

**PROPRIEDADES FÍSICAS DOS GRÃOS DE NIGER**

Fernanda Pimentel da Silva<sup>1</sup>, Valdiney Cambuy Siqueira<sup>2</sup>, Wellytton Darci Quequeto<sup>3</sup>, Maria Heloísa Junqueira<sup>4</sup> & André Luís Duarte Goneli<sup>5</sup>

1 - Mestre em Engenharia Agrícola, FCA/UFMG, Dourados – MS, Brasil, [fehimentel@hotmail.com](mailto:fehimentel@hotmail.com);

2 - Professor Doutor em Engenharia Agrícola, FCA/UFMG, Dourados – MS, Brasil, [vcambuy@yahoo.com](mailto:vcambuy@yahoo.com)

3 - Mestre em Engenharia Agrícola, FCA/UFMG, Dourados – MS, Brasil, [wellytton\\_quequeto@hotmail.com](mailto:wellytton_quequeto@hotmail.com)

4 - Mestre em Engenharia Agrícola, FCA/UFMG, Dourados – MS, Brasil, [mheloj@gmail.com](mailto:mheloj@gmail.com);

5 - Professor Doutor em Engenharia Agrícola, FCA/UFMG, Dourados – MS, Brasil, [andregoneli@ufmg.edu.br](mailto:andregoneli@ufmg.edu.br)

**Palavras-chave:**

*Guizotia abyssinica*  
índice de contração volumétrica  
massa específica  
porosidade

**RESUMO**

A introdução de biocombustíveis na matriz energética brasileira propõe diminuir a emissão de poluentes oriundos de combustíveis fósseis. O niger (*Guizotia abyssinica* Cass) é uma cultura com potencial para a produção de biodiesel. No entanto, pesquisas que relacionam a qualidade desse produto com as condições de secagem são escassas na literatura científica. Desse modo, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o efeito da secagem sobre as características físicas dos grãos de niger. Esses grãos foram colhidos com teor de água de aproximadamente 0,54 decimal (base seca, b.s.). Após a colheita, os grãos foram submetidos à secagem em estufa com circulação forçada de ar, estabilizada à temperatura de 40°C. A redução do teor de água foi acompanhada por meio da perda de massa, até 0,09 decimal (b.s.). Foram determinadas as seguintes propriedades físicas: massa específica aparente, massa específica unitária, porosidade, índice de contração volumétrica da massa e índice de contração unitária do grão. Com base nos resultados, concluiu-se que a redução do teor de água proporciona a diminuição da massa específica unitária e da porosidade, bem como o aumento da massa específica aparente. A contração volumétrica da massa e a contração volumétrica unitária foram influenciadas pela redução do teor de água, proporcionando a redução de seus valores em torno de 33 e 17%, respectivamente. A contração volumétrica da massa e dos grãos pode ser satisfatoriamente representada por um modelo de regressão linear.

**Keywords:**

*Guizotia abyssinica*  
porosity  
specific mass  
volumetric contraction index

**PHYSICAL PROPERTIES OF NIGER GRAINS****ABSTRACT**

The introduction of biofuels in the Brazilian energy matrix reduces the emission of pollutants from fossil fuels. Niger (*Guizotia abyssinica* Cass) is a potential crop for biodiesel production, although there are few researches in scientific literature that relate the quality of this product altogether with drying conditions. Thus, the aim of this work was to evaluate the drying effect on physical characteristics of Niger grains. Niger grains were harvested at a moisture content of approximately 0.54 decimal (dry basis, d.b.). After the harvest, the grains were submitted to oven drying with forced air circulation, at 40 °C. The reduction of moisture content was determined by the mass loss, up to 0.09 decimal (d.b.). Physical properties as apparent specific mass, unitary specific mass, porosity, mass volumetric contraction index and grain unitary contraction index, were determined. Based on the results obtained, it can be concluded that the reduction of moisture content provides a reduction of the unitary specific mass and the porosity and an increase of the apparent specific mass. The mass volumetric contraction and the unitary volumetric contraction were influenced by the reduction of moisture content, leading to the reduction of their values around 33 and 17%, respectively. The mass volumetric contraction and the grain volumetric contraction can be represented by a linear regression model.

## INTRODUÇÃO

Sabe-se que grande parte da energia consumida no mundo provém de combustíveis fósseis. Dessa forma, com foco no suprimento de combustíveis capaz de atender a crescente população mundial, indústrias e pesquisadores buscam avaliar novas fontes energéticas para produção de biodiesel, proporcionando segurança energética.

Com a expansão da matriz energética, ocorreu a popularização do uso de biomassas e biocombustíveis, o que elevou o uso de materiais graxos, sendo o niger (*Guizotia abyssinica* Cass) um produto com características potenciais para utilização neste mercado.

O niger é uma planta dicotiledônea, herbácea anual (MAUAD *et al.*, 2015), rico em ácidos graxos poli-insaturados, principalmente o ácido linoléico, cerca de 70% (RAMADAN & MÖRSEL, 2003). A cultura pode ser cultivada com sucesso em rotação de culturas (GETINET & SHARMA, 1996), melhorando as qualidades físicas, químicas e biológicas do solo e interrompendo ciclos de patógenos, agentes causadores de doenças.

Como a maioria dos produtos agrícolas, o niger é colhido com alto teor de água, necessitando de secagem para prolongar o período de armazenamento e diminuir a proliferação de microrganismos e de insetos. Esse processo baseia-se na transferência simultânea de calor e massa entre o produto e o ar de secagem (BROOKER *et al.*, 1992), sendo um dos principais métodos utilizados para redução da atividade de água. Além disso, reduz as modificações químicas e físicas que podem ocorrer durante o armazenamento, contribuindo para a manutenção da qualidade do produto.

As propriedades físicas dos produtos agrícolas desempenham papel importante na otimização industrial, na aerodinâmica, no desenho e no dimensionamento de equipamentos utilizados nas operações de colheita e pós-colheita (KIBAR, 2008).

A massa específica aparente auxilia no dimensionamento de silos, secadores, transportadores de grãos e sementes, podendo também ser utilizada para determinar danos causados por insetos, bem como deterioração

fúngica em produtos armazenados (MIR *et al.*, 2013).

Já a porosidade tem expressiva importância no dimensionamento de ventiladores utilizados nos sistemas de secagem e aeração, pois exerce influência sobre a pressão de ar que passa pela massa de produto (SILVA *et al.*, 2000), podendo ser descrita como a relação entre o volume ocupado pelo ar existente na massa granular e o volume total ocupado por essa massa de grãos.

Nas últimas décadas, diversos autores têm buscado estudar as propriedades físicas de espécies agrícolas, como mamona (GONELI *et al.*, 2011), pinhão-mansão (SIQUEIRA *et al.*, 2012a), soja (OLIVEIRA *et al.*, 2013) e amendoim (ARAÚJO *et al.*, 2015). Embora o niger seja cultivado há muito tempo em outros países, no Brasil, somente nos últimos anos vem ganhando destaque. Pesquisas relacionadas às propriedades físicas desse produto são limitadas.

Diversas mudanças podem ocorrer na qualidade dos grãos a partir da colheita, através do transporte, beneficiamento, secagem e armazenamento. Mudanças químicas ocorrem especialmente no armazenamento e são bastante influenciadas pelo teor de água, condições atmosféricas e físicas dos grãos. A ação desses fatores influencia na acidez do óleo, atividade enzimática, cor e vitaminas (BEZERRA *et al.*, 2015), com isso, diminuindo a qualidade do produto e, conseqüentemente, aumentando os custos industriais para a produção de biodiesel e óleos comestíveis.

Diante do potencial bioenergético dessa cultura e da escassez de informações referentes à pós-colheita, objetivou-se com o presente trabalho avaliar as seguintes propriedades físicas dos grãos de niger: massa específica aparente e unitária; porosidade; índice de contração volumétrica da massa e unitária do grão em função do teor de água.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas da Faculdade de Ciências Agrárias (FCA), unidade pertencente à Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD, localizada no município de Dourados-MS. Os grãos de

niger utilizados neste estudo foram cultivados na Fazenda Experimental da UFGD, localizada na latitude de 22° 14'S, longitude de 54° 49'W e altitude de 458 metros. Essa cultura foi semeada em um Latossolo Vermelho Distroférico, textura argilosa (EMBRAPA, 2006).

Os capítulos de niger foram colhidos manualmente, selecionando aqueles que já haviam atingido a maturação de campo. Em seguida, realizou-se a debulha e a separação manual, retirando-se todos aqueles defeituosos (vazio, imaturo e quebrado), que poderiam mascarar os reais resultados da pesquisa. Dessa forma, evitou-se esse tipo de interferência.

Após a debulha, os grãos de niger foram acondicionados em sacos plásticos de polipropileno de baixa densidade e armazenados em câmara do tipo B.O.D. à temperatura de 4°C, a fim de homogeneizar o teor de água do produto e evitar trocas de água com o ambiente externo. O teor de água inicial apresentado pelos grãos de niger foi de 0,54b.s. (decimal, base seca), determinado pelo método gravimétrico, a 105 ± 1 °C, durante 24h, em duas repetições (BRASIL, 2009).

Para obtenção de diferentes teores de água, os grãos de niger foram secos em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 40°C. A redução do teor de água foi realizada pelo método gravimétrico, conhecendo a massa e o teor de água inicial do produto, com auxílio de uma balança com resolução de 0,01g, até que os grãos atingissem o teor de água final de aproximadamente 0,09 decimal b.s.

A massa específica aparente ( $r_{ap}$ ), expressa em kg m<sup>-3</sup>, foi determinada utilizando uma balança semi-analítica eletrônica de resolução de 0,01g e um recipiente (proveta) com capacidade de 500mL, de acordo com a Equação 1:

$$\rho_{ap} = \frac{m}{v} \quad (1)$$

em que,

m = massa dos grãos, kg; e

v = volume do recipiente, m<sup>3</sup>.

A massa específica unitária ( $r_u$ ), expressa em kg m<sup>-3</sup>, foi obtida (Equação 2) de forma direta com auxílio de uma balança de precisão de resolução

0,001g, balão volumétrico de baixa capacidade (5 mL) e tolueno. Foram depositados 50 grãos de niger, com sua massa previamente determinada no interior do balão e, posteriormente, foi adicionado o tolueno com auxílio de micropipeta. Por meio do conhecimento da massa dos grãos, do volume e massa do balão, bem como da densidade do líquido, por diferença obteve-se o volume de grãos. Por meio da relação massa/volume dos grãos, dividido pela quantidade de grãos depositados dentro do balão, foi obtida a massa específica unitária.

$$\rho_u = \left( \frac{mt_g / (V_b - V_l)}{n^\circ \text{ de grãos}} \right) \quad (2)$$

em que,

$mt_g$  = massa total dos grãos, kg;

$V_b$  = volume do balão, m<sup>3</sup>; e

$V_l$  = volume do líquido, m<sup>3</sup>.

A porosidade ( $\epsilon$ ), expressa em %, foi determinada indiretamente por meio da Equação 3.

$$\epsilon = \left( 1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_u} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

Para a determinação do índice de contração volumétrica da massa dos grãos de niger, foi calculada a razão entre o volume do produto em determinado instante pelo seu próprio volume inicial (Equação 4), no decorrer do processo de secagem.

$$\psi = \frac{V}{V_0} \quad (4)$$

em que,

$\psi$  = índice de contração, adimensional;

V = volume (da massa ou do grão) em determinado instante, mm<sup>3</sup>;

$V_0$  = volume inicial (da massa ou do grão), mm<sup>3</sup>.

O acompanhamento da redução do volume da massa foi realizado com base em um volume inicial conhecido (500mL) de grãos de niger, verificando-se a redução desse volume no decorrer da secagem, por meio de uma proveta graduada. Ao longo da secagem, para cada teor de água,

foram realizadas seis determinações do volume da massa, determinando, em seguida, a média das seis medições.

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

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com seis tratamentos (teores de água) e seis repetições, sendo os dados submetidos à análise de variância e regressão pelo teste F a 5% de probabilidade.

Para o ajuste dos modelos de regressão aos dados experimentais da massa específica aparente e unitária e porosidade, foi utilizado o programa computacional Sigma Plot 11.0 (SYSTAT SOFTWARE, 2008).

Os dados experimentais de contração da massa foram analisados por meio de regressão não linear, método de Gauss-Newton, empregando o programa computacional Statistica 7.0 (STATISTICA, 2005) para o ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais.

Para análise do grau de ajuste de cada modelo na representação do índice de contração volumétrica

e unitária, foram consideradas as magnitudes do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), do erro médio relativo (P) e do desvio padrão da estimativa (SE), os quais foram calculados de acordo com as Equações 11 e 12.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \right) \quad (11)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (12)$$

em que,

n = número de observações experimentais;

Y = valor observado experimentalmente;

$\hat{Y}$  = valor estimado pelo modelo; e

GLR = graus de liberdade do modelo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1, são apresentados os valores observados e estimados da massa específica unitária dos grãos de niger, para diferentes teores de água durante a secagem.

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

Referência	Modelo	Eq.
Bala & Woods (1984) modificado	$\psi = 1 - a \{1 - \exp[-b(X_0 - X)]\}$	(5)
Corrêa <i>et al.</i> (2004)	$\psi = 1 / [a + b \exp(X)]$	(6)
Exponencial	$\psi = a \exp(bX)$	(7)
Linear	$\psi = a + bX$	(8)
Polinomial	$\psi = a + bX + cX^2$	(9)
Lang e Sokhansanj (1993)	$\psi = a + b(X - X_0)$	(10)

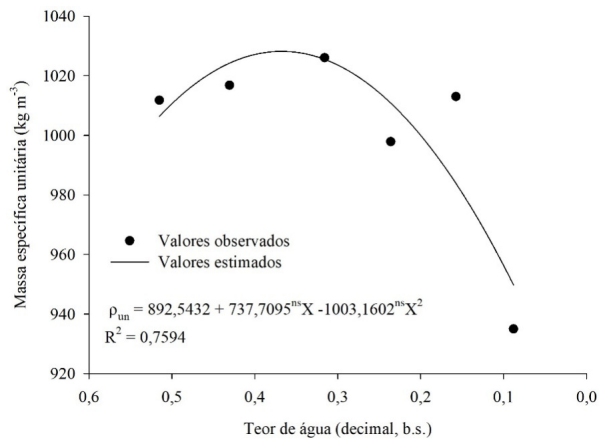
em que,

$\psi$  = índice de contração, adimensional;

X = teor de água do produto, decimal b.s.;

$X_0$  = teor de água inicial do produto, decimal b.s.; e

a, b, c = parâmetros que dependem do produto, adimensional.



**Figura 1.** Valores experimentais e estimados da massa específica unitária dos grãos de niger em função do teor de água. <sup>ns</sup> Não significativo.

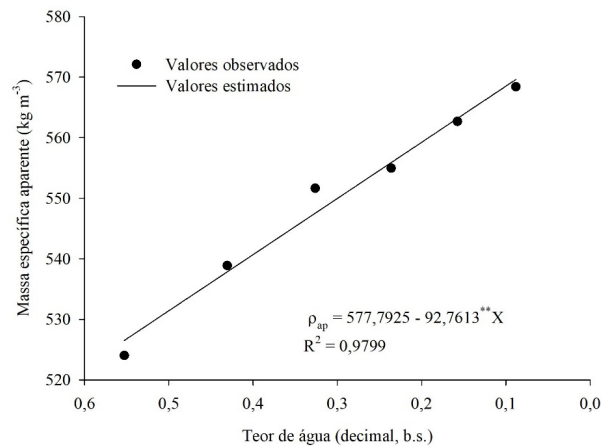
Observa-se decréscimo dos valores da massa específica unitária dos grãos de niger ao final do processo de secagem, que fica evidenciado quando o teor de água atinge, aproximadamente, 0,15 decimal b.s. Para os teores de água acima de 0,15, os valores de massa específica unitária oscilaram moderadamente. Esse fenômeno foi representado por um modelo de regressão polinomial de segunda ordem. Couto *et al.* (1999) também utilizaram este modelo para descrever a massa específica unitária de grãos de café de duas variedades em dois estádios de maturação.

Nota-se que os valores experimentais de massa específica unitária dos grãos de niger variaram de 1026,04 a 934,98 kg m<sup>-3</sup>, para a faixa de teor de água de 0,52 a 0,08 decimal base seca, respectivamente.

Verifica-se que a massa específica unitária dos grãos de niger tende a diminuir no final do processo de secagem. Esse comportamento é semelhante ao encontrado por Goneli *et al.* (2008), trabalhando com frutos de mamona; Siqueira *et al.* (2012a), trabalhando com sementes de pinhão manso, e Araújo *et al.* (2014 e 2015) que trabalharam com sementes e frutos de amendoim. Vale salientar que todas essas culturas são conhecidas por apresentarem elevada concentração de lipídeos. Assim, com a remoção da água do produto, a proporção lipídeo/água aumenta e, como a densidade do lipídeo é menor (USDA, 1975), a massa específica unitária diminui.

Na Figura 2, estão representados os valores observados e estimados da massa específica

aparente dos grãos de niger, em diferentes teores de água durante o processo de secagem.

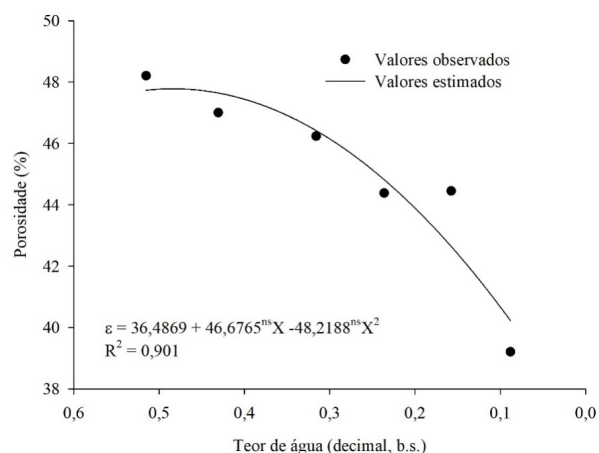


**Figura 2.** Valores experimentais e estimados da massa específica aparente dos grãos de niger em função do teor de água. <sup>\*\*</sup> Significativo a 1% de probabilidade.

De acordo com a Figura 2, fica caracterizado o aumento da massa específica aparente, conforme o teor de água é reduzido durante a secagem dos grãos de niger, comportamento comum para a maioria dos produtos agrícolas (JESUS *et al.*, 2013; SEIFI & ALIMARDANI, 2010). A variação nos valores observados de massa específica aparente pôde ser satisfatoriamente representada por um modelo de regressão linear, que apresentou coeficiente de determinação elevado (97%). Para a faixa de teor de água de 0,55 a 0,08 decimal b.s., os valores médios da massa específica aparente, estimados pelo modelo, variaram de 524,03 a 568,41 kg m<sup>-3</sup>, respectivamente.

Com base nos resultados obtidos de massa específica unitária (Figura 1) e aparente (Figura 2), é possível verificar que a redução da massa individual do produto não é proporcional ao seu volume. No entanto, esse comportamento é corrigido com o melhor arranjo dos grãos dentro do recipiente de determinação da massa específica aparente (SIQUEIRA *et al.*, 2012b), que apresentou comportamento linear com a variação do teor de água.

Na Figura 3, estão apresentados os valores observados da porosidade dos grãos de niger durante a secagem. Verifica-se que, no início do processo de secagem, os grãos apresentaram valores de porosidade próximos a 48% e, com a redução do teor de água, a porosidade dos grãos também reduziu.



**Figura 3.** Valores experimentais e estimados da porosidade dos grãos de niger em função do teor de água.<sup>ns</sup> Não significativo.

O comportamento da curva de porosidade dos grãos de niger assemelhou-se àquela encontrado para frutos de amendoim (ARAÚJO *et al.*, 2015) e grãos de feijão fradinho (LANARO *et al.*, 2011). Outros produtos apresentam aumento da porosidade intergranular em função do aumento do teor de água (GONELI *et al.*, 2008; ARAÚJO *et al.*, 2014).

A porosidade dos grãos de niger variou de 48,20 a 39,20%, para faixa de teor de água de 0,52 a 0,08

decimal b.s., podendo ser representada de forma aceitável por um modelo de regressão polinomial de segunda ordem, o qual apresentou 0,90 de coeficiente de determinação. Essa redução na porcentagem da porosidade pode ser consequência da contração volumétrica, já que esse acontecimento possibilita a redução de espaços vazios na massa de grãos (ARAÚJO *et al.*, 2015).

A determinação da porosidade foi realizada de forma indireta, levando em consideração a relação entre a massa específica aparente e unitária. Sendo assim, como houve redução dos valores da massa específica unitária, seria um comportamento esperado que a porosidade reduzisse com a redução do teor de água do produto. Porém, verifica-se na Figura 3 o contrário, evidenciando que provavelmente ocorreu rearranjo dos grãos, reduzindo os espaços vazios. Na Tabela 2, são apresentados os valores dos parâmetros estatísticos utilizados para avaliar o grau de ajuste dos diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais do índice de contração volumétrica da massa e unitária dos grãos de niger, em função do teor de água.

Analisando a Tabela 2, nota-se que a maioria dos modelos de contração volumétrica apresentou elevados valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ), exceto o modelo de Bala & Woods (1984), que

**Tabela 2.** Valores de desvio padrão da estimativa (SE), erro médio relativo (P) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para os modelos de índice de contração volumétrica da massa e unitária dos grãos de niger.

Modelos	Contração volumétrica da massa		
	SE (decimal)	P (%)	$R^2$ (decimal)
Bala & Woods (1984)	0,0857	7,9877	0,6981
Corrêa <i>et al.</i> (2004)	0,0039	0,4074	0,9995
Exponencial	0,0170	1,6669	0,9899
Linear	0,0237	2,3306	0,9802
Polinomial	0,0046	0,4472	0,9993
Lang e Sokhansanj (1993)	0,0197	2,3162	0,9807
Modelos	Contração volumétrica unitária		
	SE (decimal)	P (%)	$R^2$ (decimal)
Bala & Woods (1984)	0,0677	5,4784	0,5993
Corrêa <i>et al.</i> (2004)	0,0354	2,3389	0,9083
Exponencial	0,0276	1,8951	0,9163
Linear	0,0275	1,9643	0,9173
Polinomial	0,0274	2,0221	0,9175
Lang e Sokhansanj (1993)	0,0278	1,9924	0,9158

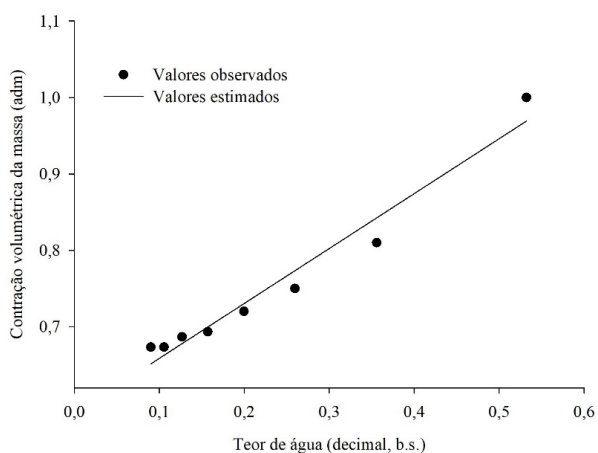
apresentou valor abaixo de 0,70. São verificados valores reduzidos do desvio padrão da estimativa (SE) para todos os modelos testados, sendo que quanto menor os valores desse parâmetro estatístico melhor será a qualidade do ajuste do modelo em relação aos dados observados.

De acordo com Mohapatra & Rao (2005), os valores de erro médio relativo (P) devem ser inferiores a 10% para que um modelo represente adequadamente o processo estudado. Dessa forma, os modelos analisados são satisfatórios para representar o processo de contração volumétrica e unitária dos grãos de niger durante a secagem (Tabela 2).

Dentre os modelos analisados para representar a contração da massa e unitária dos grãos de niger, durante a secagem, o modelo Linear foi selecionado por ser de fácil aplicação, compreensão e por atender todos os parâmetros avaliados. Outros autores já utilizaram esse modelo para representar a contração de produtos agrícolas, como: Oliveira *et al.* (2013) e Smaniotto *et al.* (2015) ao trabalharem com grãos de soja. A Equação 13 expressa o modelo Linear ajustado para representar a contração volumétrica da massa ( $\Psi_m$ , adimensional) dos grãos de niger em função do teor de água, para a faixa de teor de água de 0,53 a 0,09 decimal b.s.

$$\Psi_m = 0,5866 + 0,7190**X \quad (13)$$

Na Figura 4, estão apresentados os valores observados e estimados para a contração volumétrica da massa dos grãos de niger pelo modelo Linear durante a secagem.



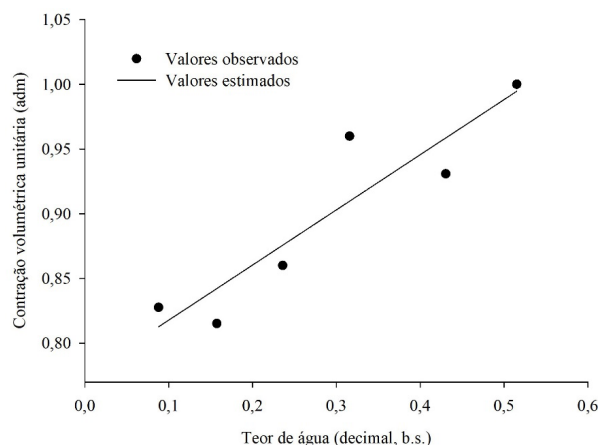
**Figura 4.** Valores observados e estimados para a contração volumétrica da massa dos grãos de niger durante a secagem.

A massa dos grãos de niger contraiu em torno de 33% com relação ao seu volume inicial, para uma redução do teor de água de 0,53 a 0,09 decimal b.s. (Figura 4).

A Equação 14 expressa o modelo Linear ajustado para representar a contração volumétrica unitária ( $\Psi_u$ , adimensional) dos grãos de niger em função do teor de água, para a faixa de teor de água de 0,52 a 0,08 decimal b.s.

$$\Psi_u = 0,7751 + 0,4262**X \quad (14)$$

Na Figura 5, estão apresentados os valores observados e estimados para a contração volumétrica da unitária dos grãos de niger pelo modelo Linear durante a secagem.



**Figura 5.** Valores observados e estimados para a contração volumétrica unitária dos grãos de niger durante a secagem.

A contração volumétrica unitária dos grãos de niger apresentou redução em torno de 17% em relação ao seu volume inicial, para a faixa de teor de água estudada (Figura 5).

A contração unitária dos grãos de niger foi cerca de 16% menor que a contração da massa. Esse comportamento foi semelhante ao encontrado por Goneli *et al.* (2011), estudando frutos de mamona, e Ribeiro *et al.* (2005), trabalhando com grãos de soja, os quais encontraram valores de contração unitária inferiores à contração da massa em cerca de 17 e 18%, respectivamente.

O fato da contração da massa ser maior que a unitária pode ser relacionado aos valores da porosidade (Figura 3). Conforme acontece redução do volume durante a secagem, ocorre

rearrançamento dos grãos na massa, diminuindo a quantidade de espaços intergranulares vazios.

## CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- A massa específica aparente aumentou no decorrer do processo de secagem, enquanto que a massa específica unitária e a porosidade dos grãos de niger reduziram;
- A redução do teor de água influencia a contração volumétrica da massa e unitária dos grãos de niger, levando à redução de seus valores em torno de 33% e 17%, respectivamente;
- A contração volumétrica dos grãos de niger pode ser satisfatoriamente representada por um modelo de regressão Linear.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FUNDECT - MS pelo apoio financeiro durante o desenvolvimento desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, W.D.; GONELI, A.L.D.; ORLANDO, R.C.; MARTINS, E.A.S.; HARTMANN FILHO, C.P. Propriedades físicas dos frutos de amendoim durante a secagem. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.28, n.4, p.170-180, 2015.

ARAÚJO, W.D.; GONELI, A.L.D.; SOUZA, C.M.A.; GONÇALVES, A.A.; VILHASANTI, H.C.B. Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.3, p.279-286, 2014.

BALA, B.K.; WOODS, J.L. Simulation of deep bed malt drying. **Journal of Agricultural Engineering Research**, New York, v.30, n.3, p.235-244, 1984.

BEZERRA, P.H.S.; BIAGGIONI, M.A.M.; SILVA, M.A.P.; SPEROTTO, F.C.S.; BRANDÃO, F.J.B.

Efeito do armazenamento na qualidade dos grãos e do óleo de crambe para produção de biodiesel. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v.30, n.3, p.310-318, 2015.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF, 395p.

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 450p.

COUTO, S.M.; MAGALHÃES, A.C.; DANIEL MARÇAL DE QUEIROZ, D. M. DE; BASTOS, I.T. Massa específica aparente e real e porosidade de grãos de café em função do teor de umidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.1, p.61-68, 1999

DI LANARO, N.; BAJAY, L.G.; QUEIROZ, V.M.P.; PINTO, R.C.S.; LEITÃO, I.G.A.; LESSIO, B.C.; AUGUSTO, P.E.D. Determinação de propriedades físicas do feijão fradinho. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.13, n.1, p.27-35, 2011.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 412p.

GETINET, A.; SHARMA, S.M. Niger (*Guizotia abyssinica* (L. f.) Cass. **Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops** 5. Rome: International Plant Genetic Resources Institute, 1996. 59p.

GONELI, A.L.D.; CORRÊA, P.C.; BOTELHO, F.M.; OLIVEIRA, G.H.H.; SANTOS, E.S. Propriedades físicas dos frutos de mamona durante a secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.33, n.2, p.148-155, 2008.

GONELI, A.L.D.; CORRÊA, P.C.; MAGALHÃES, 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.
- 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**, Viçosa, v.21, n.1, p.9-18, 2013.
- KIBAR, H. Physical and mechanical properties of soybean. **International Agrophysics**, Lublin, v.22, p.239-244, 2008.
- MAUAD, M.; GARCIA, R.A.; SILVA, R.M.M.F.; SILVA, T.A.F.; SCHROEDER, I.M.; KNUDSEN, C.H.; QUARESMA, E.V.W. Produção de matéria seca e acúmulo de macronutrientes na parte aérea das plantas de niger. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.39, n.2, p.533-540, 2015.
- 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**, Selangor, v.20, n.4, p.1521-1527, 2013.
- MOHAPATRA, D.; RAO, P.S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, Davis, v.66, n.4, p.513-518, 2005.
- OLIVEIRA, D.E.C.; RESENDE, O.; SMANIOTTO, T.A.S.; SIQUEIRA, V.C. JOSÉ NETO, C.A. Alterações morfológicas em grãos de soja durante o processo de secagem. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.34, n.3, p.975-984, 2013.
- OLIVEIRA, G.H.H.; CORRÊA, P.C SANTOS; F. L.; VASCONCELOS; W. L.; CALIL JÚNIOR; C.; BAPTESTINI; F.M.; ELÍAS G.A.V. Caracterização física de café após torrefação e moagem. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.35, n.4, p.1813-1828, 2014.
- RAMADAN, M.F.; MÖRSEL, J.T. Determination of the lip classes and fatty acid profile of Niger (*Guizotia abyssinica* Cass.) seed oil. **Phytochemical Analysis**, v.14, n.2, p.366-370, 2003.
- RIBEIRO, D.M.; CORRÊA, P.C.; RODRIGUES, D.H.; GONELI, A.L.D. Analysis of physical properties variation of soy grains during the drying process. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.25, n.3, p.611-617, 2005.
- SEIFI, M.R.; ALIMARDANI, R. Moisture-Dependent Physical Properties of Sunflower Seed (SHF8190). **Modern Applied Science**, Toronto, v.4, n.7; p.135-143, 2010.
- SILVA, J.S.; LACERDA FILHO, A.F.; DEVILLA, I.A.; LOPES, D.C. Aeração de grãos armazenados. In: SILVA, J. S., **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**, Viçosa, MG, 2000. p.269-295.
- SIQUEIRA, V.C.; RESENDE, O.; CHAVES, T.H. Propriedades físicas das sementes de pinhão-mansão ao longo da secagem em diferentes temperaturas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.33, n.1, p.2705-2714, 2012a.
- SIQUEIRA, V.C.; RESENDE, O.; CHAVES, T.H. Propriedades físicas dos frutos de pinhão-mansão durante a secagem. **Global Science and Technology**, v.5, p.83-92, 2012b.
- SMANIOTTO, T.A.S.; OSVALDO, R.; OLIVEIRA, D.E.C.; SIQUEIRA, V.C.; SOUSA, K.A. Ajuste de modelos matemáticos a contração volumétrica unitária e da massa dos grãos de soja. **Revista Agro@ambiente On-line**, Boa Vista, v.9, n.4, p.397-404, 2015.
- Statistica. Statistica 7.0, EUA Software. Tucksa, StatSof, 2005.
- Systat Software, Inc. Sigma Plot for Windows, version 11.0. 2008.
- USDA. United States Department Of Agriculture. **Handbook of the nutritional contents of foods**. New York: Dover Publications, 1975. 190p.