



X Congresso Brasileiro de Engenharia Química Iniciação Científica

“Influência da pesquisa em Engenharia Química no desenvolvimento tecnológico e industrial brasileiro”

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Universidade Severino Sombra
Vassouras – RJ – Brasil

SECAGEM DE FATIAS CILINDRICAS DE BANANAS EM UM SECADOR SOLAR ARTESANAL HÍBRIDO

ALMAGRO¹, A. S.; SALES¹, A. B.; MUNIZ², E. P.; PROVETI², J. R. C.;
PORTO³, P. S. S.

¹Aluno do Curso de Engenharia Química/UFES; ²Professor do DCN/UFES; ³Professor do DETEC/UFES

Universidade Federal do Espírito Santo *campus* São Mateus
Centro Universitário Norte do Espírito Santo - UFES,
Rodovia BR101 Norte, km 60 – São Mateus, ES – CEP 29932-540, ES
e-mail: pauloporto@ceunes.ufes.br

RESUMO - O Brasil apresenta um consumo interno elevado de banana *in natura*. No entanto, para minimizar as perdas na pós-colheita, dentre as variedades de produtos processados, a banana passa é a que apresenta maior destaque. Assim, este trabalho teve por objetivo analisar a cinética de secagem de banana prata (*Musa spp.*) utilizando um secador solar artesanal. Esse opera sem circulação de ar (normal) e com circulação de ar forçada (híbrido). A banana passa (desidratada) apresenta baixo custo operacional pelo uso da energia solar. Buscou-se avaliar as variáveis temperatura e velocidade do ar durante os experimentos. As secagens foram realizadas no período de abril a junho de 2012, com umidade relativa na faixa entre 50 e 90%, temperatura ambiente e convecção natural e forçada. Cinco modelos clássicos da literatura foram ajustados aos dados experimentais de secagem. Entre esses modelos, o de Dois Termos foi o que apresentou melhor ajuste determinado pelo maior coeficiente de determinação (R^2) e menores erros médios relativo (P) e da estimativa (SE) para todas as amostras, bem como diferentes mecanismos utilizados nos experimentos de secagem.

Palavras chave: reaproveitamento, pequeno produtor, energia limpa.

INTRODUÇÃO

A banana é uma das frutas mais consumidas no mundo, sendo explorada na maioria dos países tropicais. O Brasil é o terceiro produtor mundial de banana com cerca de 7,5 milhões de toneladas, atrás apenas da Índia e da China. No Brasil, a produção de banana está mais concentrada nas

regiões Nordeste e Sudeste (IBGE, 2010), sendo praticada por pequenos produtores rurais. Apesar do mercado constante que abastece o setor alimentício, o país enfrenta problemas quanto ao “aproveitamento pós-colheita”. Isto ocorre por causa das más condições no início colheita, estendendo para o processamento industrial e comercialização. Esta sequência resulta num produto final mais

suscetível à deterioração (Gouveia, *et al.*, 2004).

Um fato que estimula a pesquisa é otimizar a produção agroindustrial da banana, agregar valor e durabilidade ao produto final (banana passa). Uma alternativa é a secagem, que implica na vaporização térmica da água que se encontra agregada ao produto (Foust *et al.*, 1980; Geankoplis, 2003; Park *et al.*, 2007). Em regiões de clima seco, onde apresenta boa irradiação solar, a secagem natural é uma opção recomendável, tornando-

se positiva ao beneficiamento da fruta por empregar uma energia limpa, abundante e gratuita.

Para avaliar os parâmetros pertinentes à cinética de secagem, modelos empíricos da literatura foram ajustados aos dados experimentais. A Tabela 1 mostra os modelos teóricos investigados, os quais relacionam a razão de umidade em relação ao tempo de secagem (t).

Tabela 1 - Modelos empíricos ajustados.

Modelo	Equação
Page	$RU = \exp(-k.t^n)$ (1)
Page Modificado	$RU = \exp(-(k.t)^n)$ (2)
Logarítmico	$RU = a.\exp(-k.t) + c$ (3)
Dois Termos	$RU = a.\exp(-k_0.t) + b.\exp(k_1.t)$ (4)
Exponencial a dois termos	$RU = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$ (5)

Em que: RU é a razão entre a massa de água na amostra e a massa de amostra livre de água (adimensional); a, b, c e k são parâmetros de ajuste; t é o tempo (minutos).

MATERIAIS E MÉTODOS

Matéria prima

A matéria prima estudada foi banana prata adquirida no comércio local de São Mateus/ES.

Metodologia

Para cada experimento, as bananas foram cortadas transversalmente em diferentes tamanhos (cilindros com espessuras de 8 mm e 10 mm). Em seguida, as amostras foram colocadas sobre uma tela, previamente tarada. As medidas foram realizadas em balança analítica com precisão de 0,0001 g. As massas foram obtidas e registradas ao longo do tempo, em intervalos de uma hora.

Todos os experimentos ocorreram no início da manhã, iniciando-se às 07:00h. Foram selecionados dias com intensa luminosidade e umidade relativa do ar na faixa entre 50 e 90%. Como critério de finalização do experimento, adotou-se o horário das 17:00h, mantendo-se o tempo de dez horas de exposição ao sol. As amostras eram retiradas do secador, levadas para o laboratório e armazenadas de maneira adequada.

A secagem foi totalmente finalizada quando a diferença de massa entre três medidas consecutivas não ultrapassasse o limite de 0,001g.

Foram realizados três experimentos diferentes, cada um envolvendo réplicas das amostras referentes às alturas de 10 e 8 mm. No primeiro, utilizou-se convecção natural e nos demais se utilizou convecção forçada de 2 e 3 m/s, respectivamente. Nesses, empregou-se um soprador de ar, localizado em uma das extremidades da caixa coletora do secador.

Construção do Secador Solar

O secador é constituído de duas estruturas distintas: o coletor e a câmara de secagem, onde se localizavam as bandejas. O coletor é uma caixa revestida internamente de embalagem cartonada pintada de preto. Essa estrutura é aberta nas faces. Na parte superior é revestida de um polímero transparente (plástico), enquanto as partes frontal e traseira são revestidas por tela. O coletor foi posicionado junto à câmara de secagem formando uma angulação de aproximadamente 17° a fim de promover maior incidência dos raios solares na latitude da região.

A câmara de secagem é uma caixa de madeira revestida por embalagens cartonadas. Essa foi pintada com tinta preta, mantendo-se as faces superior e frontal abertas. Essas faces foram revestidas com tampas e forradas com plástico transparente para facilitar o manuseio das bandejas, posicionadas na parte superior da câmara de secagem.

As medidas de temperaturas de cada bandeja no secador, do coletor e do ar ambiente foram realizadas pelo auxílio de termômetros convencionais. O ar era aquecido no coletor solar, região que concentra a

captação de energia (corpo negro). Por diferença de pressão, o ar aquecido é conduzido à câmara de secagem, entrando em contato com as amostras. Isso faz com que a umidade presente, através da transferência de calor, evapore. O ar úmido sai no topo do secador através de furos situados atrás do equipamento. Para a homogeneização do fluxo de ar aquecido e evitar a presença de insetos em contato com as amostras, foram utilizadas telas no coletor.

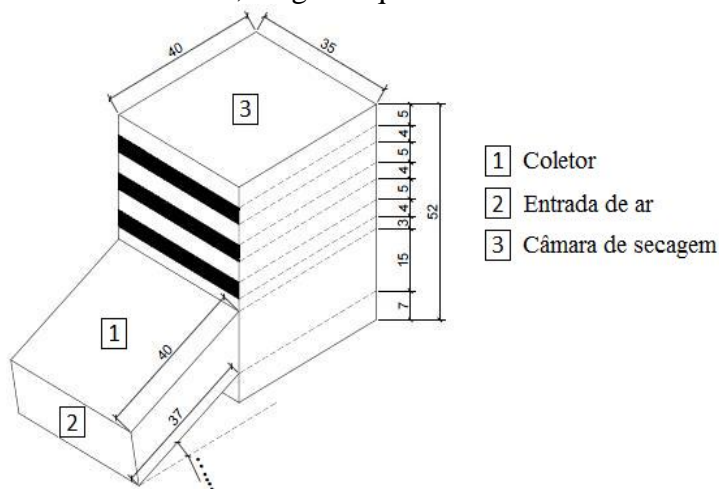


Figura 1 – Secador solar. a) Desenho esquemático. b) secador solar com circulação de ar forçada (híbrido) em atividade.

Modelagem do Processo de Secagem

Com os valores dos adimensionais de umidade estimados, realizou-se o ajuste dos modelos apresentados na Tabela 1 através de um *software* estatístico convencional. Foi definido como critérios de seleção do modelo: maior coeficiente de determinação (R^2) e menores erros médios relativo (P) e da estimativa (SE), conforme equações dispostas abaixo (Madamba *et al.*, 1996; Afonso Júnior & Corrêa, 1999; Mohapatra & Rao, 2005):

$$P = \frac{100}{N} \sum \frac{|Y - Y'|}{Y} \quad (6)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - Y')^2}{GLR}} \quad (7)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y'_{i-} - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_{i-} - \bar{y})^2} \quad (8)$$

Em que: n é o número de observações; Y é o valor observado experimentalmente; Y' é o valor estimado pelo modelo; \bar{y} é a Média aritmética dos valores observados; GLR é o grau de liberdade do modelo (número de observações menos o número de parâmetros do modelo).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas de 2 a 5 mostram os valores de R^2 , P, SE e parâmetros de ajuste dos primeiros modelos propostos na Tabela 1. É possível verificar que a maioria dos modelos testados apresentaram ajustes satisfatórios.

Tabela 2 – Parâmetros estatísticos para o Modelo de Page.

Secagem	h (mm)	R ²	P	SE
Natural	10	0,99	4,77	0,10
	8	0,99	8,09	0,13
Convec. v = 2m/s	10	0,99	5,16	0,08
	8	0,99	8,0	0,11
Convec. v = 3m/s	10	0,99	6,13	0,07
	8	0,99	12,3	0,11

Tabela 3 – Parâmetros estatísticos para o Modelo de Page Modificado.

Secagem	h (mm)	R ²	P	SE
Natural	10	0,50	27,8	0,61
	8	0,60	39,8	0,67
Convec. v = 2m/s	10	0,55	39,9	0,68
	8	0,99	7,37	0,11
Convec. v = 3m/s	10	0,49	73,1	0,95
	8	0,99	12,6	0,11

Tabela 4 – Parâmetros estatísticos para o Modelo Logarítmico.

Conv.	h (mm)	R ²	P	SE
Natural	10	0,99	4,48	0,08
	8	0,88	25,3	0,44
Convec. v = 2m/s	10	0,99	45,9	0,73
	8	0,99	4,34	0,07
Convec. v = 3m/s	10	0,99	6,08	0,08
	8	0,99	11,9	0,12

Tabela 5 – Parâmetros estatísticos para o Exponencial de Dois Termos.

Secagem	h (mm)	R ²	P	SE
Natural	10	0,99	7,48	0,12
	8	0,99	12,0	0,16
Convec. v = 2m/s	10	0,99	5,37	0,09
	8	0,99	9,68	0,12
Convec. v = 3m/s	10	0,99	6,01	0,14
	8	0,99	13,0	0,14

De modo geral, a maioria dos valores obtidos para o R² encontram-se em torno de 0,99. Isso foi ratificado por Pontes *et al.*, (2009) na determinação de curvas de secagem para pimenta de cheiro. Os parâmetros de

análise P e SE sofreram variações de 3,14 a 13,0 e 5,57 a 13,8%, respectivamente.

A Tabela 6 mostra dados referentes ao modelo de Dois Termos, que apresentou melhor ajuste de acordo com os critérios estabelecidos. Observou-se que os modelos exponencial de dois termos e o de Page também apresentaram boa representação dos dados experimentais. Tal fato foi verificado por Menezes *et al.*, (2010) na secagem do bagaço do maracujá amarelo.

Tabela 6 – Parâmetros estatísticos para o Modelo de Dois Termos.

Secagem	h (mm)	R ²	P	SE
Natural	10	0,99	3,40	0,07
	8	0,99	3,14	0,06
Convec. v = 2m/s	10	0,99	4,78	0,09
	8	0,99	3,77	0,07
Convec. v = 3m/s	10	0,99	5,45	0,06
	8	0,99	10,9	0,09

As Figuras 2, 3 e 4 mostram o comportamento dos valores observados – razão de umidade (RU) em função do tempo – juntamente com os valores preditos pelo modelo de Dois Termos. Essas figuras comparam a influência das espessuras de 8 e 10mm para os três ensaios. Verifica-se nas figuras a boa reprodutibilidade entre os dados experimentais e os preditos pelo modelo, tanto para secagem natural quanto secagem natural com convecção forçada a 2 e 3m/s (secagem híbrida).

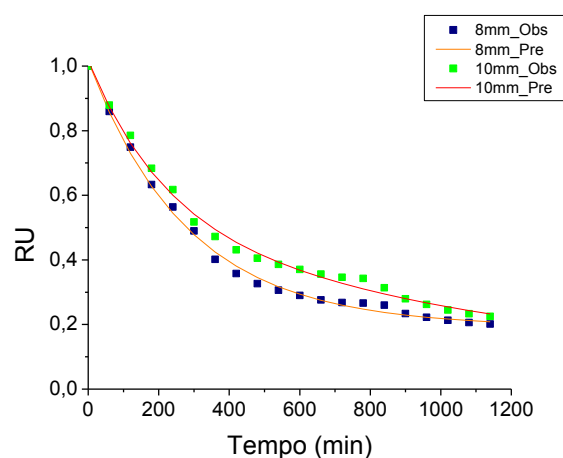


Figura 2 – Valores observados e preditos pelo modelo a dois termos para secagem natural.

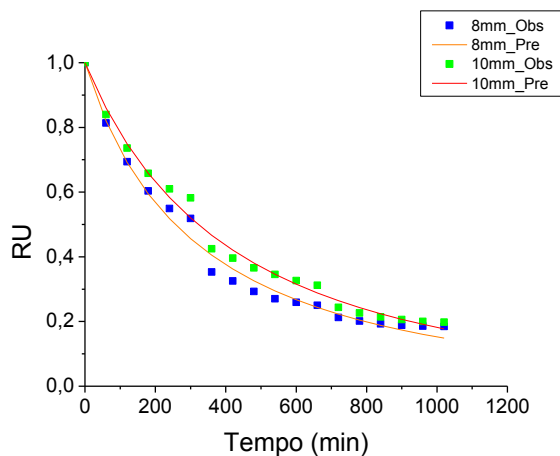


Figura 3 – Valores observados e preditos pelo modelo a dois termos para secagem forçada ($v=2$ m/s).

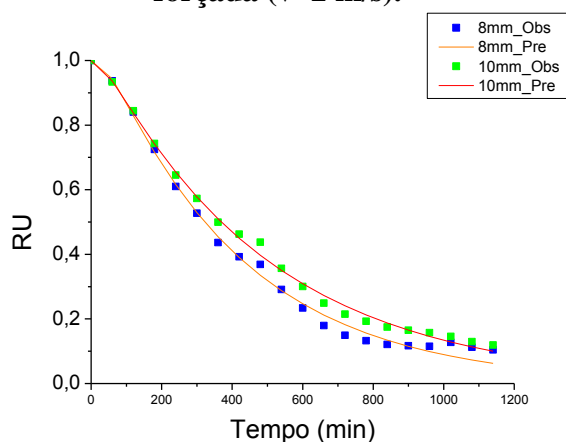


Figura 4 – Valores observados e preditos pelo modelo a dois termos para secagem forçada ($v=3$ m/s).

No entanto, foi observada certa dissiparidade no final de cada dia útil de secagem, evidenciada por uma descontinuidade nos dados. Nesse caso, a RU tende a alcançar um equilíbrio prévio devido à menor incidência de energia atuante no coletor.

Percebe-se que utilizando a convecção natural (Figura 2), a razão de umidade se estabilizou por volta dos 1150 minutos. Já nas secagens com convecção forçada (Figuras 3 e 4) de 2 e 3 m/s houve essa estabilização próximo a 950 minutos. Nota-se que o fluxo de ar é importante para retirar a umidade presente nas amostras, porém a influência da velocidade do mesmo não alterou sensivelmente os resultados com relação ao tempo. Isso também foi verificado por Menezes *et al.* (2010) na secagem do bagaço do maracujá amarelo e Peisino *et al.*, (2005)

na determinação de parâmetros na secagem do capim-limão.

De acordo com Ambrosio *et al.*, (2006) a maioria dos alimentos possuem uma vida de prateleira adequada quando o teor de umidade se encontra inferior a 10% ou 0,33 b.s. Neste trabalho, a umidade final das amostras se estabilizou em valores superiores 10%.

Embora não se tenha alcançado uma condição satisfatória de umidade de equilíbrio final, percebe-se que é pertinente o uso da secagem natural integrada a convecção forçada. Isso garante uma redução significativa, de forma preliminar, à demanda por energia na produção de banana passa. Evidencia-se, porém, a necessidade do uso integrado de técnicas de secagem, ou seja, utiliza-se a secagem por energia solar para uma etapa inicial e na, sequência, o uso da secagem artificial.

A Figura 5 mostra o produto após o fim do processo de secagem. É possível verificar que o produto apresenta boa qualidade quanto à cor (levemente caramelizada) e pouca variação do encolhimento. Qualitativamente, a banana passa apresentou textura semelhante à amostra comercial, além de sabor e aroma característicos.

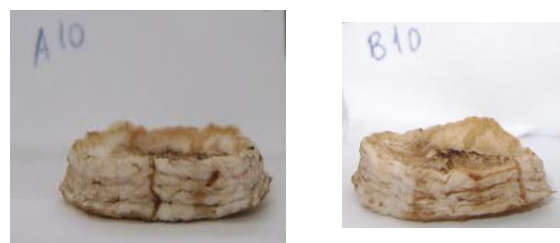


Figura 5 – Cilindros de banana passa secos por convecção natural ($h=10$ mm).

CONCLUSÕES

Observou-se que entre as variáveis de estudo, a temperatura foi a mais influente na cinética de secagem da banana prata, em formato cilíndrico. Apesar de se ter verificado que a velocidade do ar apresentou efeito pouco pronunciado, não convém desprezar o efeito dessa variável.

Outro fato destacado é que as amostras secas, de forma qualitativa, preservaram o aspecto claro (levemente

caramelizado), a textura de banana passa e as suas características organolépticas. Tais características indicam que o secador artesanal é prático, simples e funcional, podendo ser utilizado por pequenos agricultores rurais.

SIMBOLOGIA

RU – Razão de umidade (-)

a, b, c, k, n – Parâmetros de ajuste

t – Tempo [min]

P – Erro médio relativo

SE – Erro médio de estimativa

R² - Coeficiente de determinação

N – Número de observações

Y – Valor observado

Y' – Valor estipulado pelo modelo

\bar{Y} - Média aritmética dos valores observados

GLR – Grau de liberdade do modelo

REFERÊNCIAS

- AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C. (1999) “Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão”. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.3, n.3, p.349-53
- AMBROSIO, C. L. B.; CAMPOS, A. C.; S. and FARO, Z. P. (2006) “Aceitabilidade de flocos desidratados de abóbora”. *Rev. Nutr.*[online], vol.19, n.1, pp. 39-45
- FOUST, A. S., WENZEL, L. A., CLUMP, C. W., MAUS, L., ANDERSEN, L. B. (1980) “Princípios das operações unitárias”, 2ed., John Wiley & Sons Inc., New York, USA
- GEANKOPLIS, C. J. (2003) “Transport Processes and Separation Process Principles”, 1056p., 4 ed., Prentice-Hall
- GOUVEIA, J. P. G.; NASCIMENTO, J.; ALMEIDA, F. A. C.; SILVA, M. M.; FARIAS, E. S.; SILVA, F. L. H. (2004) “Modelos matemáticos para ajuste das isotermas de dessorção da polpa de banana da variedade prata”. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v. 24, n. 3, p. 799-806
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). “Levantamento sistemático da produção agrícola – pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil”. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201110.pdf>. Acesso em: 13 mai. 2014.
- São Paulo ago/2005 181p.
- MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. (1996) “Thin layer drying characteristics of garlic slices”. *Journal of Food Engineering*, v.29, p.75-97
- MENEZES, M. L.; KUNZ, C. C.; PERINE, P.; PEREIRA, N. C.; SANTOS, O. A. A.; BARROS, S. T. D.; BARROS S. T. D. (2010) “Estudo da Secagem Convectiva do Bagaço do Maracujá Amarelo”. In: XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2010, Foz do Iguaçu - PR. *Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química*, v. 1. p. 5479-5488
- MOHAPATRA, D., RAO, P. S. (2005) “A thin layer drying model of parboiled wheat”. *Journal of Food Engineering*, v.66, n.4, p.513-8
- PARK, K. J., ANTONIO, GRAZIELLA C.; OLIVEIRA, R. A.; PAR, K. J. B. (2007) *Conceitos de processo e equipamentos de secagem*, Campinas-SP
- PEISINO, A. L., ALBERTO D. L., BAHIA, G. S. ., MENDES, M. F., CALÇADA, L. A. (2005) “Determinação de Parâmetros na Secagem do *Cymbopogon Citratus* (Capim-Limão): Parte I” *Anais do VI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica*, Campinas-SP, v.1.p.1-8
- PONTES, S. F. O., SANTOS, T.S., BONOMO, R. C. F., PONTES, L. V., FONTAN, R. C. I. (2009) “Determinação das curvas de secagem em camada delgada de pimenta de cheiro (*Capsicum chinense*) a diferentes temperaturas”. *Revista Brasileira de Produtos Agrícolas*, Campina Grande, v.11, n.2, p. 143-148.