

SECAGEM CONVECTIVA DE GRÃOS DE SORGO EM CAMADA FINA POR SECADOR DE LEITO FIXO

Taciano Pessoa

Eng. Agrônomo mestrando em Eng. Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Bloco CM, 1o. Andar, CEP 58.109-970, Campina Grande - PB. E-mail: pessoat@hotmail.com.

Plúvia Oliveira Galdino

Eng. Agrônoma mestrando em Eng. Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Bloco CM, 1o. Andar, CEP 58.109-970, Campina Grande - PB. E-mail: pluviagaldino@hotmail.com.

Gilmara Carneiro Gurjão

Eng. Agrônoma mestrando em Eng. Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Bloco CM, 1o. Andar, CEP 58.109-970, Campina Grande - PB. E-mail: gilmaragurjão@hotmail.com.

Flavio Farias Gurjão

Eng. Agrônomo mestrando em Eng. Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Bloco CM, 1o. Andar, CEP 58.109-970, Campina Grande - PB. E-mail: flaviogurjão@hotmail.com.

Mario Eduardo R.M. Cavalcanti Mata

Eng. Agrícola D. Sc. Adjunto do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Bloco CM, 1o. Andar, CEP 58.109-970, Campina Grande - PB. E-mail: mmata@deag.ufcg.edu.br.

RESUMO: Desidratar grãos de sorgo em camada fina em secador de leito fixo, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, e de estudar o ajuste de modelos matemáticos de secagem aos dados experimentais. Foram utilizados grãos de sorgo, colhidas na safra de 2009, oriundas da estação experimental da Emepa, localizada no município de Alagoinha – PB. O trabalho foi conduzido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da UFCG, Campina Grande - PB. Para determinação de umidade utilizou-se o método da estufa a 105°C por 24 horas. O processo de umedecimento dos grãos até atingir um percentual de teor de água em torno de 30%, foi realizado por imersão em água por 40 minutos. A secagem foi realizada em camada fina, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C, e uma velocidade do ar de 1m/s. Os modelos utilizados na cinética de secagem em camada fina foram: Page, Henderson & Pabis e de Midilli et al., foram ajustados aos dados experimentais dos grãos de sorgo, utilizando-se o programa computacional STATISTICA versão 5.0. Para os modelos utilizados os que se destacaram foram Page e Midilli, no qual apresentaram um menor DQM e maiores R². Os três modelos estudados representaram satisfatoriamente os dados experimentais com coeficientes de determinação superiores a 0,95. Midilli foi o melhor modelo matemático estudado.

Palavras chaves: *Sorghum* bicolor, cinética, teor de umidade

CONVECTIVE DRYING OF GRAIN SORGHUM IN FIXED BED DRYER

ABSTRACT: This study was conducted in order to dehydrate sorghum grains in a thin layer in a fixed bed dryer, at temperatures of 40, 50, 60 and 70 ° C, and consider the fit of mathematical models of drying the experimental data. In this research we used grain sorghum, harvested in 2009, coming from the experimental station of Emepa located in the city of Alagoinha - PB. The work was conducted at the Storage and Processing of Agricultural Products UFCG, Campina Grande - PB. For moisture determination used the method at 105 ° C for 24 hours. The process of moistening the grains until they reach a percentage of water content around 30%, was achieved by immersion in water for 40 minutes. Drying was performed by thin-layer air temperatures of 40, 50, 60 and 70 ° C, and an air velocity of 1m / s. Models of thin layer drying of Page, Henderson and Pabis and Midilli et al. Were fitted to experimental data for grain sorghum, using the software STATISTICA version 5.0. For models that used the most were Page and Midilli, which showed lower and higher DQM R². The three models studied accounted satisfactorily the experimental data with correlation coefficients exceeding 0.95. Midilli was the best mathematical model study.

Words Keys: *Sorghum* bicolor, kinetics, moisture content

INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) provavelmente foi “domesticado” na Etiópia, cerca de 5.000 anos atrás, e em seguida foi cultivado na África Ocidental, desde o Sudão até o rio Niger. Esta “domesticação” possivelmente se processou cerca de 1.500 anos antes de serem desenvolvidos os primeiros arados de madeira. É uma cultura relativamente nova nas Américas, tendo sido introduzido nos Estados Unidos em 1857. No Brasil, a sua introdução se atribui aos escravos, onde a cultura ficou conhecida como milho d’Angola (LIRA, 1981).

O sorgo consiste de planta típica de clima quente, de características xerófilas, que além da sua baixa exigência em termos de riqueza mineral do solo, apresenta tolerância/resistência aos fatores abióticos, tais como: estresse hídrico, salinidade e encharcamento (planta mais tolerante depois do arroz). Além disto, apresenta elevada eficiência de uso de água, sendo necessários, em média, 250 a 400g de água para produzir 1g de matéria seca. Nesta cultura, a eficiência de uso de água é superior a grande maioria das gramíneas tropicais (TABOSA et al., 1987).

Com relação à natureza e a forma de utilização, existem basicamente quatro tipos de sorgo: granífero, sacarino, vassoura, forrageiro e sudanense. A utilização do sorgo é pode ser utilizada de varias formas, desde a alimentação humana e animal, até a produção largamente na alimentação humana sob a forma de farinha na Índia, China, Sudão, Etiópia, Nigéria e outros países da África.

Além disto, a cultura tem uso na elaboração de xaropes, álcool e açúcar, particularmente na Itália, que configura-se como primeira em cultivo para este propósito. Outro aspecto de utilização da cultura é evidenciado quanto à produção de forragem armazenada, sob a forma de feno e silagem.

A secagem dos produtos agrícolas é o processo mais utilizado para assegurar sua qualidade e estabilidade considerando que a diminuição da quantidade de água do material reduz a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o armazenamento (RESENDE et al., 2008).

O fenômeno de redução do teor de água de grãos é complexo e envolve simultaneamente a transferência de calor e massa, que podem alterar de forma substancial a sua qualidade e as propriedades físicas do produto, dependendo do método e das condições de secagem. O processo de secagem de um produto, sob condições constantes de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar, pode ser dividido em um período de velocidade constante e outro de velocidade decrescente. Durante o período de velocidade constante a temperatura do produto se mantém igual à do ar de secagem saturado e as

O teor de água foi calculada utilizando-se a equação 1:

transferências de calor e massa se compensam, ou seja, o ar recupera, sob a forma de vapor, o que perdeu sob a forma de calor (RESENDE et al., 2008).

No período de velocidade decrescente de secagem, a taxa de transporte interno de água é menor do que a taxa de evaporação; desta forma a transferência de calor do ar para o produto não é compensada pela transferência do vapor de água e, conseqüentemente, a temperatura do grão aumenta, tendendo a atingir a temperatura do ar de secagem (BROOKER et al., 1992).

Vários modelos matemáticos são utilizados para representação do comportamento da secagem de produtos agrícolas, esses modelos podem ser classificados como: teóricos, empíricos e semiempíricos.

Os modelos de PAGE (1949) e de HENDERSON e PABIS (1961) são modelos empíricos bastante utilizados para a representação da secagem de produtos agrícolas. Já o modelo de MIDILLI et al. (2002) é um modelo semiempírico obtido experimentalmente a partir do estudo da secagem de cogumelos, pólen e pistache, sendo uma simplificação do modelo teórico de Fick.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de desidratar sementes de sorgo em camada fina em secador de leito fixo, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, e de estudar o ajuste de modelos matemáticos de secagem aos dados experimentais.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA) da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, localizada no município de Campina Grande, PB. Nesta pesquisa foram utilizados grãos de sorgo, colhidos na safra de 2009, oriundas da estação experimental da Emepa, localizada no município de Alagoinha – PB.

Determinação do teor de umidade

Para determinação do teor de umidade, utilizou-se o método padrão da estufa da seguinte forma. Selecionou-se 3 cadinhos com suas respectivas tampas para que a determinação fosse feita em triplicata. Utilizando-se uma balança analítica (maior precisão), pesou-se 10g da amostra, os cadinhos foram levados a estufa, a 105°C por 24 horas. Após as 24 horas, foram colocados em um dessecador por um período de 30 minutos. Após este período, pesou-se o conjunto (cadinho + tampa + amostra).

$$U_{b.s} = \left(\frac{p_2 - p_3}{p_2 - p_1} \right) \cdot 100$$

Equação (1)

Onde:

- p_1 - Peso da lata + tampa
- p_2 - Peso da lata + tampa + grão
- p_3 - Peso da lata + tampa + grão (24 horas)

Umedecimento dos grãos de sorgo

Após a determinação do teor de água realizou-se o processo de umedecimento dos grãos até atingir um percentual de teor de água em torno de 30%.

Pesou-se aproximadamente 45g dos grãos, visto que era quantidade suficiente para cobrir o fundo da cesta que seria utilizada no secador formando assim uma camada fina. As amostras foram submersas em água por um período de 40 minutos. Em seguida, foram escorridas e colocadas em papel absorvente para então retirada da água superficial dos grãos. Logo após, foi determinado o teor de água com a finalidade de constatar se os grãos se encontravam com o teor de água em torno de 30%.

Secagem

Após o umedecimento as amostras foram levadas a um secador de leito fixo (Figura 1), e colocadas em cestas de arame galvanizado, e uniformemente espalhadas com a finalidade de cobrir totalmente o fundo da cesta, formando uma camada fina de aproximadamente 5 mm de espessura. Em seguida, as cestas foram colocadas em um secador de leito fixo conforme Figura 1, para então realização da secagem dos grãos nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C, e com a velocidade do ar de 1m/s.

Durante a secagem se fez o acompanhamento da perda de massa, pesando-se as cestas em intervalos de tempo de 5 em 5 min até atingir peso constante. Todo o experimento foi realizado em triplicata.

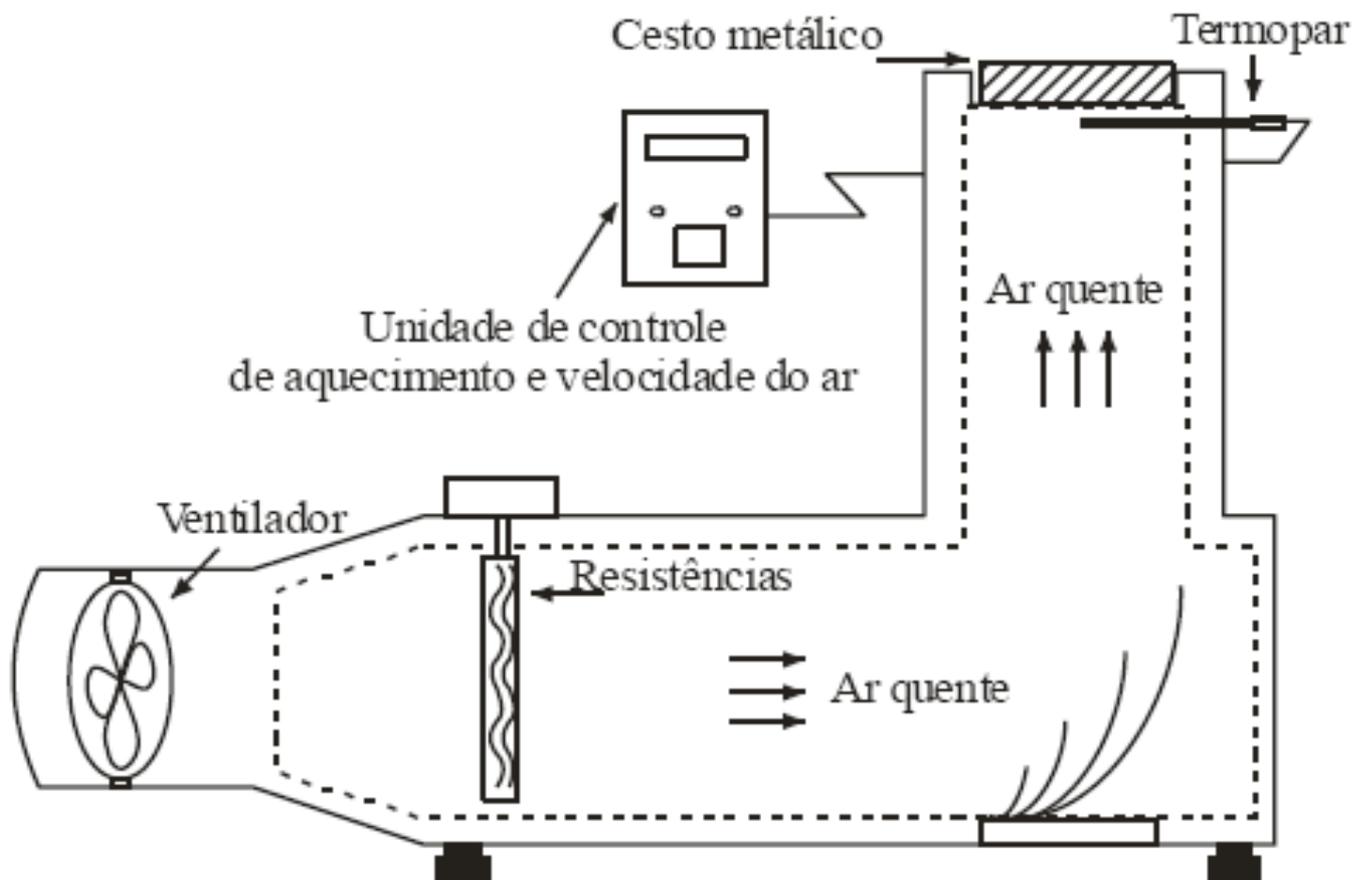


Figura 1- Secador de leito fixo empregado na secagem.

Modelagem da secagem

Os modelos de secagem em camada fina utilizados foram:

Page

$$RU = e^{-kt^n}$$

Henderson & Pabis

$$RU = a \exp(-kt)$$

Midilli

$$RU = a \exp(-kt^n) + bt$$

Onde:

RU - razão de umidade (adimensional)

k, n, a, b - constantes do modelo

t - tempo (min)

Os dados experimentais foram ajustados utilizando-se o programa computacional STATISTICA versão 5.0.

Os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais foram: o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio quadrático médio (DQM) calculado pela Equação 1.

$$DQM = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (RU_{pre} - RU_{exp})^2}$$

Equação (1)

em que:

DQM - desvio quadrático médio

RU_{pre} - razão de umidade predito

RU_{exp} - razão de umidade experimental

N - número de dados experimentais

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, estão apresentados os valores experimentais da razão de umidade e do tempo de secagem para os grãos de sorgo, durante a secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C. Verificou-se que com

o aumento da temperatura do ar de secagem, ocorre maior taxa de remoção de água do produto, evidenciando o aumento da taxa de secagem, fato este observado por outros pesquisadores para inúmeros produtos agrícolas (Yaldiz, et al., 2001; Azzouz et al., 2002; Akpınar et al., 2003; Lahsasni et al., 2004; Mohapatra & Rao, 2005).

Tabela 1 - Valores experimentais da razão de umidade (decimal) e do tempo de secagem (min) para o grão de sorgo, durante a secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C

Tempo (min)	RX – Temp. 40°C	RX – Temp. 50°C	RX – Temp. 60°C	RX – Temp. 70°C
0,00	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
5,00	0,8350	0,9190	0,8382	0,6606
10,00	0,7356	0,7869	0,7200	0,4935
15,00	0,6561	0,6825	0,6207	0,4022
20,00	1,5905	0,6108	0,5566	0,3354
25,00	0,5368	0,5447	0,5025	0,2866
30,00	0,4970	0,4895	0,4525	0,2532
35,00	0,4573	0,4400	0,5018	0,2288
40,00	0,3976	0,3961	0,3641	0,2045
45,00	0,3777	0,3465	0,3486	0,1831
50,00	0,3380	0,3190	0,3289	0,1680
55,00	0,3181	0,2804	0,3094	0,1557
60,00	0,2783	0,2639	0,2892	0,1406
65,00	0,2584	0,2365	0,2743	0,1344
70,00	0,2386	0,2143	0,2446	0,1253
75,00	0,2187	0,1869	0,2297	0,1161
80,00	0,1988	0,1816	0,2202	0,1101
85,00	0,1789	0,1594	0,2102	0,1039
90,00	0,1590	0,1538	0,2054	0,0979
95,00	0,1392	0,1373	0,1953	0,0918
105,00	0,1193	0,1043	0,1751	0,0827
115,00	0,0994	0,0930	0,1656	0,0736
125,00	0,0795	0,0765	0,1561	0,0705
135,00	0,0596	-	-	-
145,00	0,0199	-	-	-
155,00	0,0000	-	-	-
165,00	0,0000	-	-	-

Na Tabela 2 encontram-se os valores dos parâmetros dos modelos de Page, Henderson e Pabis & Midilli et al., ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem dos grãos nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C, os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios quadráticos médios (DQM). Verificou-se que, dentre os modelos testados, o de Midilli et al. com quatro parâmetros, apresentou os maiores valores de R^2 e os menores valores de DQM para todas as temperaturas, ajustando-se melhor aos dados observados. Para os modelos de dois parâmetros, o de Page se ajustou melhor em relação ao modelo de Henderson & Pabis. Todos os modelos mostraram valores de R^2 superiores a 0,95 e

valores de DQM inferiores a 0,1 podendo ser utilizados na estimativa das curvas de secagem dos grãos.

Analisando-se o comportamento do modelo semi-teórico de Page, constata-se que o parâmetro k, no qual representa a constante da taxa de secagem, percebe-se um aumento quando se utiliza as maiores temperaturas na secagem dos grãos de sorgo, enquanto o parâmetro n diminuiu com o aumento da temperatura.

O parâmetro k do modelo semi-teórico de Henderson & Pabis diminuiu da temperatura de 40°C, 50°C e 60°C, e aumentou na temperatura de 70°C. O parâmetro a do mesmo modelo diminuiu com o aumento da temperatura em todas as amostras.

Para o modelo de Midilli et al, constatou-se que não houve comportamento padrão dos parâmetros do modelo com o aumento da temperatura.

Tabela 2 - Parâmetros de ajuste dos modelos da cinética de secagem dos grãos de sorgo, coeficientes de determinação (R^2) e desvios quadráticos médios (DQM)

Modelo	Temp. (°C)	Parâmetros				R^2	DQM
		k (min^{-1})	n				
Page	40°C	0,024920	1,025146		0,9719	0,0026	
	50°C	0,029762	0,930173		0,9990	0,0004	
	60°C	0,070169	0,697722		0,9956	0,0003	
	70°C	0,194657	0,561772		0,9981	0,0004	
Henderson e Pabis	Temp. (°C)	k	a		R^2	DQM	
	40°C	0,026790	0,976104		0,9722	0,0023	
	50°C	0,022345	0,985925		0,9982	0,0006	
	60°C	0,018531	0,886048		0,9791	0,0013	
	70°C	0,035401	0,830205		0,9550	0,0046	
Midilli et al.	Temp. (°C)	k	a	b	n	R^2	DQM
	40°C	0,034051	0,973284	-0,000647	0,901948	0,9784	0,0000
	50°C	0,029397	1,014409	0,000198	0,946864	0,9993	0,0000
	60°C	0,057507	1,003295	0,000535	0,774876	0,9966	0,0000
	70°C	0,166164	1,003782	0,000375	0,626914	0,9994	0,0000

Nas Figuras 2, 3 e 4 estão apresentadas as curvas de secagem dos grãos de sorgo nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C, com ajustes pelos modelos de Page, Henderson & Pabis e Midilli et al. Observa-se que a curva gerada a partir do modelo de Midilli et al. aproxima-se mais dos pontos experimentais que os demais modelos, constatado por meio do coeficiente de determinação.

Na Figura 2 encontram-se representadas as curvas de secagem dos grãos de sorgo, nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C, ajustadas pelo modelo de Page, na qual pode-se observar que a temperatura influenciou sobre a secagem das amostras, sendo mais significativa na temperatura de 70°C, havendo, no entanto, diferenças ao

tempo final de secagem somente na temperatura de 40°C. Nas temperaturas de 50°C, 60°C e 70°C a razão de umidade tornou-se constante em 125 minutos.

Na Figura 3 são apresentadas as curvas de secagem dos grãos, ajustadas pelo modelo de Henderson & Pabis, onde pode-se observar que do tempo zero até a o tempo de 125 min, as curvas de secagem das temperaturas de 40°C, 50°C e 60°C estão praticamente sobrepostas, não sendo possível detectar diferenças entre as temperaturas; a partir do tempo 10 min, a influência da temperatura fica evidente, apresentando uma variação na perda de água do produto, conforme a temperatura utilizada

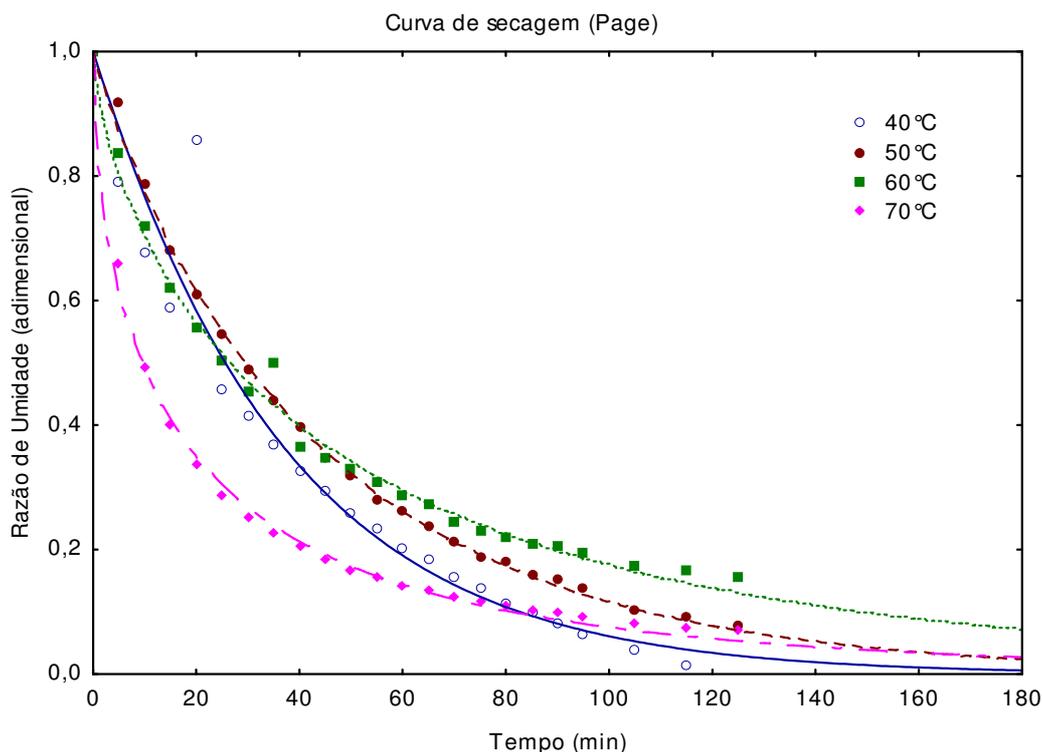


Figura 2 - Curvas de secagem dos grãos de sorgo nas temperaturas de 40°C, 50°C, 60°C e 70°C com ajuste pelo modelo de Page

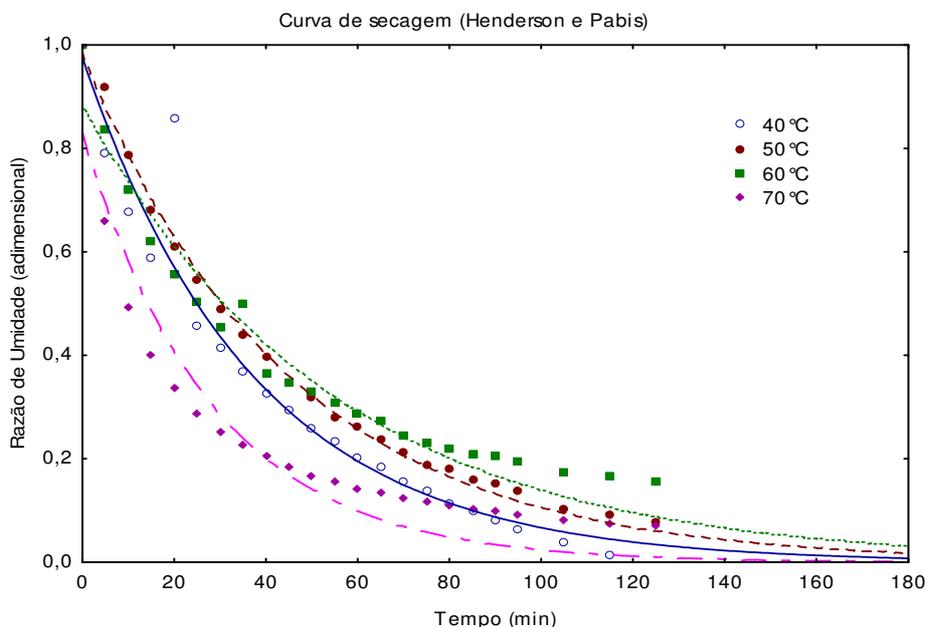


Figura 3 - Curvas de secagem dos grãos de sorgo nas temperaturas de 40°C, 50°C, 60°C e 70°C com ajuste pelo modelo de Henderson & Pabis.

Na Figura 4, encontra-se as curvas de secagem ajustadas pelo modelo de Midilli et al., nota-se que o comportamento das curvas de secagem se assemelham com as curvas ajustadas com o modelo de Page, confirmando assim os dois modelos que melhor se ajustaram aos dados experimentais.

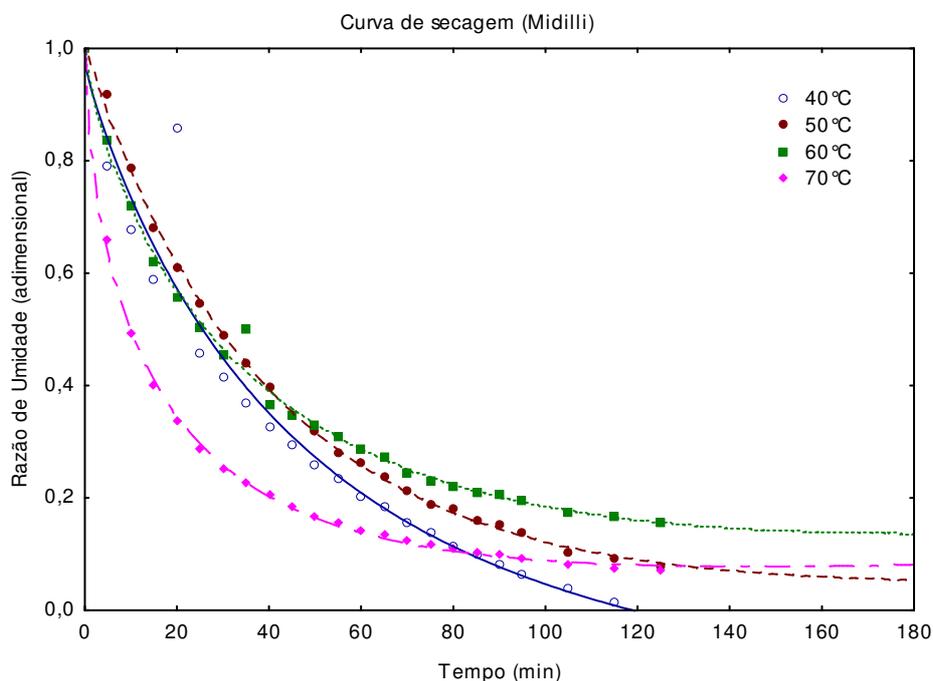


Figura 4 - Curvas de secagem dos grãos de sorgo nas temperaturas de 40°C, 50°C, 60°C e 70°C com ajuste pelo modelo de Midilli et al.(2002).

CONCLUSÕES

Não foram detectadas diferenças nos tempos de secagem das amostras nas temperaturas de 40°C, 50°C e 60°C.

Os três modelos estudados representaram satisfatoriamente os dados experimentais com coeficientes de determinação superiores a 0,95.

Dentre os modelos ajustados aos dados experimentais da cinética de secagem dos grãos de sorgo, a equação de MIDILLI et al. (2002). Apresentou os maiores valores de coeficientes de determinação e os menores desvios quadráticos médios.

REFERÊNCIAS

AKPINAR, E.K.; BICER, Y.; YILDIZ, C. Thin layer drying of red pepper. **Journal of Food Engineering**, v.59, p.99-104, 2003.

AZZOUZ, S.; GUIZANI, A.; JOMAA, W.; BELGHITH, A. Moisture diffusivity and drying kinetic equation of convective drying of grapes. **Journal of Food Engineering**, v.55, p.323- 330, 2002.

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Westport: The AVI Publishing Company, 1992. 450 p.

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory. I. Temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agriculture Engineering Research**, v.6, n.3 p.169-174, 1961.

LAHSASNI, S.; KOUHILA, M.; MAHROUZ, M.; JAOUHARI, J.T. Drying kinetics of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*). **Journal of Food Engineering**, London, n.61, p.173-179, 2004.

LIRA, M. de A. Considerações sobre o potencial do sorgo em Pernambuco. In: **CURSO DE EXTENSÃO SOBRE A CULTURA DO SORGO**, 1980, Vitória de Santo Antão, PE. Curso de Extensão sobre a Cultura do Sorgo. Brasília: EMBRAPA-DID, 1981. p.87-88. (IPA. Documentos, 1).

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A new model for single-layer drying. **Drying Technology**, Philadelphia, v.20, n.7, p.1503-1513, 2002.

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

PAGE, G.E. **Factors influencing the maximum of air drying shelled corn in thin layer**. 1949. Thesis Dissertation (M.Sc.) – Purdue University, Indiana.

RESENDE, O.; CORRÊA, P., C.; GONELI, A., L., D.; BOTELHO, F., M.; RODRIGUES, S. Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão (*phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.10, n.1 p.17-28, 2008.

TABOSA, J.N.; TAVARES FILHO, J.J.; ARAÚJO, M.R.A. de; LIRA, M. de A.; ENCARNAÇÃO, C.R.F. da; BURITY, H.A. **Water use efficiency in sorghum and corn cultivars under field conditions**. Sorghum Newsletter, Tucson, v.30, p.91-92, 1987.

YALDIZ, O.; ERTEKIN, C.; UZUN, H.I. Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. **Energy**, v.26, p.457-465, 2001.

Recebido em 16 09 2010

Aceito em 20 03 2011