

# Secagem de grãos de feijão guandu

*Brunno Maciel Costa Silva<sup>1</sup>; Daniel Emanuel Cabral de Oliveira<sup>1</sup>; Danihanne Borges e Silva<sup>1</sup>; Valdir Alves dos Santos Neto<sup>1</sup>; Welber Barbosa Paes<sup>1</sup>*

---

## RESUMO

O feijão guandu (*Cajanus cajan*) é uma leguminosa arbustiva semiperene, bastante utilizada como adubo verde. O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Fitotecnia do IF Goiano - Campus Iporá. Os grãos foram submetidos à secagem em estufa com ventilação de ar forçada em quatro condições de temperatura: 40, 50, 60 e 70 °C. A secagem prosseguiu até os grãos atingirem um teor de água de 0,12 (decimal, b.s.). A redução do teor de água ao longo da secagem foi acompanhada pelo método gravimétrico (perda de massa), conhecendo-se o teor de água inicial do produto até atingir o teor de água desejado. Os modelos matemáticos foram ajustados por meio de análise de regressão não linear pelo método Gauss-Newton e para o grau de ajuste considerando a magnitude do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e erro médio relativo (P). O modelo de Wang Singh foi o que melhor descreveu o fenômeno de secagem. O coeficiente de difusão efetivo aumentou com a elevação da temperatura e a energia de ativação foi de 42,534 kJ mol<sup>-1</sup> para os grãos de feijão guandu.

**Palavras-chave:** *Cajanus cajan*; cinética de secagem; difusão líquida; modelagem.

## INTRODUÇÃO

O feijão guandu (*Cajanus cajan*) também conhecido como feijão andu, ervilha-de-bico, entre outros, é uma leguminosa arbustiva, tolerante à seca e solos com baixo teor de nutrientes. Além disso, serve para consumo humano; a forragem pode ser utilizada na alimentação animal, pois apresenta altos níveis de proteína (PETERS et al., 2003; CARVAJAL-TAPIA et al., 2016).

Segundo MARTINAZZO et al. (2010) a secagem é o processo comercial mais utilizado para a preservação da qualidade dos produtos agrícolas. Esse processo ocorre a partir da utilização de ar quente para a transferência de calor para o produto e a consequente vaporização da água por difusão, ocorrendo a desidratação do material (CELESTINO,

---

<sup>1</sup>Instituto Federal Goiano – Campus Iporá

2010).

Naturalmente, são diversos os fatores que interferem na viabilidade do produto, destacando-se, dentre eles, as condições climáticas e de manejo durante sua produção, colheita, secagem e armazenamento. Nesse sentido, a redução do teor de água como resultado da secagem, atua diretamente na diminuição do metabolismo, o que pode contribuir para diminuir a taxa de deterioração e aumentar o tempo em que podem ser armazenadas, sem perda da qualidade (CARLESSO et al., 2008).

O objetivo do presente projeto foi ajustar modelos matemáticos ao processo de secagem dos grãos de feijão guandu (*Cajanus cajan*) em diversas condições de temperatura e determinar qual modelo matemático pode prever melhor esse acontecimento, bem como determinar a difusão líquida efetiva e a energia de ativação.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Fitotecnia do Instituto Federal Goiano - Campus Iporá. Utilizando grãos de feijão guandu (*Cajanus cajan*) produzidos e colhidos manualmente na Fazenda Escola do IF Goiano – Campus Iporá, com o teor de água inicial de aproximadamente de 0,30 base seca (base seca, b.s.). Os grãos foram submetidos à secagem em estufa com ventilação de ar forçada em quatro condições de temperatura: 40, 50, 60 e 70 °C. A secagem prosseguiu até que os grãos atingirem teor de água de 0,12 (b.s.), determinado em estufa a  $105 \pm 3$  °C, durante 24 h (BRASIL, 2009).

Para a determinação das razões de teor de água dos grãos de feijão guandu durante

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} \quad (1)$$

a secagem, foi utilizado a seguinte expressão:

Em que:

RX: razão de teor de água do produto, adimensional;

X: teor de água do produto (b.s.);

X<sub>i</sub>: teor de água inicial do produto (b.s.); e

X<sub>e</sub>: teor de água de equilíbrio do produto (b.s.).

Os modelos matemáticos frequentemente utilizados para representação da secagem de produtos vegetais (Tabela 1) foram ajustados aos dados experimentais da secagem dos grãos de feijão guandu.

**Tabela 1.** Modelos matemáticos utilizados para prever a secagem de produtos vegetais.

Designação do modelo	Modelo	
$RX = 1 + a t + b t^2$	Wang e Singh	(1)
$RX = \exp(-k \cdot t^n)$	Page	(2)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b t$	Midilli	(3)
$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$	Logarítmico	(4)
$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \cdot \exp(-k \cdot b \cdot t)$	Aproximação da Difusão	(5)

Em que:

t : tempo de secagem, h;

k, k<sub>o</sub>, k<sub>1</sub> : constantes de secagem h<sup>-1</sup>; e

a, b, c, n : coeficientes dos modelos.

Os modelos matemáticos foram ajustados por meio de análise de regressão não linear pelo método Gauss-Newton e para o grau de ajuste considerando a magnitude do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e do erro médio relativo (P). Para descrever a difusão líquida será utilizado o modelo da forma geométrica de cilindro infinito, com aproximação de oito termos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

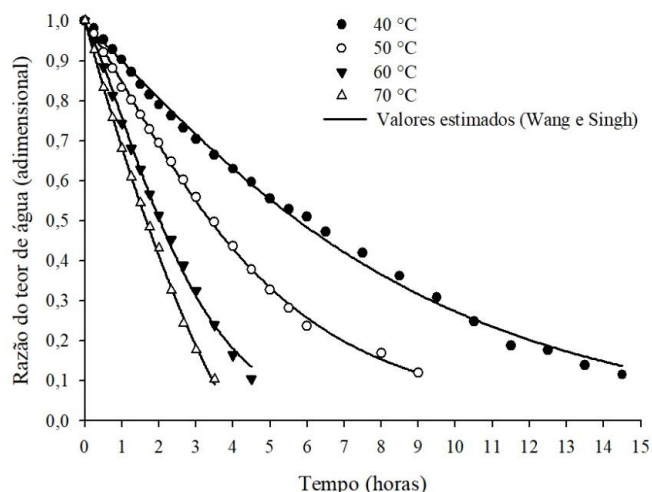
Na Tabela 2, encontram-se os parâmetros estatísticos utilizados para a comparação entre os onze modelos de secagem analisados, nas diversas condições de secagem utilizadas para os grãos de feijão guandu.

**Tabela 2.** Teste de Qui-quadrado ( $\chi^2$ ), coeficiente de determinação ( $R^2$ , %) e erro médio relativo (P) para os modelos analisados, durante a secagem dos grãos de feijão guandu (*Cajanus cajan*).

Modelo	Temperatura (°C)							
	40 °C			50 °C				
	R <sup>2</sup>		P	R <sup>2</sup>		P		
Wang e Singh		99,79		2,507		99,86		2,300
Page		99,65		4,304		99,87		2,312
Midilli		99,90		1,926		99,88		1,923
Logarítmico		99,88		1,957		99,70		3,812
Aprox. da Difusão		99,72		1,096		98,96		6,657
Modelo	Temperatura (°C)							
	60 °C			70 °C				
	R <sup>2</sup>		P	R <sup>2</sup>		P		
Wang e Singh		99,93		3,954		99,89		2,615
Page		99,71		4,607		99,37		5,449
Midilli		99,98		0,890		99,89		2,759
Logarítmico		99,95		1,229		99,89		2,870
Aprox. da Difusão		99,77		2,733		99,89		2,850

Avaliando os valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), nota-se que todos os valores foram superiores a 99%, que, segundo MADAMBA et al. (1996), o que representa bom desempenho do processo de secagem. Sobre os valores do erro médio relativo (P), observa-se que todos os modelos, apresentou valores de P menores que 10%, que, segundo Mohapatra & Rao (2005), indica ser adequado para a descrição do fenômeno. Os modelos de Wang e Singh e Midilli foram os que apresentaram os melhores parâmetros estatísticos. Devido ao menor número de coeficientes e menor complexidade, o modelo Wang e Singh foi o modelo escolhido para a representação do processo de secagem dos grãos de feijão guandu.

Na Figura 1, estão apresentadas as curvas de secagem dos grãos de feijão guandu estimadas pelos modelos Wang e Singh para as temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C. Observa-se que os tempos de secagem dos grãos, considerando o teor de água inicial de aproximadamente 0,85 e o final de 0,09 (b.s.) nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C foram de 14,5; 9; 4,5 e 3,5 horas, respectivamente.

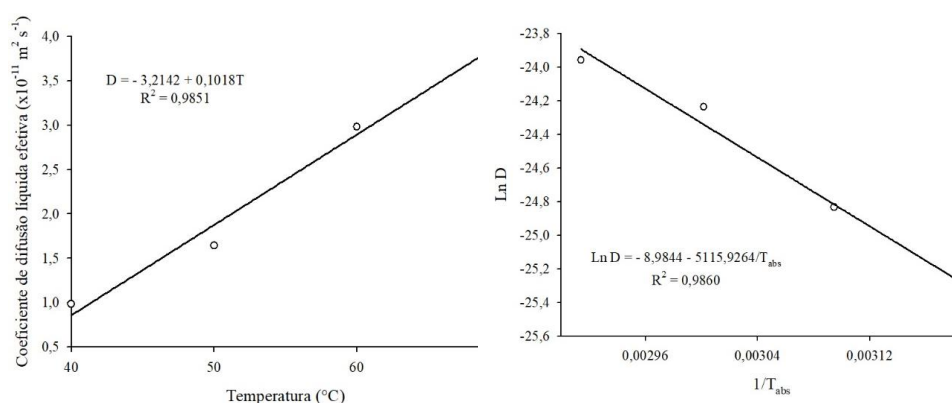


**Figura 1.** Razão de teor de água (RX, decimal) experimentais e estimados dos grãos de feijão guandu (*Cajanus cajan*) para diversas temperaturas de secagem ao longo do tempo.

Foi visto que, o processo de secagem ocorre com predominância em período de secagem a taxa decrescente, relacionado com uma maior resistência ao transporte de água no interior do produto, tornando a taxa de evaporação superior à taxa de reposição de água na superfície do produto (KASHANINEJAD et al., 2007).

CORADI et al. (2016) descobriram que o modelo de Wang e Singh mostrou-se adequado para descrever o processo de secagem de grãos de soja em diferentes temperaturas. COSTA et al. (2011) ajustaram modelos aos dados experimentais de secagem de grãos de crambe nas temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70 °C, e a equação de Wang e Singh mostrou o melhor ajuste entre os modelos avaliados.

A determinação do coeficiente de difusão efetivo para as diferentes temperaturas do ar de secagem dos grãos de feijão guandu (Figura 2A) apresentou comportamento linear crescente em que os valores do coeficiente de difusão efetivo, aumentaram em resposta a elevação da temperatura do ar de secagem, variando de  $0,985 \times 10^{-11}$  a  $3,933 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  para a faixa de temperatura de 40 a 70 °C.



**Figura 2.** Coeficiente de difusão efetivo (A) e a representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo (B) obtido para a secagem dos grãos de feijão guandu (*Cajanus cajan*) nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C

SIQUEIRA et al. (2012) em seu trabalho com frutos de pinhão-manso, a difusão efetiva aumentou com a elevação da temperatura do ar, apresentando valores entre  $16,20 \times 10^{-10}$  e  $68,11 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  em temperaturas entre 45 e 105 °C.

A energia de ativação para a difusão líquida no processo de secagem dos grãos de feijão guandu foi de 42,534 kJ mol<sup>-1</sup>. Segundo ZOGZAS et al. (1996), o valor obtido neste trabalho encontra-se dentro da faixa recomendada, já que a energia de ativação para produtos agrícolas varia entre 12,7 a 110 kJ mol<sup>-1</sup>.

## CONCLUSÕES:

O modelo de Wang e Singh é o que melhor descreve o fenômeno de secagem dos grãos de feijão guandu devido à sua simplicidade quando comparado com os demais modelos.

O coeficiente de difusão efetivo aumentou de acordo com a temperatura de secagem, descrito pela equação de Arrhenius apresentando uma energia de ativação de 42,534 kJ mol<sup>-1</sup>.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ARAUJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; HARTMANN FILHO, C. P.; MARTINS, E. A. S. Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada. **Ciência Agrônômica**, v.48, n.3, p.448-457, 2017.

BEZERRA, C. V.; SILVA, L. H. M.; CORRÊA, D. F.; RODRIGUES, A. M. C. A modeling study for moisture diffusivities and moisture transfer coefficients in drying of passion fruit peel. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v.85, p.750-755, 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. SNDA/DNPV/CLAV, p.309-316, 2009.

CARLESSO, V.O.; BELBERT, P.A.; SILVA, R.F.; THIÉBAUT, J.T.L. Secagem, armazenamento e qualidade fisiológica de sementes de maracujá-amarelo. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.33, n.1, p.9-18, 2008.

CARVAJAL-TAPIA, J.I.; MARTÍNEZ-MAMIAN, C.A.; TRUQUE-RUIZ, N.Y. Digestibilidade da farinha de feijão bóer (*Cajanus cajan*) em alimentos para frangos de corte. **Biotecnologia no Setor Agrícola e Agroindustrial**, v.14, n.1, p.87-94, 2016.

CELESTINO, S. M. C. Princípios de secagem de alimentos, Embrapa Cerrados, 2010.

CORADI, P.C.; FERNANDES, C.H.P.; HELMICH, J.C. Ajuste de modelos matemáticos e qualidade de grãos de soja na secagem a altas temperaturas. **Revista Brasileira de**

**Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, p.385-392, 2016.

CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M.; GONELI, A. L. D.; CARVALHO, F. M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, v.57, n.5, p.595-601, 2010.

COSTA, L.M.; RESENDE, O.; SOUZA, K.A.; GONÇALVES, D.N. Coeficiente de difusão efetiva e modelagem matemática da secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental**, v.15, p.1089-1096, 2011.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. Applied regression analysis. John Wiley & Sons, 1998.

KASHANINEJAD, M.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDIA, G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, v.78, n.1, p.98-108, 2007.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. Thin-layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, v.29, n.1, p.75-97, 1996.

MARTINAZZO A. P.; MELO E. C.; CORRÊA P. C.; SANTOS R. H. S. Modelagem matemática e parâmetros qualitativos da secagem de folhas de capim-limão (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.12. n.4, p.488-498, 2010.

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Good Engineering**, v.66, n.4, p.513-518, 2005.

PETERS, M.; HORACIO, L.; SCHOMIDT, A.; HINCAPIÉ, B. **Espécies forrageiras polivalentes: Opções para produtores da América Central**. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), p.113, 2003.

RESENDE, O.; ULLMANN, R.; SIQUEIRA, V. C.; CHAVES, T. H.; FERREIRA, L. U. Modelagem matemática e difusividade efetiva das sementes de pinhão manso (*Jatropha curcas* (L.)) durante a secagem. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.6, p.1123-1135, 2011.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T.H. Drying kinetics of *Jatropha* seeds. **Revista Ceres**, v.59, n.2, p.03-2930, 2012.

ZOGZAS, N.P.; MAROULIS, Z.B.; MARINOS-KOURIS, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. **Drying Technology**, v.14, n.10, p.2225-2253, 1996.