

## Modelagem matemática das curvas de secagem de grãos de feijão carioca

Pâmella de Carvalho Melo<sup>1</sup>, Ivano Alessandro Devilla<sup>1</sup>, Jordana Moura Caetano<sup>2</sup>,  
Vanessa Beny da Silva Xavier Reis<sup>1</sup>, Arlindo Modesto Antunes<sup>1</sup>, Mateus Morais Santos<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Goiás, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, BR 153, 3105, Fazenda Barreiro do Meio, CEP 75132-903, Anápolis-GO, Brasil. Caixa Postal 459. E-mail: pamellamelo91@hotmail.com; ivano.devilla@gmail.com; vanesa\_reis@hotmail.com; arlindo.modesto1@hotmail.com; mms\_110@hotmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal de Goiás, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Avenida Esperança, s/n, Campus Samambaia, CEP 74690-900, Goiânia-GO, Brasil. E-mail: jordanamcaetano@gmail.com

### RESUMO

Este trabalho visa caracterizar a cinética de secagem de feijão carioca, cultivar BRS Estilo e Canadense e ajustar diferentes modelos matemáticos. O produto foi submetido à secagem em estufa nas temperaturas de 35, 55 e 65 °C. Amostras foram colocadas em bandejas de metal com fundo telado, em três repetições. Durante o processo de secagem, as bandejas com as amostras foram pesadas periodicamente, até que atingisse a massa constante. Os modelos matemáticos foram ajustados aos dados utilizando o software Statística 12.0, e os parâmetros para selecionar o melhor modelo foram: o coeficiente de determinação ajustado, o erro médio relativo e o erro médio estimado. O tempo necessário para a cultivar BRS Estilo atingir a massa constante foi de 58,33; 48,83 e 21,58 h, para 35, 55 e 65 °C, respectivamente, o modelo matemático Midilli foi o recomendado para modelar o processo de secagem nas temperaturas 35 e 65 °C e, o modelo Aproximação da difusão foi o recomendado para a temperatura de 55 °C. Para a cultivar Canadense o tempo necessário para atingir o equilíbrio higroscópico foi de 57,42; 46,00 e 20,91 h, para 35, 55 e 65 °C, respectivamente, o modelo mais recomendado na temperatura de 35 °C foi o modelo Midilli e para as temperaturas de 55 e 65 °C o modelo Thompson.

**Palavras-chave:** cinética de secagem, *Phaseolus vulgaris* (L.), pós-colheita

### *Mathematical modeling of drying curves of carioca beans*

### ABSTRACT

This work aims to characterize the kinetics of the drying process of Carioca, BRS Estilo and Canadense beans, to adjust different mathematical models. The product has undergone a drying process in an oven at temperatures of 35, 55 and 65°C. Samples were placed in metal trays with grille fund, in three repetitions. During the drying process, trays with samples were weighed periodically until it reached the constant mass. The mathematical models were adjusted according to collected data provided by Statistica 12.0 software, and parameters to select the best model were: the adjusted coefficient of determination, the average relative error, and the estimated average error. The time required for BRS Estilo achieve constant mass was 58.33, 48.83 and 21.58 h at temperatures of 35, 55 and 65°C, respectively, The mathematical Midilli model was recommended for modeling the drying process at temperatures of 35, 55 and 65°C, respectively, and the mathematical model Midilli of two terms was recommended at temperature of 55°C. The time required by Canadiens to achieve hygroscopic equilibrium was 57.42, 46.00 and 20.91 h on 35, 55 and 65°C, respectively, the most recommended mathematical model at 35°C was the Midilli and model for the temperatures of 55 and 65°C the Thompson model.

**Key words:** kinetic drying, *Phaseolus vulgaris* (L.), postharvest

## Introdução

O feijão é cultivado em quase todos os países de clima tropical e subtropical, assumindo uma grande importância na alimentação humana (Resende et al., 2012). Apesar da baixa produtividade em nível nacional, em torno de 850 kg ha<sup>-1</sup>, o feijoeiro vem sendo explorado em uma diversidade de sistemas de produção em diferentes agroecossistemas, obtendo-se produtividades superiores a 3.000 kg ha<sup>-1</sup> (Farinelli & Lemos, 2010).

A conservação pela secagem baseia-se no fato de que tanto os microrganismos como as enzimas e todo o mecanismo metabólico necessitam de água para seus processos bioquímicos (Morais et al., 2013). No entanto, na secagem, temperatura e umidade do ar que geram grandes taxas de remoção de água podem afetar substancialmente a qualidade do produto (Almeida et al., 2009).

Para o caso do feijão, principalmente para as variedades mais novas, poucos trabalhos vêm sendo realizados no sentido de proporcionar informações sobre os efeitos imediato e latente da combinação da temperatura, teor de água inicial e teor de água final, durante o processo de secagem, sobre a qualidade das sementes de feijão (Andrade et al., 2006).

As relações semi-empíricas e empíricas têm-se mostrado como melhores opções para prever o processo de secagem, apesar de sua validade estar restrita às condições sob as quais os dados experimentais foram obtidos (Brooker et al., 1992).

Considerando-se a importância do estudo teórico do processo de secagem dos produtos agrícolas e a limitação de informações a respeito dos fenômenos que ocorrem durante a secagem de novas cultivares de feijão, o objetivo desse estudo foi determinar e ajustar modelos matemáticos a cinética de secagem de grãos de feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) das cultivares BRS Estilo e Canadense, nas temperaturas de 35, 55 e 65 °C.

## Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Secagem e Armazenagem de Produtos Vegetais do Campus de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Estadual de Goiás (UEG) localizada em Anápolis-GO.

Foram utilizados grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivares BRS Estilo e Canadense, produzidos pela Embrapa Arroz e Feijão, localizada em Santo Antônio de Goiás. Inicialmente foi determinado o teor de água inicial do produto pelo método padrão da estufa, 105 ± 3 °C, durante 24 h em três repetições (Brasil, 2009).

O produto foi submetido à secagem em estufa com ventilação forçada de ar nas temperaturas de 35, 55 e 65 °C ± 1°C. Estas temperaturas foram escolhidas pelo fato de 35 °C ser a ideal para secagem de sementes, 55 °C normalmente utilizada para secagem de grãos e a temperatura de 65 °C pode causar estresse ao grão. Amostras dos feijões foram colocadas em bandejas removíveis de metal com fundo telado para a passagem do ar através destes, em três repetições. A temperatura e umidade relativa do ar ambiente foram monitoradas por meio de um termo higrômetro digital

instalado na sala de secagem. Durante o processo de secagem, as bandejas com as amostras foram pesadas periodicamente, começando a pesagem de 5 em 5 minutos e assim que atingisse a massa constante aumentava-se o intervalo de pesagem (de 5 em 5 min, 10 em 10 min, 20 em 20 min, 30 em 30 min, 45 em 45 min, 1 em 1 hora, 2 em 2 horas), assim sucessivamente até atingir a umidade de equilíbrio do produto, ou seja, até massa constante, utilizando-se uma balança semi-analítica ± 0,01g, de precisão da marca Shimadzu.

Para a determinação das razões de umidade do feijão durante a secagem, nas diferentes condições de ar, utilizou-se a Eq. 1:

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

em que:

- RX - razão de umidade do produto, adimensional;
- X - teor de água do produto, (kg<sub>água</sub> kg<sub>massa seca</sub><sup>-1</sup>);
- X<sub>i</sub> - teor de água inicial do produto, (kg<sub>água</sub> kg<sub>massa seca</sub><sup>-1</sup>); e
- X<sub>e</sub> - teor de água de equilíbrio do produto, (kg<sub>água</sub> kg<sub>massa seca</sub><sup>-1</sup>).

Os modelos matemáticos (Tabela 1) foram ajustados aos dados experimentais de secagem, utilizando o Software Statistica 12.0.

**Tabela 1.** Modelos matemáticos utilizados para prever o fenômeno de secagem de produtos agrícolas

Designação do modelo	Modelo	
$RX = a \exp(-k t) + (1 - a) \exp(-k b t)$	Aproximação da Difusão	(2)
$RX = a \exp(-k t) + (1 - a) \exp(-k a t)$	Exponencial de Dois Termos	(3)
$RX = a \exp(-k t)$	Henderson e Pabis	(4)
$RX = a \exp(-k t) + c$	Logarítmico	(5)
$RX = a \exp(-k t^n) + b t$	Midilli	(6)
$RX = \exp(-k t)$	Newton	(7)
$RX = \exp(-k t^n)$	Page	(8)
$RX = \exp(-a - (a^2 + 4 b t)^{0.5}) / 2 b$	Thompson	(9)
$RX = 1 + a t + b t^2$	Wang e Singh	(10)

RX - razão de umidade do produto, adimensional; t - tempo de secagem, h; k - constantes de secagem, h<sup>-1</sup>, e a, b, c, n - coeficientes dos modelos

Fonte: Corrêa et al. (2007)

Os parâmetros utilizados para selecionar o melhor modelo foram: o coeficiente de determinação ajustado (R<sup>2</sup>), o erro médio relativo (P) e o erro médio estimado (SE). Os valores de P e de SE foram estimados de acordo com as Eqs. 11 e 12.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y - Y_0|}{Y} \quad (11)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - Y_0)^2}{GLR}} \quad (12)$$

em que:

- Y - valor observado experimentalmente;
- Y<sub>0</sub> - valor calculado pelo modelo;
- n - número de observações experimentais;
- GLR - número de graus de liberdade do modelo.

## Resultados e Discussão

Na Tabela 2 são apresentadas as estimativas dos coeficientes de cada modelo matemático utilizados na modelagem das curvas de secagem do feijão-carioca cultivar BRS Estilo nas temperaturas 35, 55 e 65 °C.

Nas três temperaturas utilizadas na secagem do feijão-carioca, nota-se que todos os modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais apresentaram coeficientes de determinação ( $R^2$ ) próximos a 1,0, (Tabela 3). Segundo Madamba et al. (1996), este coeficiente sozinho, não constitui um bom critério para a seleção de modelos não lineares, por isso os valores para o erro médio estimado (SE) e erro médio relativo (P) foram considerados.

Dentre os que apresentaram melhores valores para os parâmetros estatísticos em cada temperatura, o modelo Midilli é o mais recomendado para as temperaturas de 35 °C e 65 °C apresentando:  $R^2 = 99,82\%$ ;  $P = 2,08\%$  e  $SE = 0,015$  e  $R^2 = 99,92\%$ ;  $P = 8,32\%$  e  $SE = 0,015$ , respectivamente. Na temperatura de 55°C, o modelo Aproximação da Difusão é o mais recomendado, apresentando:  $R^2 = 99,95\%$ ;  $P = 2,03\%$  e  $SE = 0,011$ .

Para Corrêa et al. (2007) os modelos matemáticos Midilli e Aproximação da difusão estão entre os que melhor representam o fenômeno de secagem do feijão. Segundo Moraes et al. (2013), o modelo de Midilli também representa satisfatoriamente a secagem de feijão-caupi para as temperaturas de 45 e 55 °C.

Resende et al. (2010) recomendam o modelo de Midilli para descrição da cinética de secagem do feijão Adzuki por apresentar um dos melhores ajustes na secagem e ainda apresentar operações matemáticas simples e possuir menor número de coeficientes. O modelo matemático Midilli é matematicamente um dos mais práticos, apresentando menor

número de coeficientes, tornando mais simples sua aplicação e uso em simulações de secagem (Kashaninejad et al., 2007).

Em trabalhos com outros produtos, como a carqueja (Radünz et al., 2011), folhas de fruta-de-lobo (Prates et al., 2012), folhas de manjeriço (Reis et al., 2012), e folhas de aroeira (Goneli et al., 2014), o modelo de Midilli também foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais de secagem. E em outros tipos de produtos o modelo da Aproximação da Difusão também foi selecionado para representar a cinética de secagem: como café (Resende et al., 2009) e crambe (Faria et al., 2012).

No processo de determinação das curvas de secagem, a umidade inicial dos grãos de feijão-carioca (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar BRS Estilo foi de  $24,05 \pm 0,2\%$  b.s.

Na Figura 1 são apresentadas as curvas de secagem de feijão-carioca com dados experimentais e estimados pelo

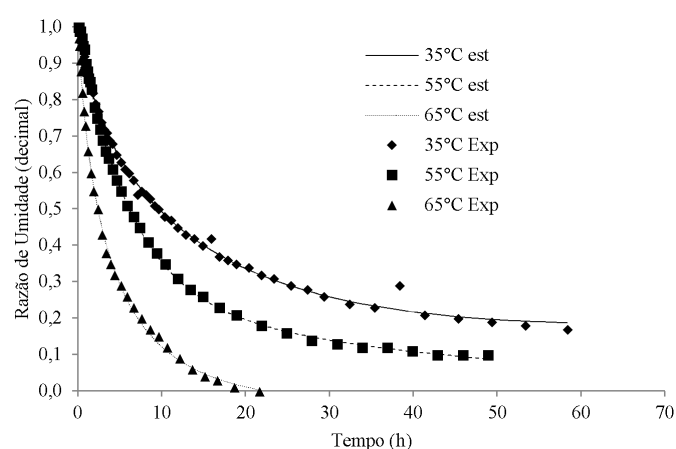


Figura 1. Curvas de secagem estimadas e experimentais de feijão-carioca (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar BRS Estilo, nas temperaturas 35, 55 e 65 °C

Tabela 2. Coeficientes dos modelos matemáticos (AD: Aproximação da Difusão; EDT: Exponencial de Dois Termos; H&P: Henderson e Pabis; LOG: Logarítmico; MDL: Midilli; NTN: Newton; PG: Page; TH: Thompson; W&S: Wang e Singh) ajustados da curva de secagem do feijão-carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar BRS Estilo, para as temperaturas de 35, 55 e 65 °C

Modelo	35 °C					55 °C					65 °C				
	Coeficientes														
	a	b	c	n	k	a	b	c	n	k	a	b	c	n	k
AD	0,475	0,216	-	-	0,099	0,734	0,136	-	-	0,165	0,343	0,181	-	-	0,913
EDT	0,186	-	-	-	0,252	0,249	-	-	0,292	0,206	-	-	-	1,006	
H&P	0,885	-	-	-	0,049	0,966	-	-	0,095	0,940	-	-	-	0,243	
LOG	0,739	-	0,22	-	0,105	0,883	-	0,12	0,136	0,905	-	0,05	-	0,286	
MDL	1,041	0,002	-	0,657	0,173	1,037	0,002	-	0,824	0,166	1,033	-0,001	-	0,393	
NTN	-	-	-	-	0,138	-	-	-	0,102	-	-	-	-	0,269	
PG	-	-	-	0,626	0,161	-	-	-	0,782	0,157	-	-	-	0,356	
TH	-1,036	0,430	-	-	-	-2,786	0,649	-	-	-2,175	0,948	-	-	-	
W&S	-0,048	0,001	-	-	-	-0,065	0,001	-	-	-0,150	0,005	-	-	-	

Tabela 3. Coeficiente de determinação ( $R^2$ , %), erro médio relativo (P, %), erro médio estimado (SE, decimal) para os modelos analisados, para a secagem do feijão-carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar BRS Estilo nas temperaturas 35, 55 e 65 °C

Modelo	35 °C			55 °C			65 °C		
	$R^2$	P	SE	$R^2$	P	SE	$R^2$	P	SE
Aproximação da Difusão	99,82	2,98	0,015	99,95	2,03	0,011	99,95	12,54	0,010
Exponencial de Dois Termos	97,18	13,80	0,059	99,47	13,89	0,034	99,79	10,94	0,022
Henderson e Pabis	96,30	14,65	0,068	98,80	20,26	0,050	99,34	15,60	0,040
Logarítmico	99,37	5,91	0,028	99,89	4,53	0,016	99,53	29,77	0,033
Midilli	99,82	2,08	0,015	99,93	2,83	0,012	99,92	8,32	0,015
Newton	93,84	20,46	0,086	98,67	21,74	0,052	99,00	21,23	0,048
Page	99,45	4,68	0,026	99,52	10,86	0,032	99,88	14,37	0,017
Thompson	99,76	3,06	0,017	99,82	6,35	0,020	99,89	22,35	0,015
Wang e Singh	91,04	21,72	0,104	94,88	33,16	0,103	92,72	60,73	0,123

modelo matemático Midilli para as temperaturas de 35 °C e 65 °C e o modelo matemático Aproximação da difusão para temperatura de 55 °C em função do tempo. Verificou-se que o tempo necessário para o feijão-carioca atingir a massa constante (equilíbrio higroscópico), foi de 58,33; 48,83 e 21,58 horas, para as temperaturas de 35, 55 e 65 °C, respectivamente. Nota-se, também, que com aumento da temperatura o tempo para realização da secagem diminui.

Almeida et al. (2009) verificaram que o tempo necessário para que o feijão Adzuki atingisse o teor de água de 0,11 (decimal b.s.) foi de 49,0; 23,0; 16,5; 10,0 e 7,0 horas, para as temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente, evidenciando a maior velocidade de retirada de água na temperatura de 70 °C. Corrêa et al. (2007), durante a secagem do feijão vermelho (*Phaseolus vulgaris* L.), verificaram que o tempo necessário para que o produto atingisse o teor de água de 12% b.u. foi de 20,0; 8,0 e 5,3 horas nas temperaturas de 35, 45 e 55 °C, respectivamente. Tendo em vista, que o tempo de secagem pode ser influenciado pela temperatura ambiente e pela umidade relativa do ar.

Conforme a Figura 1, nota-se o bom ajuste do modelo matemático Midilli para as temperaturas de 35 °C e 65 °C e o modelo matemático Aproximação da difusão para temperatura de 55 °C, uma vez que estes se adequaram satisfatoriamente os dados experimentais, reforçando a aplicabilidade dos modelos na predição da secagem de feijão-carioca (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar BRS Estilo.

Na Tabela 4 são apresentadas as estimativas dos coeficientes de cada modelo matemático na modelagem das curvas de secagem do feijão-carioca cultivar Canadense nas temperaturas 35, 55 e 65 °C.

Nas três temperaturas utilizadas de secagem do feijão-carioca, nota-se que, sete modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais apresentaram coeficientes de determinação ( $R^2$ ) próximos a 100%. Apenas o modelo de Newton para a temperatura de 35 °C e o modelo Wang e Singh que em todas as temperaturas estudadas apresentaram resultados abaixo de 98% (Tabela 5). Fato que, segundo Madamba et al. (1996), são representações insatisfatórias do fenômeno em estudo. Corrêa et al. (2007) também encontraram para o modelo Wang e Singh coeficiente de determinação abaixo de 98% para a secagem do feijão vermelho (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas.

Dentre os que apresentaram melhores valores dos parâmetros estatísticos para as temperaturas estudadas, o modelo Midilli é o mais recomendado para a temperatura de 35 °C, apresentando valores de:  $R^2 = 99,98\%$ ;  $P = 2,68\%$  e  $SE = 0,0064$ . Costa et al. (2011) observaram que o modelo Midilli também se ajustou satisfatoriamente aos dados de secagem de crambe para as temperaturas de 50 e 60 °C.

O modelo Thompson foi o mais recomendado para as temperaturas de 55 e 65 °C, apresentando:  $R^2 = 99,98\%$ ;  $P = 4,22\%$  e  $SE = 0,007$ ; e  $R^2 = 99,94\%$ ;  $P = 5,33\%$  e  $SE = 0,012$ , respectivamente. Faria et al. (2012), realizando a secagem de crambe em temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70 °C, reconheceram para o modelo de Thompson ajuste excelente, podendo ser usado na representação da cinética de secagem em camada fina das sementes de crambe. Sousa et al. (2006) também recomendam o uso desse modelo para representação da cinética de secagem de produtos como o milho, farelo de mamona e milho doce.

Na Figura 2 são apresentadas as curvas de secagem do feijão-carioca cultivar Canadense, com dados experimentais e

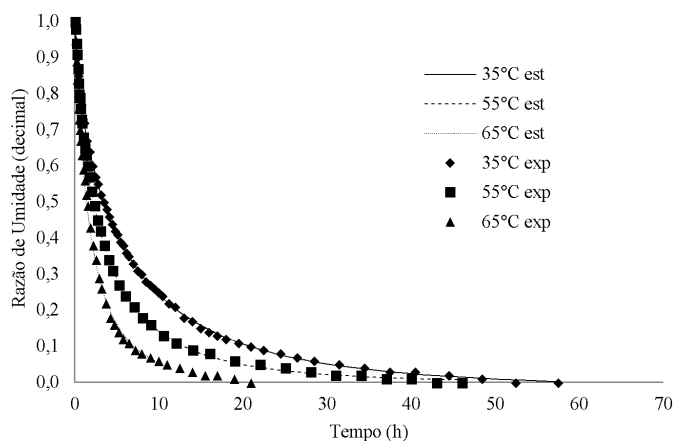
**Tabela 4.** Coeficientes dos modelos matemáticos (AD: Aproximação da Difusão; EDT: Exponencial de Dois Termos; H&P: Henderson e Pabis; LOG: Logarítmico; MDL: Midilli; NTN: Newton; PG: Page; TH: Thompson; W&S: Wang e Singh) ajustados da curva de secagem do feijão-carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar Canadense, para as temperaturas de 35, 55 e 65 °C

Modelo	35 °C					55 °C					65 °C				
	Coeficientes														
	a	b	c	n	k	a	b	c	n	k	a	b	c	n	k
AD	0,303	0,084	-	-	1,167	0,484	0,170	-	-	0,733	1,000	1,000	-	-	0,461
EDT	0,193	-	-	-	0,683	0,192	-	-	-	1,131	0,186	-	-	-	1,917
H&P	0,870	-	-	-	0,137	0,923	-	-	-	0,246	0,924	-	-	-	0,403
LOG	0,840	-	0,05	-	0,165	0,893	-	0,05	-	0,284	0,900	-	0,04	-	0,458
MDL	1,017	-2·10 <sup>-4</sup>	-	0,64	0,323	1,039	3·10 <sup>-4</sup>	-	0,70	0,415	1,009	0,001	-	0,78	0,544
NTN	-	-	-	-	0,168	-	-	-	-	0,376	-	-	-	-	0,461
PG	-	-	-	0,67	0,305	-	-	-	0,74	0,375	-	-	-	0,78	0,532
TH	-1,189	0,683	-	-	-	-1,549	0,864	-	-	-	-1,932	1,143	-	-	-
W&S	-0,072	0,001	-	-	-	-0,091	0,002	-	-	-	-0,188	0,007	-	-	-

**Tabela 5.** Coeficiente de determinação ( $R^2$ , %), erro médio relativo (P, %), erro médio estimado (SE, decimal) para os modelos analisados, para a secagem do feijão-carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar Canadense, nas temperaturas 35, 55 e 65 °C

Modelo	35 °C			55 °C			65 °C		
	$R^2$	P	SE	$R^2$	P	SE	$R^2$	P	SE
Aproximação da Difusão	98,98	10,81	0,0412	99,95	11,16	0,0113	99,14	32,86	0,044
Exponencial de Dois Termos	99,01	24,05	0,040	99,65	27,01	0,029	99,82	21,39	0,020
Henderson e Pabis	98,80	24,74	0,044	99,30	30,59	0,041	99,57	26,31	0,031
Logarítmico	99,20	24,11	0,034	99,55	33,68	0,031	99,77	21,21	0,022
Midilli	99,98	2,68	0,0064	99,94	8,05	0,0114	99,96	7,79	0,009
Newton	97,39	33,93	0,064	98,84	35,27	0,052	99,14	32,86	0,042
Page	99,97	3,38	0,007	99,90	13,90	0,016	99,94	11,81	0,011
Thompson	99,89	11,72	0,012	99,98	4,22	0,007	99,94	5,33	0,012
Wang e Singh	69,06	123,10	0,195	74,71	184,27	0,222	81,74	159,39	0,181





**Figura 2.** Curvas de secagem estimadas e experimentais de feijão-carioca (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar Canadense, nas temperaturas 35, 55 e 65 °C

estimados pelo modelo matemático Midilli, para temperatura de 35 °C, e o modelo matemático Thompson, para as temperaturas de 55 °C e 65 °C em função do tempo de secagem.

No processo de determinação das curvas de secagem, a umidade inicial dos grãos de feijão-carioca (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar Canadense foi de  $32,45 \pm 0,2\%$  b.s.

Verificou-se que o tempo necessário para o feijão-carioca, cultivar Canadense, atingir o peso constante (equilíbrio higroscópico), foi de 57,42; 46,00 e 20,91 horas, para as temperaturas de 35, 55 e 65 °C, respectivamente.

Conforme a Figura 2, nota-se o bom ajuste do modelo matemático Midilli para temperatura de 35 °C, e o modelo matemático Thompson para as temperaturas de 55 °C e 65 °C, adequando perfeitamente aos dados experimentais de secagem de feijão-carioca (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar Canadense.

## Conclusões

O tempo necessário para o feijão-carioca cultivar BRS Estilo atingir o peso constante (equilíbrio higroscópico) foi de 58,33, 48,83 e 21,58 horas, para as temperaturas de 35, 55 e 65 °C, respectivamente. E o modelo matemático Midilli é o mais recomendado para modelar o processo de secagem nas temperaturas 35 e 65 °C e o de Aproximação da difusão para modelar o processo de secagem na temperatura de 55 °C, para grãos de feijão da cultivar Estilo.

O tempo necessário para o feijão-carioca, cultivar Canadense, atingir o peso constante (equilíbrio higroscópico) foi de 57,42, 46,00 e 20,91 horas, para as temperaturas de 35, 55 e 65 °C, respectivamente. Sendo o modelo matemático mais recomendado para a modelagem do processo de secagem na temperatura de 35 °C o de Midilli e o modelo Thompson para as temperaturas de 55 e 65 °C.

## Literatura Citada

Almeida, D.P.; Resende, O.; Costa, L.M.; Mendes, U.C.; Sales, J.F. Cinética de secagem do feijão adzuki (*Vigna angularis*). *Global Science and Technology*, v.2, n.1, p.72-83, 2009. <<http://rv.ifgoiano.edu.br/periodicos/index.php/gst/article/view/26/25>>. 14 Dez. 2014.

Andrade, E.T.; Corrêa, P.C.; Teixeira, L.P.; Pereira, R.G.; Calomeni, J.F. Cinética de secagem e qualidade de sementes de feijão. *Engevista*, v.8, n.1, p.83-95, 2006. <<http://www.uff.br/engevista/seer/index.php/engevista/article/view/195/98>>. 14 Dez. 2014.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 395p.

Brooker, D.B.; Bakker-Arkema, F.W.; Hall, C.W. Drying and storage of grains and oilseeds. Westport: The AVI Publishing Company, 1992. 450p.

Corrêa, P.C.; Resende, O.; Martinazzo, A.P.; Goneli, A.L.D.; Botelho, F.M. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. *Engenharia Agrícola*, v.27, n.2, p.501-507, 2007. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162007000300020>>.

Costa, L.M.; Resende, O.; Sousa, K.A.; Gonçalves, D.N. Coeficiente de difusão efetivo e modelagem matemática da secagem de sementes de crambe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 10, p. 1089-1096, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000500014>>.

Faria, R.Q.; Teixeira, I.R.; Devilla, I.A.; Ascheri, D.P.; Resende, O. Cinética de secagem de sementes de crambe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 5, p. 573-583, 2012. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000500014>>.

Farinelli, R.; Lemos L.B. Produtividade, eficiência agrônômica, características nutricionais e tecnológicas do feijão adubado com nitrogênio em plantio direto e convencional. *Bragantia*, v.69, n.1, p.165-172, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052010000100021>>.

Goneli, A.L.D.; Vieira, M.C.; Vilhasanti, H.D.C.B.; Gonçalves, A.A. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 44, n. 1, p. 56-64, 2014. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632014000100005>>.

Kashaninejad, M.; Mortazavi, A.; Safekordi, A.; Tabil, L.G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. *Journal of Food Engineering*, v.78, n.1, p.98-108, 2007. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.09.007>>.

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. <[http://dx.doi.org/10.1016/0260-8774\(95\)00062-3](http://dx.doi.org/10.1016/0260-8774(95)00062-3)>.

Morais, S.J. da S.; Devilla, I.A.; Ferreira, D.A.; Teixeira, I.R. Modelagem matemática das curvas de secagem e coeficiente de difusão de grãos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *Revista Ciência Agronômica*, v.44, n.3, p.455-463, 2013. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902013000300006>>.

Prates, M.F.O.; Reis, R.D.; Devilla, I.A.; Faria, R.Q.; Lima Junior, A.F. Cinética de secagem de folhas de *Solanum lycocarpum* A. St.-Hil. (fruta-de-lobo). *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v. 14, n. 3, p. 514-521, 2012. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-05722012000300014>>.

- Radünz, L.L.; Amaral, A.D.; Mossi, A.J.; Melo, E.D.C.; Rocha, R.P. Avaliação da cinética de secagem de carqueja. *Engenharia na Agricultura*, v. 19, n. 1, p.19-27, 2011. <<http://www.secagemplanta.net/artigos/2011-artigo1.pdf>> 14 Dez. 2014.
- Reis, R.C.; Devilla, I.A.; Ascheri, D.P.; Servulo, A.C.; Souza, A.B. Cinética de secagem de folhas de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) via infravermelho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 12, p. 1346-1352, 2012. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012001200012>>.
- Resende, O.; Almeida, D.P.; Costa, L.M.; Mendes, U.C.; Sales, J.F. Adzuki beans (*Vigna angularis*) seed quality under several drying conditions. *Food Science and Technology*, v.32, n.1, p.151-155, 2012. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612012005000013>>.
- Resende, O.; Arcanjo, R.V.; Siqueira, V.C.; Rodrigues, S. Modelagem matemática para a secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiro de concreto. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.31, n.2, p.189-196, 2009. <<http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v31i2.588>>.
- Resende, O.; Ferreira, L.U.; Almeida, D.P. Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem do feijão adzuki (*Vigna angularis*). *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.12, n.2, p.171-178, 2010. <<http://www.deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev122/Art1228.pdf>>. 14 Dez. 2014.
- Sousa, M.B.; Pedroza, J.P.; Beltrão, N.E. de M.; Severino, L.S.; Dantas, F.P. Cinética de secagem do farelo de mamona. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v.8, n.2, p.135- 146, 2006. < <http://www.deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev82/Art826.pdf>>. 14 Dez. 2014.