

# MODELO EMPÍRICO PARA ESTIMAÇÃO DA CONSTANTE DE SECAGEM DE CASULOS DO BICHO-DA-SEDA, EM LEITO FIXO<sup>1</sup>

Antonio Gilson Barbosa de LIMA<sup>2</sup>, Sandoval Farias da MATA<sup>3</sup>

**RESUMO:** A operação de secagem industrial é determinada a partir do conhecimento da cinética de secagem dos materiais biológicos. A cinética de secagem de produtos agrícola é obtida em laboratório sob determinadas condições ambientais controladas e que permitem verificar o comportamento do teor de umidade dos produtos em função do tempo de secagem. A realização de um experimento de secagem é bastante oneroso e demorado, e devido a estes fatores, não se consegue geralmente, verificar o efeito das variáveis que interferem sobre o mesmo numa faixa considerável, limitando-se a verificar suas influências em alguns casos apenas. O objetivo deste trabalho é apresentar uma equação empírica linear, que determina a constante de secagem de casulos do bicho-da-seda em várias condições de secagem, como função de três variáveis: temperatura, fluxo de ar e espessura do leito. Os resultados obtidos indicam que a equação, ao ser usada para obter a constante de secagem, apresenta um erro médio de 1,28% e um desvio padrão de 0,01%, dentro dos limites de validade preestabelecidos. A análise dos resultados mostram que a formulação adotada é satisfatória, e permite desta maneira, obter por simulação os diferentes períodos da curva de secagem, nas mais variadas condições experimentais, verificando as influências geradas pela temperatura e fluxo do ar de secagem, como também da espessura da camada de casulos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Simulação, cinética, secagem, casulos

**ABSTRACT:** The industrial drying operation is determined with the knowledge of the drying kinetic of biological products. The drying kinetic of agricultural products permits to verify the behavior of the moisture content of the products as a function of the drying time. The realization of a drying experiment is very costly and slow, and due to this factors it's not possible to verify generally the effect of the variables that interfere on it in a considerable interval, verifying its influences in some cases only. The objective of this paper is to present a linear empirical equation that determine the drying constant of silkworm cocoon under various drying conditions as a function of three variables: temperature, air flow and layer tickness. The results obtained indicated that the equation when used to obtain the drying constant present a average error of 1.28 % and standard deviation of 0.01 % in the interval considered. The analysis of the results obtained showed that the formulation adopted is satisfactory and permit to obtain by simulation the differents periods of drying

---

<sup>1</sup> Parte da Dissertação de Mestrado apresentada pelo primeiro autor à UFPB-CCT-DEM-CPGEM.

<sup>2</sup> Prof. M.Sc., Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba-CCT- Campina Grande - Paraíba. Em Doutorado no DE/FEM/UNICAMP, R. Lúcia Tonon Martins, 114, Jardim Independência- Barão Geraldo, CEP 13085-750, Campinas - SP, E-mail antoniol@fem.unicamp.br.

<sup>3</sup> Prof. Dr., Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba - CCT- Av: Aprigio Veloso,882, Bodocongó, CEP 58109-970, Campina Grande - Paraíba.

curve in several experimental conditions, verifying the influences produced by the temperature and drying air flow, as well as the layer thickness of cocoon.

**KEYWORDS:** Simulation, kinetic, drying, cocoon

**INTRODUÇÃO:** Os experimentos de secagem, dependendo do produto biológico que se pretende estudar, pode ter duração de algumas horas ou até mesmo alguns dias, o que inviabiliza verificar a influência das condições do ar de secagem, tais como: temperatura, fluxo do ar e umidade relativa, como também da espessura da camada do produto biológico na cinética de secagem, numa ampla faixa de valores, limitando-se à análise do efeito destes parâmetros, em alguns casos apenas. No entanto, a verificação da influência destas variáveis com maior abrangência é extremamente útil, sobretudo pelo fato de que ao se projetar um sistema de secagem deve-se levar em conta a temperatura máxima do ar de secagem, o fluxo do ar de secagem, a espessura do leito e o tempo de residência do produto no secador. A proposta deste trabalho é gerar uma equação empírica que determina a constante de secagem para casulos do bicho-da-seda como uma função da temperatura, do fluxo do ar de secagem e da espessura da camada do leito, sem contudo levar em consideração a qualidade final do produto, que no caso de casulos do bicho da seda é muito importante, assim como para outros produtos.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Para obtenção dos dados experimentais foram realizados vários experimentos no Laboratório de Processos Químicos, do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal da Paraíba - Campus II - Campina Grande - PB. O secador experimental e a metodologia utilizada nos experimentos estão descritos em Lima (1995). Para o ajustamento do modelo matemático das curvas de secagem foi feita análise de regressão dos dados experimentais, tendo sido testado o modelo proposto por Newman, citado por Verma & Noomhorm (1986), e adaptado para a secagem de casulos por Lima & Mata (1996)<sup>4</sup>, de onde determinou-se a constante de secagem para cada experimento realizado. A partir de uma análise do comportamento da constante de secagem (k) em relação à temperatura, fluxo do ar e espessura do leito, durante o processo de secagem, verificou-se uma tendência linear deste parâmetro com relação às variáveis citadas, o que levou a sugerir uma equação com três variáveis, a fim de descrever o processo de secagem do produto nas mais diversas condições operacionais preestabelecidas. A equação proposta tem a forma:

$$K=C_1 + C_2 Q + C_3 T + C_4 E \quad (\text{EQ. 1})$$

em que Q é o fluxo de ar ( $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ ); T é a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ); E, a espessura do leito (cm) e  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  e  $C_4$  são os parâmetros do ajuste da equação. O efeito da umidade relativa do ar (UR), sobre o parâmetro k, não foi verificado, pelo fato de os valores de UR estarem muito próximos em si, para todos os experimentos.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Partindo dos resultados fornecidos na literatura e das análises realizadas, foi feita a regressão linear da EQ. 1, a partir dos dados da Tabela 1,

---

<sup>4</sup>Modelo de Newman modificado:  $U = A e^{-k t}$

utilizando o algoritmo de LEVENBERG-MARQUARDT, obtendo-se os seguintes resultados com o ajuste:

$$C_1 = -0,13674101 \cdot 10^{-1} \text{ (min}^{-1}\text{)} \quad C_2 = -0,23600697 \cdot 10^{-7} \{ \text{min}^{-1}/[\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)] \}$$

$$C_3 = 0,24547899 \cdot 10^{-3} \text{ (min}^{-1}/\text{°C)} \quad C_4 = -0,17120603 \cdot 10^{-3} \text{ (cm)}$$

Utilizando-se os valores destas constantes na equação proposta foi obtido valores do parâmetro k, com um erro médio de 1,28027 % e um desvio padrão de 0,01 %, dentro das seguintes condições de trabalho:  $1986,9 \leq Q \leq 8345,3 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ;  $70 \leq T \leq 90 \text{ °C}$ ;  $2,0 \leq E \leq 5,5 \text{ cm}$ . Observa-se que a constante de secagem k, praticamente independe do fluxo de ar e, fixadas as outras condições experimentais, cresce fortemente com o aumento da temperatura e decresce com o acréscimo da espessura do leito.

**CONCLUSÕES:** Simularam-se neste trabalho, a obtenção da constante de secagem para casulos do bicho-da-seda (*Bombix mori* L). A solução numérica mostrou que a constante de secagem para casulos do bicho-da-seda pode ser determinada, com um erro médio de 1,28% e um desvio padrão de 0,01%, dentro das seguintes condições de trabalho:  $1986,9 \leq Q \leq 8345,3 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ , para o fluxo de ar;  $70 \leq T \leq 90 \text{ °C}$ , para a temperatura do ar, e  $2,0 \leq E \leq 5,5 \text{ cm}$ , para a espessura do leito.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- LIMA, Antonio Gilson B.; MATA, Sandoval F. **Secagem de casulos do bicho-da-seda: modelagem e simulação**. Anais do XXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola/ II Congresso Latinoamericano de Ingenieria Agrícola. Bauru: Julho, 1996.
- LIMA, Antonio Gilson Barbosa de Lima. **Estudo da secagem e dimensionamento de secador de casulos do bicho-da-seda**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1995, 190p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica
- VERMA, Lalit; NOOMHORM, A. **Rice drying simulation**. Drying'86. Montreal: Arun S. Mujudar, V.2, pp. 461-469, 1986.

TABELA 1 - Valores dos parâmetros depois do ajuste dos dados experimentais

Experimento	Condições				A	k	$\bar{R}^2$
	Q ( $\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ )	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	E (cm)	U.R. (%)			
01	8345,3	90	5,5	3,7	2,13041	0,00728042	0,992
02	8345,3	90	4,0	3,9	2,14782	0,00857250	0,997
03	8345,3	90	2,0	4,3	2,14768	0,00800481	0,998
04	8345,3	70	2,0	6,5	2,04649	0,00303746	0,994
05	8345,3	83	2,0	4,1	2,11181	0,00598556	0,997
06	4768,7	83	2,0	4,0	2,13369	0,00620714	0,997
07	1986,9	83	2,0	4,9	2,14265	0,00633304	0,998