

## CINÉTICA DE SECAGEM DO ESPINAFRE (*Tetragonia tetragonoides*)

Charles Diego de L. Lemos<sup>1</sup>; Jamilly Salustiano Ferreira<sup>1</sup>; Denise Dantas de O. Alencar<sup>2</sup>; Anástacia Maria Mikaella Campos Nóbrega André<sup>3</sup>; Renata Duarte Almeida<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos - CTRN – UFCG; E-mail: charles\_lemos17@hotmail.com;

<sup>1</sup>Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos - CTRN – UFCG; E-mail: jamillysalustiano@gmail.com; <sup>2</sup>Estudante do Curso de Engenharia de Alimentos - CTRN – UFCG; E-mail: denisedantas.d@gmail.com; <sup>3</sup>Estudante de Pós graduação em Engenharia de Processos – CTRN – UFCG; E-mail: anastaciamikaella@gmail.com; <sup>4</sup>Engenheira Agrícola do Curso de Engenharia de Engenharia de Alimentos – CTRN – UFCG; E-mail: renatadual@yahoo.com.br.

### INTRODUÇÃO

O espinafre é uma hortaliça folhosa verde-escuro, rica em vitaminas, proteínas, minerais e compostos bioativos não comuns em outros vegetais. A preocupação com a manutenção da saúde e com a prevenção de certas doenças tem sido associada a uma boa alimentação, em estudos, Hoefkens et al. (2009) evidenciaram correlação positiva entre o consumo regular desta folha e a redução de algumas doenças crônicas tais como câncer, hipertensão e diabetes.

A utilização do espinafre surge como ingrediente no enriquecimento de produtos, na criação de massas alimentícias, contribui na melhoria nutricional trazendo diversos benefícios a saúde, além de contribuir com o reaproveitamento da agroindústria (SALGADO et al., 2001).

A operação de secagem é utilizada para mostrar a diminuição do teor de água do material, visando prepará-lo para a armazenagem. É o processo de operação mais simples e de menor custo quando comparado com métodos como irradiação, centrifugação entre outros.

Diante do exposto, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de realizar um estudo experimental, com o intuito de analisar a cinética de secagem da folha de espinafre Nova Zelândia (*Tetragonia tetragonoides*), nas temperaturas de 40, 50 e 60°C e ajustar os modelos matemáticos de Page, Parry e Midilli aos dados experimentais.

### METODOLOGIA

O trabalho foi realizado no Laboratório de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), campus de Campina Grande, PB.

Utilizou-se folhas de espinafre Nova Zelândia (*Tetragonia tetragonoides*), obtidos no mercado local da cidade. Após lavagem e sanitização destas folhas, as mesmas foram dispostas em

cestas de alumínio de peso conhecido e submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar e velocidade de  $2,0 \text{ m s}^{-1}$  nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C.

As cinéticas de secagem foram obtidas através da pesagem do material em intervalos regulares de tempo até massa constante, em triplicata. Ao final das secagens foram determinados os teores finais de água de acordo com as normas do Instituto Adolfo Lutz (2008).

Através dos dados experimentais, foi possível calcular os valores da razão do teor de água (Equação 1). Com o cálculo da razão de teor de água da folha de espinafre, traçaram-se as curvas da cinética de secagem, representada pela razão do teor de água em função do tempo de secagem em minutos. Os modelos matemáticos de Page, Parry e Midilli (Tabela 1), foram ajustados aos dados experimentais.

$$RX = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} \quad 1$$

Em que:  $R_X$  – Razão de teor de água (adimensional);  $X_t$  – teor de água no instante t, base seca, bs;  $X_e$  – teor de água de equilíbrio, bs;  $X_0$  – teor de água inicial, bs;

**Tabela 1:** Modelos matemáticos utilizados para descrever o processo de secagem

Modelo	Equação
Page	$R_X = \text{Exp}(-k \cdot t^n)$
Parry	$R_X = a \cdot \text{exp}(-k \cdot t) + c$
Midilli	$R_X = a \cdot \text{exp}(-k \cdot t^n) + b \cdot t$

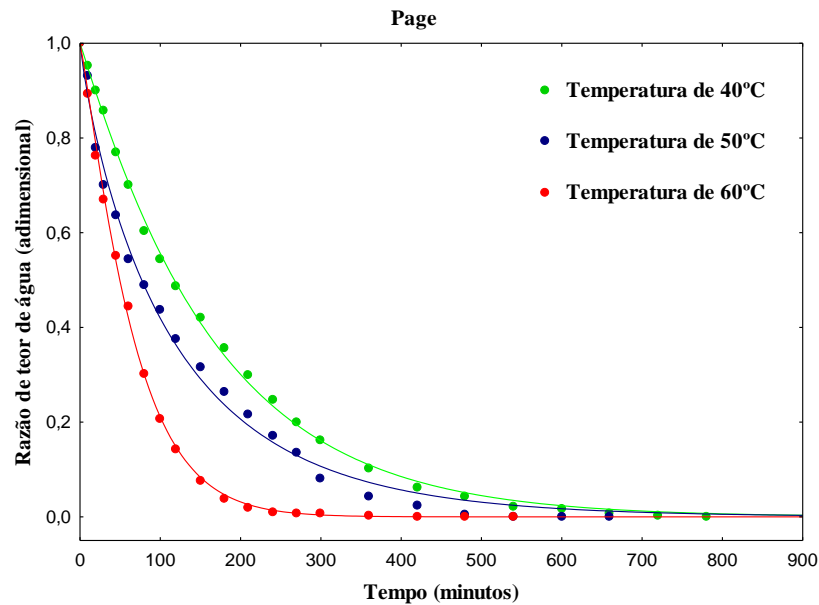
Para análise dos ajustes dos modelos matemáticos aos dados experimentais foi utilizado o programa computacional STATISTICA, versão 7. Os modelos foram selecionados tomando-se como parâmetro a magnitude do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do desvio quadrático médio (DQM) (Equação 2).

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum (RX_{\text{exp}} - RX_{\text{pred}})^2}{n}} \quad 2$$

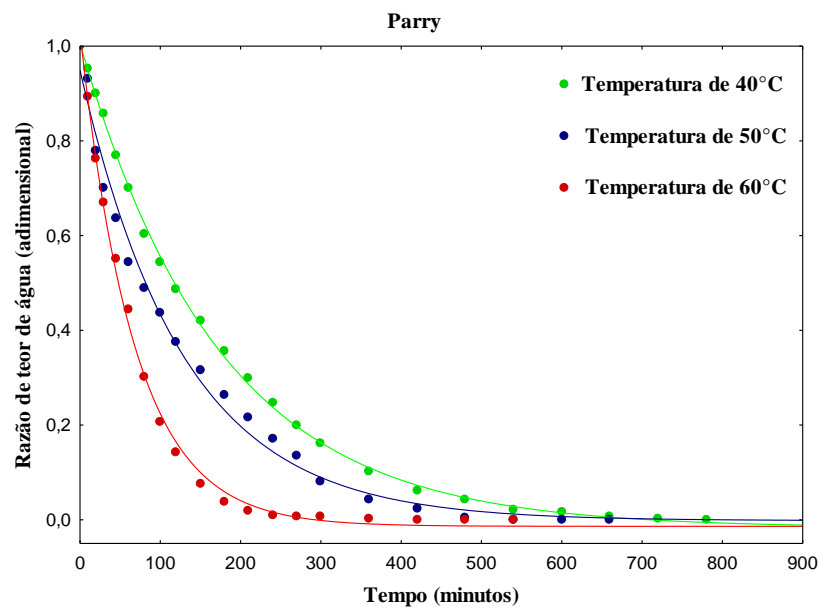
Em que:  $DQM$  → Desvio quadrático médio;  $RX_{\text{exp}}$  → Razão de teor de água experimental;  $RX_{\text{pred}}$  → Razão de teor de água predito pelo modelo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

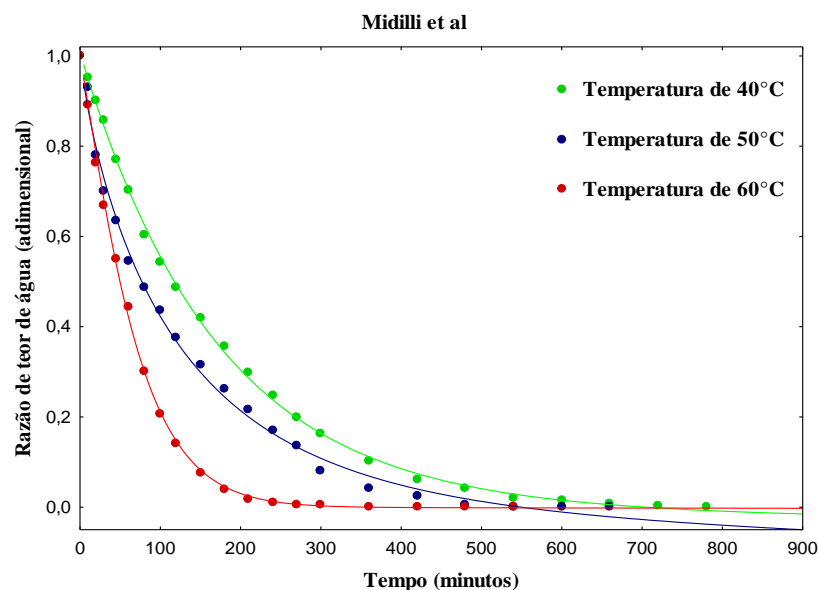
Nas Figuras 1 a 3, estão representadas as curvas de secagem das folhas de espinafre, com ajustes aos modelos matemáticos de Page, Parry e Midilli nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C, aos dados experimentais. Observa-se que a perda do teor de água é diretamente proporcional a temperatura e ocorre com mais intensidade nas primeiras horas do processo de secagem.



**Figura 1-** Curvas de secagem dos dados experimentais das folhas de espinafre, pela equação de Page, obtidas por regressão não linear, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.



**Figura 2-** Curvas de secagem dos dados experimentais das folhas de espinafre, pela equação de Parry, obtidas por regressão não linear, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.



**Figura 3-** Curvas de secagem dos dados experimentais das folhas de espinafre, pela equação de Midilli, obtidas por regressão não linear, nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.

Na Tabela 1 encontram-se os valores dos parâmetros dos modelos matemáticos Page, Parry e Midilli, ajustados aos dados experimentais das cinéticas de secagem das folhas de espinafre, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios quadráticos médios (DQM), para a temperatura de 40, 50 e 60°C.

**Tabela 2:** Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e desvios quadráticos médios (DQM) dos modelos matemáticos ajustados às curvas de secagem

Modelo	T(°C)	Parâmetros				R <sup>2</sup> (%)	DQM
		k	n				
Page	40	0,0050	1,0358	-	-	99,900	0,0107
	50	0,0100	0,8611	-	-	99,464	0,0230
	60	0,0077	1,1527	-	-	99,934	0,0085
Parry		a	k	c			
	40	1,0230	0,0058	-0,0167	-	99,929	0,0090
	50	0,9510	0,0078	-0,0018	-	99,169	0,0287
	60	1,0424	0,0148	-0,0138	-	99,745	0,0168
Midilli		a	k	n	b		
	40	1,0071	0,0057	1,0018	-0,000022	99,927	0,0092
	50	1,0094	0,0210	0,8052	-0,000063	99,625	0,0192
	60	0,9911	0,0071	1,1682	-0,000003	99,940	0,0082

Verifica-se que nas três temperaturas estudadas de secagem das folhas de espinafre, todos os modelos matemáticos apresentaram coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores a 99%. É comum a obtenção de coeficientes de determinação maiores que 99% para os melhores modelos de secagem de acordo com GUNHAN et al., 2005; SACILIK & UNAL, 2005; DOYMAZ et al., 2006; GOYAL et al., 2006; SILVA et al., 2008.

O desvio quadrático médio (DQM) apresentou valores superiores a 0,0107 e inferiores a 0,0287. O menor valor do DQM foi observado para o modelo de Midilli na secagem de 60°C (0,0082), e o que apresentou o maior valor foi o de Parry na secagem de 50°C (0,0287) .

Observa-se ainda que, os parâmetros do modelo de Page, “n” apresentaram uma variação entre 0,08611 e 1,1527. Na equação de Parry e de Midilli os valores do parâmetro “k” aumentam com a elevação da temperatura e os parâmetros de “n” não apresentam comportamento específico de acordo com a temperatura.

O modelo de Midilli foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais da secagem convectiva das folhas de espinafre. O mesmo foi observado por Martinazzo et al., (2007), estudando as características da secagem de folhas de capim-limão (*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf) em camada delgada na faixa de temperatura de 30 a 60°C. Reis et al., (2012) analisando a cinética de secagem de folhas de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) via infravermelho nas temperaturas de 50, 60 e 80°C, concluíram também que o modelo Midilli foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais.

## CONCLUSÃO

O tempo de secagem das folhas de espinafre diminuiu em função do aumento da temperatura de secagem. Os modelos de Page, Parry e Midilli ajustaram-se bem aos dados experimentais, podendo ser utilizados nas predição das cinéticas de secagem, nas temperatura de 40, 50 e 60°C. No entanto, o modelo de Midilli, foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais de secagem convectiva, a temperatura de secagem de 60°C, com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 99,940 e desvio quadrático médio (DQM) de 0,0082.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DOYMAZ, I.; TUGRUL, N.; PALA, M. Drying characteristics of dill and parsley leaves. **Journal of Food Engineering**, v.77, n.3, p.559-65, 2006

GOYAL, R.K. et al. Thin-layer drying kinetics of raw mango slices. **Biosystems Engineering**, v.95, n.1, p.43-9, 2006.

GUNHAN, T. Mathematical modelling of drying of bay leaves. **Energy Conversion and Management**, v.46, n.11-12, p.1667-79, 2005.

HOEFKENS, C.; VERBEKE, W.; AERTSENS, J.; MONDELAERS, K.; VAN CAMP, J. The nutritional and toxicological value of organic vegetables: consumer perception versus scientific evidence. **British Food Journal**, New Jersey, v. 111, n. 10, p. 1062-1077, 2009.

IAL - Instituto Adolfo Lutz. **Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análises de alimentos**. 4ª ed. 1ª ed. Digital, São Paulo, 2008.

MARTINAZZO, A. P.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MELO, E. C. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 301-306, 2007.

REIS, R. C. et al. Cinética de secagem de folhas de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) via infravermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 12, p. 1346-1352, 2012.

SACILIK, K.; UNAL, G. Dehydration characteristics of Kastamonu garlic slices. **Biosystems Engineering**, v.92, n.2, p.207-15, 2005.

SALGADO, J. M.; RODRIGUES, B. S.; DONADO-PESTANA, C. M.; DIAS, C.T. DOS S.; MORZELLE, M. C. Cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) Peel as Potential Source of Dietary Fiber and Phytochemicals in Whole-Bread Preparations. **Plant Foods Human Nutrition**, v. 66, n. 4, p. 384-390, 2001.

SILVA, A.S. et al. Drying kinetics of coriander (*Coriandrum sativum*) leaf and stem. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.6, n.1, p.13-9, 2008.