SECAGEM DA LINGUIÇA TIPO CALABRESA: CINÉTICA E AVALIAÇÃO DE MODELOS

JULIO CESAR ZANCHET PIAIA[1], MARINTHO BASTOS QUADRI[1], ARIOVALDO BOLZAN[1]

RESUMO

A secagem de alimentos é realizada por meio de diferentes técnicas nas quais se combinam fontes de calor ou de pressão para remover a água do interior do produto e energia mecânica para remover a água da superfície. O processo de desidratação determinará a qualidade do produto, aumentando a vida útil e diminuindo a contaminação microbiológica. A transferência de umidade do interior do produto até a superfície depende principalmente do conteúdo de água, composição do material, temperatura, fluxo de ar e umidade relativa do processo de secagem. As características da secagem da linguiça tipo calabresa *in natura* foram estudadas para as temperaturas de 60 e 80 ºC, utilizando modelos semi-teóricos e empíricos. O modelo da Aproximação da Difusão foi o que melhor descreveu as curvas de secagem.

PALAVRAS-CHAVE: Modelos matemáticos. Secagem. Linguiça Calabresa. Conteúdo de Umidade.

ASSESSMENT OF CONVECTIVE DRYING MODELS FOR FRESH CALABRESE SAUSAGE

ABSTRACT

The food drying is carried out trough of different techniques that combined sources of heat and pressure to remove water from the within the products and mechanical energy to remove the water in the surface. The dehydration process, will determine the product quality, increasing the shelf life and decreasing the microbiological contamination. The core moisture transfer from the surface mainly depends of water content, chemical composition, temperature and air flow drying process. Drying characteristics of fresh calabrese sausage were studied for the temperature of 60 and 80 ºC, using semi-theoretical and empirical models. The Diffusion approach model was found to be the best model describing the drying curves.

KEY-WORDS: Mathematical Model, Drying, Calabrese Sausage, Moisture Content.

[1] Laboratório de Controle de Processos, Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). *Correspondência: Dr. Julio Cesar Zanchet Piaia, Tel.: +55 48 3721 9554. E-mail: julio@enq.ufsc.br

1. INTRODUÇÃO

A produção de carne suína em 2011, cresceu 3,7% em relação a 2010, passando de 3,24 milhões de toneladas para 3,36 milhões de toneladas [1]. Cerca de 65% da carne suína consumida no Brasil é sob a forma industrializada e apenas 35% sob a forma *in natura*, o que dificulta seu maior consumo em períodos de retração econômica. O mercado de embutidos tem apresentado significativa expansão e alta competitividade na última década, uma vez que o consumo de produtos cárneos como salsichas, linguiças, mortadelas, hambúrgueres e outros, tornaram-se parte do hábito alimentar de uma parcela considerável de consumidores brasileiros [18].

Vários recursos têm sido utilizados para conservação de alimentos como temperatura, atividade de água, pH, gases, ácidos orgânicos, sais, embalagens, irradiação e diversas combinações desses fatores [23]. De acordo com Jones et al. [13] os métodos de conservação possuem como objetivos principais o aumento da vida útil e a melhoria da qualidade microbiológica e sanitária dos alimentos. Além disso, promovem a obtenção de novos produtos com características sensoriais diferenciadas.

A secagem é um dos mais antigos métodos de preservação de alimentos conhecidos pelo homem, baseia-se no fato de que tanto os microrganismos como as enzimas e todo mecanismo metabólico necessitam de água para suas atividades. Com a redução da quantidade de água disponível, até níveis seguros para armazenagem, reduz-se a atividade de água e a velocidade das reações químicas no produto, bem como o desenvolvimento de microrganismos [6].

O método empírico é um método de abordagem com base em dados experimentais e na análise adimensional. Os modelos empíricos de secagem apresentam uma relação direta entre o conteúdo médio de umidade e o tempo de secagem, eles omitem os fundamentos do processo de secagem e seus parâmetros não têm significado físico. Conseqüentemente, não oferecem uma visão apurada dos processos importantes que ocorrem durante o fenômeno, embora descrevam as curvas de secagem para determinadas condições experimentais [15]. Entre esses modelos, tem-se o de Thompson e o de Wang e Singh, tradicionalmente utilizados nos estudos de secagem de alimentos [17].

Muita ênfase se tem dado ao desenvolvimento de modelos semi-teóricos, que concorrem para que haja harmonia entre a teoria e a facilidade de uso [17]. Tais modelos se baseiam, de modo geral, na Lei de Newton para resfriamento aplicada à transferência de massa. Quando se aplica esta lei, presume-se que as condições sejam isotérmicas e que a resistência à transferência de umidade se restrinja apenas à superfície do produto [5]. Entre os modelos semi-teóricos, o modelo de Dois Termos, Aproximação da Difusão, Henderson e Pabis têm sido amplamente utilizados [2,7,9,19].

O presente trabalho objetivou ajustar modelos matemáticos de secagem, aos dados experimentais obtidos da secagem da linguiça tipo calabresa, em diferentes temperaturas do ar de secagem.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Transferência e Operações Unitárias (LAFETE/LABOPE), vinculado ao Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos (EQA) da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC.

O equipamento utilizado no experimento consiste em um secador tubular composto de quatro partes: ventilador para insuflar o ar de secagem, câmara de aquecimento do ar via resistência elétrica, túnel de vento, onde está localizado o material. Um esquema do equipamento encontra-se disposto na FIGURA 1.

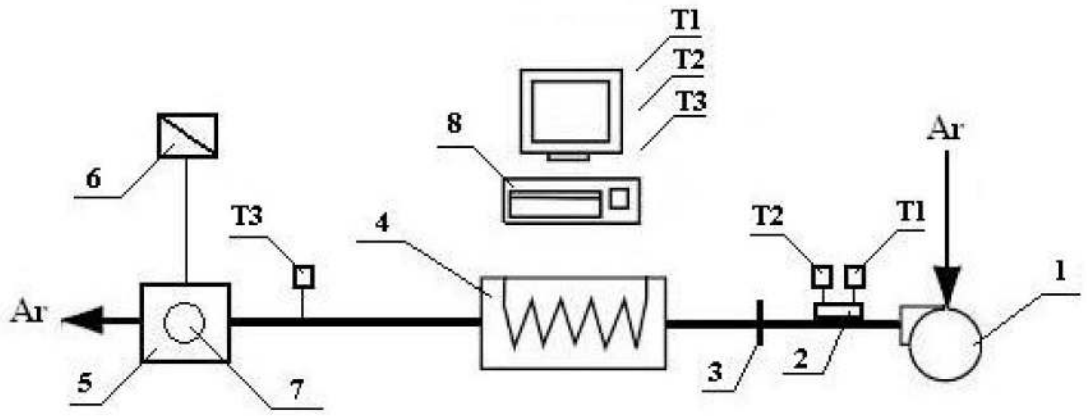


Figura 1: Esquema do equipamento de secagem utilizado: (1) ventilador centrífugo; (2) psicrômetro; (3) placa de orifício; (4) câmara de aquecimento; (5) câmara de secagem; (6) balança eletrônica; (7) amostra do material; (8) microcomputador; (T1) termopar para bulbo seco; (T2) termopar para bulbo úmido; (T3) termopar para a secagem

Os termopares foram conectados a um computador para a aquisição dos dados relativos as temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido do ar de entrada e do ar quente de secagem. A matéria-prima consistiu em uma linguiça do tipo calabresa *in natura* (comprimento, 9 cm e diâmetro, 3 cm), adquirida em um frigorífico regional. A monitoração do ensaio experimental de secagem por convecção foi efetuada por gravimetria, pesando-se as amostras no instante inicial e em intervalos de 20 min. As condições do ar de secagem empregadas foram: velocidade de escoamento de 2,0 $m.s^{-1}$, temperaturas de 60 e 80ºC. A

secagem foi interrompida quando as amostras atingiram teor de umidade no intervalo entre 40 e 45% (base seca).

Os dados experimentais de secagem por convecção foram ajustados aos seis modelos matemáticos frequentemente utilizados para a representação da secagem de produtos agrícolas [3,7,8,9,10,22] cujas expressões estão apresentadas na TABELA 1.

Tabela 1: Modelos matemáticos utilizados para predizer o fenômeno de secagem de produtos agrícolas

Equação	Nome do modelo	
$RU = 1 + a.t + b.t^2$	Wang e Singh	(1)
$RU = a.\exp(-k.t)$	Handerson e Pabis	(2)
$RU = a.\exp(-k_0.t) + b.\exp(-k_1 t)$	Dois termos	(3)
$RU = a.\exp(-k.t) + (1-a).\exp(-k.b.t)$	Aproximação da Difusão	(4)
$RU = \exp[[-a - (a^2 + 4.b.t)^{0.5}]/2.b]$	Thompson	(5)
$RU = a.\exp(-k.t) + c$	Logaritmico	(6)

sendo: RU - razão de umidade (kg kg^{-1}) base seca; t - tempo de secagem (s); k, k_0, k_1- constantes de secagem ($min.^{-1}$); a, b, c, n - coeficientes dos modelos.

Os ajustes foram realizados por regressão não-linear, com o auxílio do programa LAB Fit v.7.2.48 pelo método de Levenberg-Marquardt para a obtenção dos coeficientes das equações propostas, para representar a secagem da linguiça tipo calabresa. O grau de ajuste do modelo considerou a magnitude do coeficiente de determinação (R^2) e do erro médio relativo (P). O erro médio relativo foi estimado conforme a Equação 7 [7]:

$$P = \frac{100}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{|RU_{(exp)} - RU_{(pre)}|}{RU_{(exp)}} \quad (7)$$

sendo: $RU_{(exp)}$ o valor observado experimentalmente; $RU_{(pre)}$ o valor previsto pelo modelo; n o número de observações experimentais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na TABELA 2 se encontram os dados que representam os parâmetros dos modelos testados e ajustados, para cada uma das temperaturas estudadas, e os coeficientes de determinação (R^2) e o valor do erro médio relativo (P).

Tabela 2: Parâmetros dos modelos, valores do coeficiente de determinação (R^2) e do erro relativo médio (P) ajustados aos dados de secagem da linguiça tipo calabresa *in natura*, obtidos nas temperaturas de 60 e 80ºC

Modelos	T (ºC)	Parâmetros				R^2 (%)	P (%)
Wang e Singh		*a*	*b*				
	60	$-0.10x10^{-2}$	$0.56x10^{-6}$			98,93	2,81
	80	$-0,14x10^{-2}$	$0,87x10^{-6}$			97,67	5,72
Henderson e Pabis		*a*	*k*				
	60	0,92	$0,77x10^{-3}$			97,96	2,73
	80	0,87	$0,10x10^{-2}$			96,30	4,67
Dois termos		*a*	*b*	k_0	k_1		
	60	0,80	0,18	$0,58x10^{-3}$	$0,58x10^{-2}$	99,89	0,57
	80	0,70	0,26	$0,72x10^{-3}$	$0,73x10^{-2}$	99,77	1,25
Aproximação da Difusão		*a*	*b*	*k*			
	60	0,17	0,08	$0,74x10^{-2}$		99,87	0,69
	80	0,26	0,08	$0,94x10^{-2}$		99,74	1,48
Thompson[a]		*a*	*b*				
	60	-5,46	0,10			99,89	0,37
	80	-3,25	0,11			99,88	0,90
Logarítmico		*a*	*k*	*c*			
	60	0,60	$0,18x10^{-2}$	0,36		99,72	0,90
	80	0,63	$0,25x10^{-2}$	0,31		99,41	1,56

k, k_0, k_1- constantes de secagem ($min.^{-1}$); a, b, c - coeficientes dos modelos.

[a] Este modelo apresentou os melhores resultados para a secagem convectiva da linguiça tipo calabresa *in natura*

Na Tabela 2 foram observados altos coeficientes de correlação (R^2) e baixos valores de erro médio relativo (P), significando um bom ajuste aos dados experimentais com os modelos avaliados. De acordo com Mohapatra e Rao [20] para o erro relativo médio inferior ou ligeiramente superior a 10% o modelo é adequado para descrever o fenômeno. Dentre os modelos avaliados, o modelo empírico de Thompson foi o que melhor se ajustou aos dados observados de razão de umidade, apresentando os maiores coeficientes de correlação (R^2) e os menores valores de erro relativo médio (P), para as temperaturas de secagem de 60 e 80 ºC. Segundo Keey [15] por se tratar de um modelo empírico os parâmetros não têm significado físico não oferecendo informações importantes do fenômeno de secagem.

Levando em conta a praticidade por apresentar apenas dois parâmetros de ajuste, sendo facilmente linearizado e ajustado matematicamente, optou-se pelo modelo semi-teórico da Aproximação da Difusão, Equação 4 (TABELA 1). Enquanto P variou entre 0,37 a 5,72% para os modelos analisados, os valores oscilaram de 0,69 a 1,48% para o modelo da Aproximação da Difusão, nas diferentes condições experimentais. Em relação ao R^2, o

modelo da Aproximação da Difusão apresentou valores elevados estando acima de 99% o que, segundo Madamba, Driscoll e Buckle [16] significa um bom ajuste do modelo para representação do fenômeno de secagem.

As constantes cinéticas k, k_0 e k_1 (min^{-1}) indicam o quão rápido é a secagem e verifica-se maior rapidez em condições de alta temperatura 80 ºC, quando comparadas a temperatura mais baixa 60 ºC, em todos os modelos analisados.

Os valorers experimentais e ajustados pelo modelo da Aproximação da Difusão para a cinética de secagem da linguiça calabresa *in natura* nas temperaturas de 60 e 80 ºC, são apresentados na FIGURA 2.

Observa-se, na FIGURA 2, a influência da temperatura do ar na cinética do processo. Como previsto, o tempo de secagem decresce com o aumento da temperatura do ar para alcançar o teor de umidade em torno de 0,45 base seca. Valores altos de temperatura e velocidade do ar de secagem favorecem maior transferência de massa e calor pelo favorecimento de altos coeficientes de difusão, diminuindo o tempo necessário para atingir menores valores de teor de umidade. Estas tendências têm sido reportadas em vários trabalhos sobre cinética [4,12,14,21].

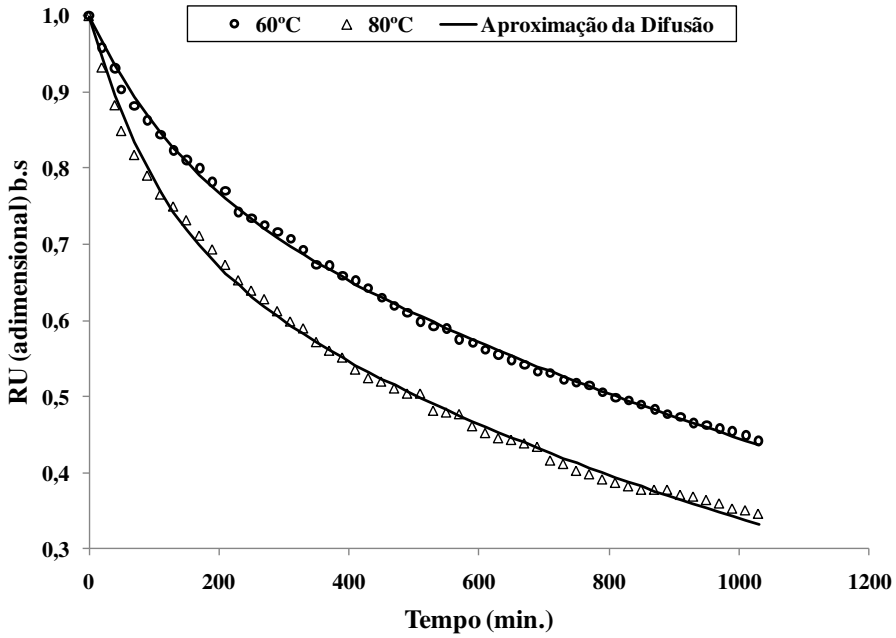


Figura 2: Valores experimentais e estimados de razão de umidade pelo modelo da Aproximação da Difusão nas temperaturas de 60 e 80ºC

Analisando a curva de razão de umidade (RU) base seca em função do tempo de secagem, verifica-se a ausência de período de taxa constante, o que é característico de alimentos com elevado teor protéico. Após 600 min de secagem (FIGURA 2) observa-se um comportamento linear da curva de secagem, esse fenômeno conforme Freire, Silva, Zapata

e Maia [11], indica a influência das forças capilares do escoamento da água no interior do produto.

4. CONCLUSÃO

Os seis modelos estudados representaram satisfatóriamente os dados experimentais com coeficientes de determinação (R^2) superiores a 96% e erros medios relativos (P) inferiores a 10%.

Dentre os modelos ajustados aos dados da cinética de secagem da linguiça calabresa *in natura,* o modelo da Aproximação da Difusão apresentou valores de coeficientes de determinação acima de 99% e erros relativos médios abaixo de 2% nas temperaturas estudadas. Por ser de mais fácil solução matemática, é o mais indicado na predição dos dados de secagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ABIPECS. Associação brasileira indústria produtora e exportadora de carne suína.Disponívelem:<http://wwwhttp://www.abipecs.org.br/uploads/relatorios/mercado-interno/consumo/oferta_e_demanda.pdf. Acesso em: 27 nov. 2012.

[2] AKHONDI, E.; KAZEMI, A.; MAGHSOODI, V. Determination of a suitable thin layer drying curve model for saffron (*Crocus sativus L*) stigmas in an infrared dryer. **Scientia Iranica**, v.18, n.6, p.1397-1401, 2011.

[3] AKPINAR, E.K.; BICER, Y.; YILDIZ, C. Thin layer drying of red pepper**. Journal of Food Engineering**, v.59, n.1, p.99-104, 2003.

[4] BORGES, S, V.; MANCINI, M, C.; CORRÊA, J, L, G.; LEITE, J. Secagem de bananas prata e d'água por convecção forçada**. Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, n.3, p.605-612, 2010.

[5] BROOKER, D. B.; BAKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. Drying and storage of grains and oilseeds. New York, USA. AVI Book, 1992.

[6] CHRISTENSEN, C. M.; KAUFMANN, H. MICROFLORA. In: CHRISTENSEN, C. M. Storage of cereal grain and their products. St. Paul, USA. American Association of Cereal Chemists, 1974, p.158-192.

[7] CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MARTINAZZO, A. P.; GONELI, A. 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.501-510, 2007.

[8] DOYMAZ, I. Air-drying characteristics of tomatoes. **Journal of Food Engineering**, v.78, n.4, p.1291-1297, 2007a.

[9] DOYMAZ, I. The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices. **Journal of Food Engineering**, v.79, n.1, p.243-249, 2007b.

[10] ERTEKIN, C.; YALDIZ, O. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. **Journal of Food Engineering**, v.63, n.3, p.349-359, 2004.

[11] FREIRE, F. N. A.; SILVA, M. E. V.; ZAPATA, J. F. F.; MAIA, G. A. Desidratação de músculo de pescado em bancada experimental de secagem. **Brazilian Journal of Food Technology,** v.6, n.2, p.273-278, 2003.

[12] GIRALDO-ZUNIGA, A.; ARÉVALDO-PINEDO, A.; REZENDE, J.R.; SILVA, C.; MONTEIRO, J.A. Drying kinetics for murici (*Byrsonima crassifolia*) fruit. **Journal of Food Processing and Preservation,** v. 30, p. 699–705, 2006.

[13] JONES, R. J.; HUSSEIN, H.M.; ZAGOREC, M.; BRIGHTWELL, G.; TAGG, J.R. Isolation of lactic acid bacteria with inhibitory activity against pathogens and spoilage organisms associated with fresh meat**. Food Microbiology**, v. 25, n.02, p. 228-234, 2008.

[14] KAYA, A.; AYDIN, O.; DINCER, I. Experimental and numerical investigation of heat and mass transfer during drying of hayward kiwi fruits (*Actinidia Deliciosa Planch*). **Journal of Food Engineering**, v.88, p.323–330, 2008.

[15] KEEY, R. B. **Drying: Principles and practice**. New York, USA. Pergamon Press, 1972.

[16] 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.

[17] 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**, v.11, n.3, p.301-306, 2007.

[18] MELO FILHO, A. B.; BISCONTINI, T. M. B.; ANDRADE, S. A. C. Níveis de nitrito e nitrato em salsichas comercializadas na região metropolitana de Recife. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.24, n.03, p. 390-392, 2004.

[19] MILCZAREK, R.R.; DAI, A.A.; OTONI C.G.; MCHUGH, T.H. Effect of shrinkage on isothermal drying behavior of 2-phase olive mill waste. **Journal of Food Engineering**, v.103, n.4, p.434-441, 2011.

[20] MOHAPATRA, D.; RAO, P.S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engeneering**, v.66, n.4, p.513-18, 2005.

[21] NAGLE, M. GONZÁLES-AZCÁRRAGA, J.; PHUPAICHITKUN, S.; MAHAYOTHEE, B.; HAEWSUNGCHARERN, M.; JANJAI, S.; LEIS, H.; JOACHIN, M. Effects of operating practices on performance of a fixed-bed convection dryer and quality of dried longan**. International Journal of Food Science and Technology**, v. 43, n.11, p. 1979-1987, 2008.

[22] RESENDE, O.; RODRIGUES, S.; SIQUEIRA, V. C.; ARCANJO, R. V. Cinética da secagem de clones de café (Caffea canephora Pierre) em terreiro de chão batido. **Acta Amazônica**, v.40, n.2, p.247-256, 2010.

[23] WAGNER, M.K.; MOBERG, L.J. Present and future use of traditional antimicrobials**. Food Technology**, v.43, p.143-147, 155, 1989.