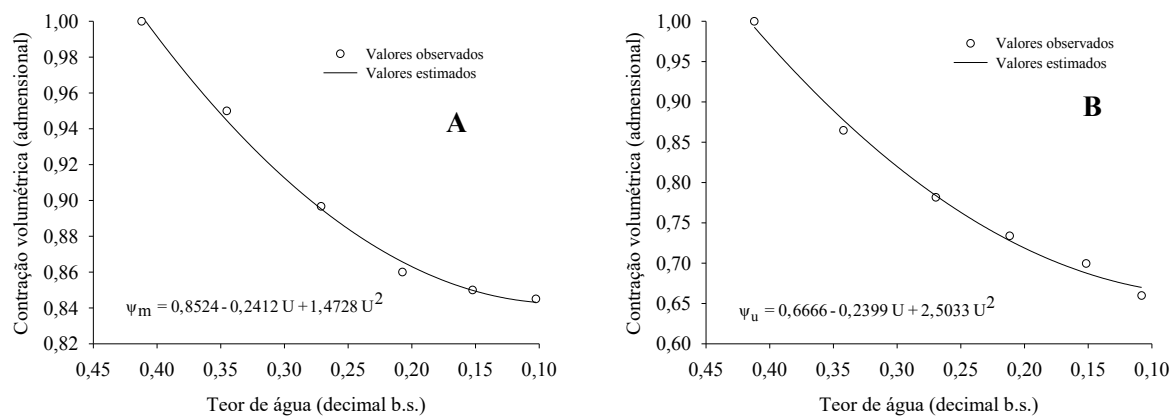


FIGURA 2. Valores observados e estimados da contração volumétrica unitária (A) e aparente (B) de grãos de aveia da variedade FMS3 pelo modelo Quadrático em função do teor de água para a temperatura de 40 °C.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes.** Brasília, DF. 2009.
- BOTELHO, F. M.; HAUTH, M. R.; HOSCHER, R. H.; BOTELHO, S. C. C. Modelagem matemática da contração volumétrica de grãos de soja durante o processo de secagem. **Engenharia na Agricultura**, v. 26, n. 1, p. 1-12, 2018.
- CENCI, S. A; SOARES, A. G.; FREIRE JUNIOR, M. Manual de perdas pós-colheita em frutos e hortaliças. Rio de Janeiro: **EMBRAPA-CTAA**. 29p. 1997.
- CORRÊA FILHO, L. C., DE ANDRADE, E. T., MARTINAZZO, A. P., D'ANDREA, E. M., DE SOUSA, F. A., FIGUEIRA, V. G. Cinética de secagem, contração volumétrica e análise da difusão líquida do figo (*Ficus carica* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.8, p. 797-802. 2015.
- DIAS, M.C. **Comida jogada fora.** **Correio Braziliense**, 31 de Agosto de 2003. Disponível em: <http://www.consciencia.net/2003/09/06/comida.html>. Acesso em 20/07/2018.
- GONELI, A.L.D; CORREA, P.C; MAGALHAES, F.E.A; BAPTESTINI, F.M. Contração volumétrica e forma dos frutos de mamona durante a secagem. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v. 33, n. 1, p. 1-8. 2011.
- HOSSAIN, M. A. A; GOTTSCHALKB, K.; HASSANC, M. S. Mathematical model for a heat

pump dryer for aromatic plant. *Procedia Engineering*, 5th BSME International Conference on Thermal Engineering. 2013.

KOÇ, B.; EREN, I.; ERTEKIN, F. K. Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: The effect of drying method. **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 3, p. 340-349, 2008.

LUIZ, M. R; AMORIM, J. A; SILVA, M. G; CAVALCANTI, M. A. W; GURGEL, J. M. Bomba de calor para desumidificação e aquecimento do ar de secagem. In: **8º Congresso Ibero-Americano De Engenharia Mecânica**, 2007, Cusco, Peru. Anais (on-line). Disponível: <http://congreso.pucp.edu.pe/cibim8/pdf/06/06-23.pdf> . Acesso em 20/07/2018.

MAYOR, L.; SERENO, A. M. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 3, p. 373-386, 2004.

OLIVEIRA, L. C; GUTKOSKI, L. C; ELIAS, M. C; MAZZUTTI, S; AOSANI, E; ROCHA, J. C. da. Efeito da temperatura de secagem na qualidade de grãos de aveia branca. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 313-319. 2010.

OLIVEIRA, F. M. N. de; FIGUEIREDO, R. M. F. de; QUEIROZ, A. J. M. Análise comparativa de polpas de pitanga integral, formulada e em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.8, n.1, p. 25-33. 2006.

TOWNER, G. D. The tensile stress generated in clay through drying. **Journal Agricultural Engineering Research**, New York, v.37, n.4, p.279-289, 1987.