

## SECAGEM DE QUIABO (*Abelmoschus esculentus* L. Moench) EM ESTUFA

Teresa Letícia Barbosa Silva

Universidade Federal de Campina Grande, [teresa.silva@eq.ufcg.edu.br](mailto:teresa.silva@eq.ufcg.edu.br)

### Resumo

As técnicas pertinentes ao uso de polímeros naturais para o tratamento de água captada para o consumo humano estão cada vez mais em evidência, devido à maior eficiência de resultados e o menor risco à saúde da população. O Quiabo, *Abelmoschus esculentus* L. Moench, é uma hortaliça muito cultivada nos trópicos e subtropicais. Seu fruto verde é muito utilizado na alimentação humana, enquanto o maduro é muito eficazmente empregado como agente floculante em tratamento de águas. Portanto, é de suma importância o estudo da sua cinética de secagem, no intuito de alcançar as melhores condições para se executar o processo, sem interferir na natureza do produto. Neste trabalho são realizados experimentos para analisar a cinética de secagem de rodela de quiabo, utilizando uma estufa de secagem nas temperaturas de 70°C, 80°C e 90°C a fim de avaliar sua influência no processo. Constatou-se forte influência da temperatura na taxa de secagem. Dos modelos semiteóricos ajustados aos dados coletados, o Logarítmico foi o que melhor descreveu o comportamento da secagem do quiabo nas condições estudadas.

**Palavras-Chave:** Quiabo, Secagem, Cinética.

### Introdução

As constantes alterações ambientais, devido ao aumento da concentração populacional e industrial, são fatores importantes para contaminação da água e de seus reservatórios. Atualmente, vêm-se buscando os mais diversos métodos de prevenção ou tratamento dos impactos causados ao meio ambiente.

O quiabo, *Abelmoschus esculentus* L. Moench, é uma hortaliça da família *Malvaceae*, muito cultivada nos trópicos e subtropicais. Os frutos verdes são consumidos em saladas, cozidos ou assados. Já, estando maduras, suas sementes são ricas em óleos e proteínas. Como o fruto maduro é rejeitado pelo consumidor, este pode ser amplamente utilizado no tratamento de águas (LIMA, 2007). Por fazer parte da alimentação humana, o quiabo não apresenta riscos à saúde, além de ter baixo custo. Ao ser utilizado em conjunto com o sulfato de alumínio, pode diminuir a quantidade

necessária deste coagulante sem afetar a eficiência do processo (ASSIS *et al.*, 2011). O Brasil possui ótimas condições para a lavoura do quiabo, como o clima, por exemplo, principalmente nas regiões Nordeste e Sudeste. É o que afirmam Mota *et al.* (2005), que também se referem ao seu baixo custo de produção, bem como, resistência a pragas, alto valor nutritivo e ciclo rápido (*apud* MOTA, 2000).

Segundo Heck (sem data), a secagem se refere à retirada de água ligada fisicamente a uma substância, não incluindo os processos onde essa retirada se dê por meios mecânicos como centrifugação ou prensagem. Ela se aplica quando se deseja facilitar o manuseio de substâncias, baixar o custo de transporte de matérias-primas ou cumprir especificações relativas a um produto.

A umidade de um sólido pode ser classificada em duas categorias: base seca, que é a relação entre a massa de umidade ( $M_a$ ) e a massa do sólido sem a umidade ( $M_d$ ), e base úmida, que se refere ao quociente entre a massa de umidade e a massa do sólido úmido ( $M_a + M_d$ ). A primeira pode ser expressa em massa de água por massa de sólido seco e a outra, em massa de água por massa de sólido úmido (PACHECO, 2013):

$$W_d = \frac{M_a}{M_d} \quad (1)$$

$$W_w = \frac{M_a}{M_a + M_d} \quad (2)$$

De acordo com Pacheco (2013), a relação entre uma umidade e outra é dada por:

$$W_d = \frac{W_w}{1 - W_w} \quad (3)$$

em que  $W_d$  é a umidade de base seca e  $W_w$ , a de base úmida.

Os modelos matemáticos mais aplicados para descrever o fenômeno de secagem de materiais de camada fina são os semiteóricos, vistos que se baseiam na suposição de que as condições de fluxo sejam isotérmicas e que a resistência à transferência de massa se aplique apenas à superfície do produto, harmonizando teoria e facilidade de uso (SANTOS, 2014, *apud* BROOKER *et al.*, 1992). Os parâmetros presentes nos modelos são ajustáveis de acordo com os dados experimentais. A razão de umidade adimensional,  $U_a$ , é calculada pela expressão:

$$U_a = \frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} \quad (4)$$

em que  $X$  é o teor de água no instante  $t$ ,  $X_{eq}$  é o teor de água de equilíbrio e  $X_0$  é o teor de água inicial (TEIXEIRA *et al.*, 2015, *apud* SACILIK, 2007; DOYMAZ, 2011).

Este trabalho tem como objetivo principal estudar a cinética de secagem de quiabo em rodela, utilizando uma estufa. Seus objetivos específicos são a determinação da umidade das

rodela de quiabo, a análise do efeito da variável operacional temperatura (70°C, 80°C e 90°C) na cinética de secagem e a aplicação de modelos que descrevem a cinética de secagem.

## Metodologia

Foram pesadas três amostras de quiabo cortado em rodela, as quais foram colocadas em estufa a, aproximadamente, 105°C, durante 24 horas. Os dados de teor de umidade foram obtidos por meio das Equações (1) e (2).

A etapa seguinte do experimento foi realizada, também, em triplicata. Inicialmente, pesaram-se três amostras de quiabo em rodela na balança analítica. Após pesadas, as amostras foram colocadas, simultaneamente, na estufa com renovação e circulação de ar, já previamente aquecida a 70°C. A massa das amostras foi medida a cada pequeno intervalo de tempo (20 minutos), até que o decréscimo da massa fosse considerado insignificante, ou seja, até que a massa se mantivesse, praticamente, constante.

Os procedimentos acima descritos foram repetidos para as temperaturas de 80°C e 90°C da estufa, sendo que, para esta última temperatura, o intervalo de tempo tomado entre as medidas foi de 10 minutos.

Os dados experimentais foram tratados utilizando o *software* Origin 8, que já implementa os cálculos do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), a soma dos quadrados dos resíduos (SQE) e o erro padrão da estimativa (SE).

Para se poder afirmar que um modelo de ajuste reproduziu bem todos os pontos dos experimentos, o valor do coeficiente de determinação deve estar próximo à unidade, ou seja, 100%, enquanto a soma dos quadrados dos erros deve ser a mínima possível (OLIVEIRA, 2017, *apud* DRAPER e SMITH, 1998).

## Resultados e discussão

A Tabela 1, a seguir, contém os valores de massa das amostras de quiabo medidas antes e após a secagem de 24h a 105°C.

Tabela 1 - Massa de quiabo antes e depois da secagem a 105°C

Tempo (h)	Amostra 1 (g)	Amostra 2 (g)	Amostra 3 (g)
0	14,96	12,88	21,07
24	2,10	1,60	2,51

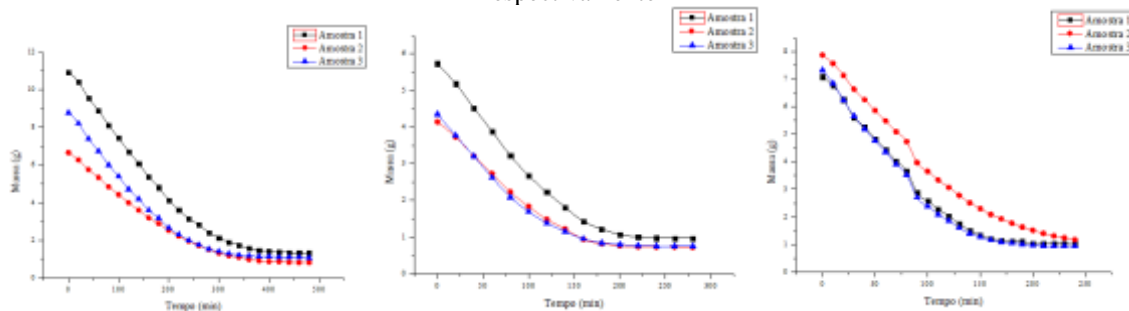
Os valores da umidade em base seca e úmida foram obtidos de acordo as equações (1) e (2) e encontram-se em seguida:

Tabela 2 - Umidade do quiabo (g água/g quiabo seco, em umidade de base seca -  $W_d$ , e g de água/ g quiabo total, por cento, em umidade de base úmida -  $W_w$ )

Umidade	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média
$W_d$	6,12	7,05	7,39	<b>6,85</b>
$W_w$	85,96	87,58	88,09	<b>87,21</b>

As figuras a seguir representam os gráficos da massa *versus* o tempo de secagem para as temperaturas de 70°C, 80°C e 90°C, criados a partir do *software* Origin 8, utilizando os dados contidos nas tabelas presentes no Apêndice A.

Figura 1 - Comportamento da massa das amostras 1, 2 e 3 com o tempo para as temperatura de 70°C, 80°C e 90°C, respectivamente



Utilizando o *software* Origin 8, construíram-se os gráficos das razões de umidade obtidas para cada temperatura em função do tempo. Estes gráficos foram ajustados, por meio da função de ajuste não linear, a modelos semiteóricos. O modelo que apresentou o melhor conjunto de resultados, levando em consideração o valor de  $R^2$  e do erro padrão da estimativa, SE, referente aos valores encontrados para seus parâmetros, foi o modelo Logarítmico, embora o modelo de Newton também tenha satisfeito as expectativas. No modelo de Dois Termos e no de Henderson e Pabis é que, apesar de o valor de  $R^2$  ter sido bastante aceitável, os valores de SE não foram tão satisfatórios.

Figura 2 – Ajustes dos modelos analisados na secagem do quiabo

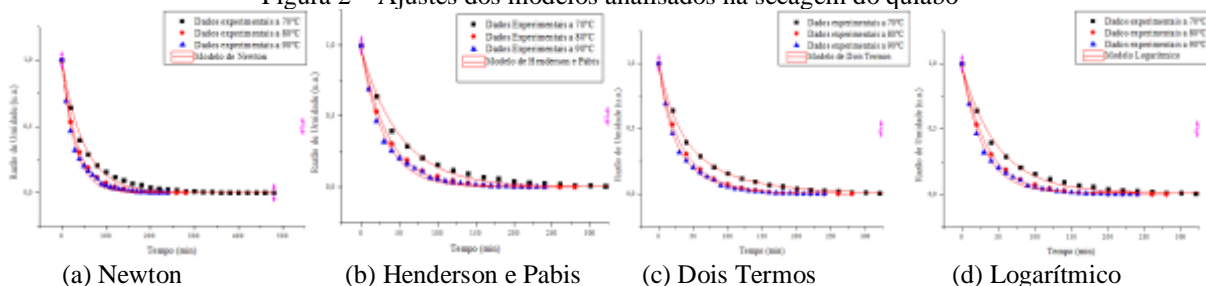


Tabela 3 – Valores obtidos para R<sup>2</sup> e SQE nos ajustes dos modelos matemáticos

<i>Modelos</i>	<i>R<sup>2</sup>(%)</i>			<i>SQE</i>		
	<i>70°C</i>	<i>80°C</i>	<i>90°C</i>	<i>70°C</i>	<i>80°C</i>	<i>90°C</i>
<i>Newton</i>	99,24	99,81	99,28	4,23708*10 <sup>-4</sup>	1,4295*10 <sup>-4</sup>	4,3137*10 <sup>-4</sup>
<i>Henderson e Pabis</i>	99,30	99,81	99,34	3,9506*10 <sup>-4</sup>	1,4060*10 <sup>-4</sup>	3,9624*10 <sup>-4</sup>
<i>Dois Termos</i>	99,94	99,99	99,87	3,3114*10 <sup>-5</sup>	8,2051*10 <sup>-6</sup>	7,9509*10 <sup>-5</sup>
<i>Logarítmico</i>	99,44	99,83	99,44	3,1411*10 <sup>-4</sup>	1,3101*10 <sup>-4</sup>	3,3645*10 <sup>-4</sup>

Tabela 5 – Parâmetros e seus respectivos erros obtidos do ajuste do modelo de Newton (Expressão:  $U_a = e^{-kt}$ )

<i>T (°C)</i>	<i>k</i>	<i>SE</i>
<b>70</b>	0,02005	5,23179*10 <sup>-4</sup>
<b>80</b>	0,02888	5,26532*10 <sup>-4</sup>
<b>90</b>	0,03375	8,14644*10 <sup>-4</sup>

Tabela 6 – Parâmetros e seus respectivos erros obtidos do ajuste do modelo de Henderson e Pabis (Expressão:  $U_a = a \cdot e^{-kt}$ )

<i>T (°C)</i>	<i>a</i>	<i>SE-a</i>	<i>k</i>	<i>SE-k</i>
<b>70</b>	0,9700	0,01765	0,0194	1,59056
<b>80</b>	0,9874	0,01124	0,0285	0,73278
<b>90</b>	0,9691	0,01700	0,0326	0,88689

Tabela 7 – Parâmetros e seus respectivos erros obtidos do ajuste do modelo de Dois Termos (Expressão:  $U_a = a \cdot e^{-k_0t} + b \cdot e^{-k_1t}$ )

<i>T (°C)</i>	<i>a</i>	<i>SE-a</i>	<i>k<sub>0</sub></i>	<i>SE-k<sub>0</sub></i>	<i>b</i>	<i>SE-b</i>	<i>k<sub>1</sub></i>	<i>SE-k<sub>1</sub></i>
<b>70</b>	0,4825	0,05835	0,0125	5,04766	0,5208	0,05782	0,0375	2,3393
<b>80</b>	0,2321	0,04647	0,0727	2,23843	0,7680	0,04648	0,0238	1,2425
<b>90</b>	0,5861	0,09032	0,0232	3,35375	0,4192	0,08940	0,0706	2,36072

Tabela 8 – Parâmetros e seus respectivos erros obtidos do ajuste do modelo Logarítmico (Expressão:  $U_a = a \cdot e^{-kt} + c$ )

<i>T (°C)</i>	<i>a</i>	<i>SE-a</i>	<i>k</i>	<i>SE-k</i>	<i>c</i>	<i>SE-c</i>
<b>70</b>	0,96506	0,01610	0,02041	6,6345*10 <sup>-4</sup>	0,0123	0,00457
<b>80</b>	0,9838	0,01123	0,0291	7,1338*10 <sup>-4</sup>	0,00576	0,00406
<b>90</b>	0,9650	0,01604	0,0342	1,1200*10 <sup>-3</sup>	0,01174	0,00504

## Conclusões

O modelo Logarítmico é o que representa de melhor maneira a cinética de secagem do quiabo por apresentar o melhor conjunto de resultados no que se refere ao coeficiente de determinação, R<sup>2</sup>, com valor próximo a 100% e aos menores valores da soma dos quadrados dos resíduos, SQE, e do erro padrão da estimativa, SE, para os parâmetros.

A temperatura é o principal fator controlador do procedimento de secagem, influenciando de maneira diretamente proporcional a velocidade do mesmo, ou seja, quanto maior for o seu valor, mais rapidamente se chegará ao valor de equilíbrio da secagem e o melhor comportamento de secagem obtido para o quiabo se dá à temperatura de 80°C para todos os modelos ajustados.

Os resultados deste relatório são apresentados como alternativa para otimização do processo de utilização do quiabo com floculante em tratamento de águas.

## Referências

- ASSIS, G. B. R.; SILVA, E. M. S.; SILVA, A. C. **Ensaio de desidratação do quiabo (*Abelmoschus esculentus*) para uso como floculante**. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira Para o Progresso da Ciência, 63., 2011, Goiânia. *Anais eletrônicos...* Goiânia: [s.n.], 2011. p. 1-4. Disponível em: <<http://www.sbpcnet.org.br/livro/63ra/arquivos/jovem/41ensaio.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2017.
- HECK, N. C. **Secagem**. Metalurgia Extrativa dos Metais Não-Ferrosos II-A - DEMET / UFRGS. Disponível em: <<http://www.ct.ufrgs.br/ntcm/graduacao/ENG06632/Secagem.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2017.
- LIMA, G. J. de A. **Uso de polímero natural do quiabo como auxiliar de floculação e filtração em tratamento de água e esgoto**. 2007. 154 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <[http://www.peamb.eng.uerj.br/trabalhosconclusao/2007/GuilhermeJulioMdeAbreuPEAMB\\_2007.pdf](http://www.peamb.eng.uerj.br/trabalhosconclusao/2007/GuilhermeJulioMdeAbreuPEAMB_2007.pdf)>. Acesso em: 01 mar. 2017.
- MOTA, W.F.; FINGER, F.L.; SILVA, D.J.H.; CORRÊA, P.C.; FIRME, L.P.; NEVES, L.L.M. **Caracterização físico-química de frutos de quatro cultivares de quiabo**. Horticultura Brasileira, Brasília, v.23, n.3, p.722-725, jul.-set. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/hb/v23n3/a06v23n3.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2017.
- OLIVEIRA, A. E. T. P. **Estudo da Secagem de Scaffold Para Regeneração Óssea**. 2017. 52 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.
- PACHECO, C. R. F. **Conceitos Básicos de Secagem**. 2002. 13 p. Optativa Aplicada (Engenharia de Alimentos II) - Universidade de São Paulo, [S.l.], 2002. Disponível em: <[http://sites.poli.usp.br/d/pqi2530/alimentos/pacheco\\_secagem\\_cap\\_1.pdf](http://sites.poli.usp.br/d/pqi2530/alimentos/pacheco_secagem_cap_1.pdf)>. Acesso em: 27 fev. 2017.
- SANTOS, H. C. **Secagem de folhas de mastruz (*Chenopodium ambrosioides* L.) em estufa**. 2014. 57 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.
- TEIXEIRA, P. C. M.; ZUNINGA, A. D. G.; RIBEIRO, L. **Modelagem Matemática e Cinética da Secagem da Amêndoa do Baru (*Dipteryx alata* Vog)**. 2015. 16p. (Engenharia de Alimentos) - Centro Científico Conhecer, Enciclopédia Biosfera, Tocantins, 2015. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2015b/agrarias/modelagem%20matematica.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2017.