

Cinética de secagem de pera Argentina (*Pyrus communis L.*) e pera Willians (*Pyrus communis 'Williams'*)**Drying kinetics of Argentine pear (*Pyrus communis L.*) and Willians pear (*Pyrus communis 'Williams'*)**

DOI:10.34117/bjdv6n7-732

Recebimento dos originais: 20/06/2020

Aceitação para publicação: 27/07/2020

Pâmela Davalos de SouzaUniversidade Federal da Grande Dourados (UFGD)
Faculdade de Engenharia (FAEN), Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil.**Thalita Paula Yock Durante**Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)
Faculdade de Engenharia (FAEN), Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil.**Raquel Manozzo Galante**Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)
Faculdade de Engenharia (FAEN), Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil.**Leandro Osmar Werle**Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)
Faculdade de Engenharia (FAEN), Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil.
e-mail: leandrowerle@gmail.com**RESUMO**

A pera é muito apreciada por suas propriedades nutritivas e pelo delicado sabor, sendo uma fruta de baixo valor calórico. A escolha do tipo de secagem a ser utilizada depende de fatores que englobam desde as características do material a ser desidratado até as propriedades do ar de secagem. O presente trabalho teve como objetivo principal determinar as curvas de secagem da pera (*Pyrus spp*) do gênero Argentina e Willians através do uso de um secador de bandejas em uma temperatura de 60°C com velocidade do ar aproximada de 2m/s. Foi possível caracterizar a secagem pelo mecanismo de difusão e determinar o coeficiente difusivo de transferência de massa das amostras de Pera Argentina e Pera Willians, sendo o valor de constante de secagem igual a $-0,0155 \text{ min}^{-1}$ para a amostra de Pera Argentina e de $-0,0164 \text{ min}^{-1}$ para a amostra de Pera Willians. Os valores de difusividade efetiva são $0,0003926 \text{ cm}^2/\text{min}$ para a amostra de Pera Argentina e $0,000415 \text{ cm}^2/\text{min}$ para a amostra de Pera Willians.

Palavras-chave: pera; secagem; coeficiente difusivo.**ABSTRACT**

The pear is very appreciated for its nourishing properties and delicate flavor, being a fruit of low caloric value. The choice of type of drying to be used depends on factors that range from the characteristics of the material to be dehydrated to the properties of the drying air. The present work had as main objective to determine the drying curves of the pear (*Pyrus spp*) of the genus Argentina and Willians through the use of a tray dryer at a temperature of 60 ° C with an air speed of approximately 2m / s. It was possible to characterize the drying by the diffusion mechanism and

determine the diffusive mass transfer coefficient of the Pera Argentina and Pera Willians samples, with the drying constant value being -0.0155 min^{-1} for the Pera Argentina and -0.0164 min^{-1} for the Pera Willians sample. The effective diffusivity values are $0.0003926 \text{ cm}^2 / \text{min}$ for the Pera Argentina sample and $0.000415 \text{ cm}^2 / \text{min}$ for the Pera Willians sample.

Keywords: pear; drying; diffusive coefficient.

1 INTRODUÇÃO

As frutas são uma fonte complementar muito importante na dieta dos seres humanos. A pera (*Pyrus communis*), fruto da pereira, é uma das frutas mais consumidas no mundo. A pera é produzida por vários países ao redor do mundo como China, Itália, Estados Unidos, Espanha, Argentina e Brasil (Lin & Harnly, 2008).

Para Brod (2003) a pera é o fruto da pereira, árvore originária da Europa e da Ásia, que se propaga por enxertia e é cultivada em milhares de variedades, a maioria descendente da espécie *Pyrus communis*. Como outras espécies da família das rosáceas, entre elas a maçã, o pêsego e a ameixa, a pera depende de bastante frio no inverno para produzir a contento. No Brasil o cultivo da pera é feito com sucesso na região Sul e, em escala modesta, em áreas acima de 600 m de altitude no Espírito Santo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. A chamada Pera-d'água destaca-se entre as variedades que se aclimatam bem às serras do Sudeste.

A pera é uma fruta muito consumida ao natural, mas usada também na culinária e em doces em calda e outros, tais como néctar, suco, sorvete e iogurte. No mercado brasileiro, predominam as variedades Williams e Rocha, esta importada de Portugal. Outras também são importadas, o que dá o fornecimento da fruta durante o ano todo, embora sempre conservada a frio, o que pode levar a perdas quando colocada a venda sem refrigeração, sendo comum o escurecimento interno, que inviabiliza ou prejudica seu consumo. A pera nacional é comercializada de janeiro a abril, e a importada durante todo o ano, mas com maior oferta entre fevereiro e setembro.

Segundo Hauagge (2007) a pera é muito apreciada por suas propriedades nutritivas e pelo delicado sabor, sendo uma fruta ideal para dietas, pois possui baixo valor calórico. E contém quantidades razoáveis de vitaminas B1, B2 e Niacina, todas do Complexo B, que regulam o sistema nervoso e o aparelho digestivo, fortificando o músculo cardíaco. Elas são essenciais ao crescimento e evitam a queda dos cabelos e problemas de pele. Contendo ainda vitaminas A e C, a pera é uma das frutas mais ricas em sais minerais incluindo Sódio, Potássio, Cálcio, Fósforo, Enxofre, Magnésio, Silício e Ferro. Eles contribuem na formação dos ossos, dentes e sangue, mantêm o equilíbrio interno e o vigor do sistema nervoso.

Sabe-se que as frutas sofrem um processo de deterioração devido ao alto conteúdo de umidade, cerca de 90%, e a secagem é ainda hoje um processo muito empregado para a preservação desses alimentos (Ferreira *et al*, 2002).

A secagem é uma operação unitária tradicionalmente conhecida em que o conteúdo de umidade do material é reduzido por meio do contato íntimo com ar aquecido. Com a redução do excesso de umidade aumenta-se a vida útil do produto, reduz-se o volume e, conseqüentemente, facilita-se o manuseio e transporte. Além de promover estabilidade dos componentes químicos e proteger o produto contra a degradação enzimática oxidativa (Park *et al.*, 2001).

A escolha do tipo de secagem a ser utilizado depende de fatores que englobam desde as características do material a ser desidratado até as propriedades do ar de secagem, com limites de temperatura adequados, de modo a evitar a degradação ou perda de compostos (Park *et al.*, 2002). Caso contrário, o processo poderá reduzir a qualidade do composto ou até mesmo inviabilizar seu uso.

Diversas pesquisas na área de secagem de alimentos, focadas na modelagem matemática do processo, os quais favorecem o estabelecimento de condições ótimas de operação, portanto uma análise mais crítica e eficiente da operação, através da análise do tempo de secagem, é possível obter a velocidade da troca de calor entre produto e o ar, por meio da difusividade efetiva em distintas condições do processo. A secagem também favorece o transporte, armazenamento e manipulação de variados produtos, os quais são essenciais em várias áreas da indústria (Villa Vélez, 2011).

A difusividade efetiva de umidade é uma importante propriedade de transporte, sendo útil na análise das operações de processamento de produtos alimentícios. Porém, devido à complexa composição e a estrutura física dos alimentos, não são conseguidas estimativas precisas desta propriedade, sendo assim necessárias medidas experimentais (Saravacos & Rouzeous, 1984). Pode-se entender a difusividade como a facilidade com que a água é removida do material.

O presente trabalho teve como objetivo, a secagem de fatias de duas variedades de pera utilizando um secador de bandejas, e com isso, caracterizar a secagem pelo mecanismo de difusão e determinar o coeficiente difusivo de transferência de massa para as duas variedades de peras, pertencendo ao gênero Argentina (*Pyrus communis l.*) e Willians (*Pyrus communis 'williams'*).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório Latec, localizado na Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS. As frutas utilizadas no experimento foram adquiridas no comércio local.

Para conduzir o experimento, foram utilizados amostras de peras Willians e Argentina, fatiadas com 2,5 mm de espessura. As amostras foram submetidas ao processo de secagem em secador convectivo de bandejas com fluxo de ar vertical e entrada superior, sendo a temperatura do ar a 60 ± 2 °C. A secagem ocorreu com fluxo de ar paralelamente a superfície das fatias das duas variedades de pera analisadas,

sendo a velocidade do ar de secagem de 2 m/s.

2.2. DETERMINAÇÃO DAS CURVAS DE CINÉTICAS DE SECAGEM

Durante o processo de secagem as massas das amostras foram medidas em balança analítica com intervalos de 15 minutos, nas duas primeiras horas e a cada 30 minutos nas duas horas subsequentes, após a quarta hora de secagem foi efetuada a pesagem a cada hora até atingirem massa constante, denominado então umidade de equilíbrio (X_e). As amostras permaneceram no secador até completar 24 horas, realizando-se, então, o último registro de massa de sólido seco (W_{ss}). Desta forma, determinou-se a umidade inicial e a umidade ao longo do tempo (X_t) pela Equação 1.

$$X_t = \frac{W_{úmida} - W_{ss}}{W_{ss}} \quad (1)$$

Com os dados obtidos foram construídas as curvas típicas de secagem e a taxa de secagem (R_a), sendo a curva de secagem obtida plotando-se a umidade em função do tempo, durante o período de secagem.

As curvas da taxa de secagem (R_a , expressas em $g_{H_2O}/min.cm^2$) foram obtidas a partir do método numérico com a derivação dos dados de umidade em relação ao tempo, além do peso final da amostra seca e da área superficial (A) das amostras, expostas ao ar de secagem, com emprego da Equação 2.

$$R_a = \frac{W_{ss} \cdot \Delta X}{A \cdot \Delta t} \quad (2)$$

O adimensional de umidade livre (Y) foi obtido através da Equação 3.

$$Y = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e} \quad (3)$$

2.3 DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE DIFUSIVIDADE EFETIVO

A difusividade efetiva da água no interior do produto foi determinada a partir da Segunda Lei de Fick (Equação 4) e a solução analítica de Crank (1975) para placa plana, sendo a equação truncada no 1º termo a partir de um valor constante para espessura, temperatura e umidade inicial ou de equilíbrio, desconsiderando-se a concentração da amostra. As Equações 4 a 6 descrevem a modelagem utilizada para obtenção da difusividade efetiva empregando método gráfico com ajuste exponencial. A Equação 4 descreve o modelo empregado a partir da Segunda Lei de Fick.

$$\frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} e^{-Def \left(\frac{\pi}{2L}\right)^2 \cdot t} \quad (4)$$

A Equação 4, pode ser reescrita, obtendo-se a Equação 5.

$$\frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = a e^{kt} \quad (5)$$

Onde a e K são parâmetros do modelo, os quais representam a constante do modelo (adimensional) e o coeficiente de secagem, respectivamente. Isolando-se a constante de secagem (k) a partir da equação anterior, obtém-se a Equação 6, e partir dela é possível determinar o coeficiente de difusão efetivo do produto (D_{ef}).

$$k = -Def \left(\frac{\pi}{2L}\right)^2 \quad (6)$$

Onde:

t - tempo de secagem, min;

k - coeficientes de secagem, min^{-1} ;

a - constante do modelo, adimensional;

L - espessura, cm;

D_{ef} - coeficiente de difusão efetivo, $\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$;

X_t - teor de umidade do produto em um tempo t, $\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}$ sólido seco;

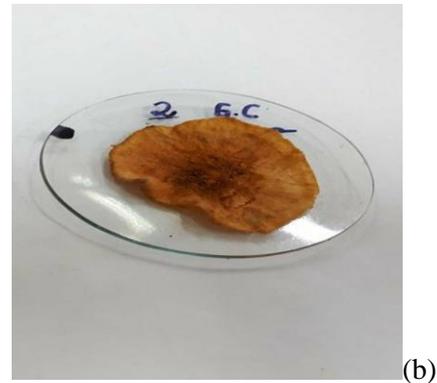
X_0 - teor de umidade inicial do produto, $\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}$ sólido seco;

X_e - teor de umidade de equilíbrio do produto, $\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}$ sólido seco.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

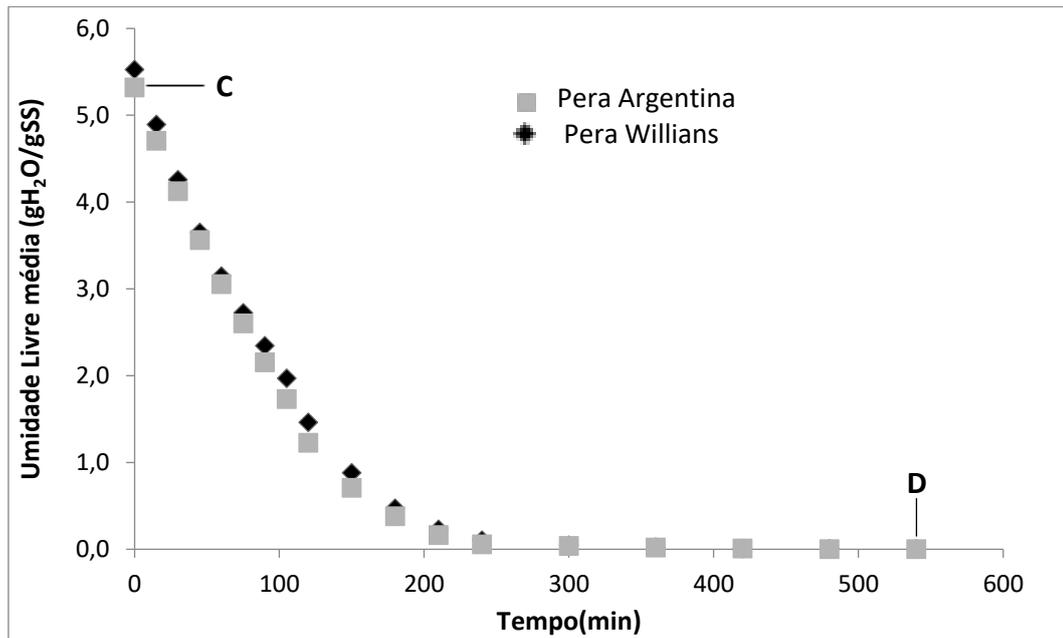
Na Figura 1 estão apresentadas as amostras de pera Argentina e pera Willians antes e depois da secagem, onde pode-se observar mudanças nas características físicas, como o tamanho e a cor das amostras após serem submetidas à secagem de 60°C, resultando em redução de umidade.

Figura 1 – Amostra de Pera Argentina e Pera Willians antes e após a secagem a 60°C. (a) Amostra de Pera Argentina antes da secagem. (b) Amostra de Pera Argentina após a secagem. (c) Amostra de Pera Willians antes da secagem. (d) Amostra de Pera Willians após a secagem.



As curvas de secagem permitem prever o momento do processo em que se atinge o teor de umidade desejado e, desta forma, obter um produto de boa qualidade. A Figura 2 mostra a variação no teor de umidade livre média da Pera Argentina e Pera Willians em função do tempo de secagem para a temperatura de ar de 60°C.

Figura 2 – Curvas de secagem para fatias de Pera Argentina e Pera Willians em condições constantes para temperatura de 60°C.



Pode-se observar na Figura 2, que a amostra de Pera Argentina levou aproximadamente 265 minutos para atingir a umidade de equilíbrio, enquanto que a amostra de Pera Willians levou aproximadamente 310 minutos, esta diferença de tempo ocorreu devido ao gênero Williams ter uma umidade maior do que o gênero Argentina.

Como a umidade superficial das amostras de pera é baixa, quase nula, nota-se então um período decrescente na velocidade de secagem.

A umidade inicial é definida pelo ponto C, sendo de aproximadamente 5,320 gH₂O/gSS para Pera Argentina e de 5,527 gH₂O/gSS para Pera Willians e a umidade de equilíbrio pelo ponto D, sendo de 0,0008 gH₂O/gSS. Em média foram necessárias 9 horas para que as amostras secassem até massa constante.

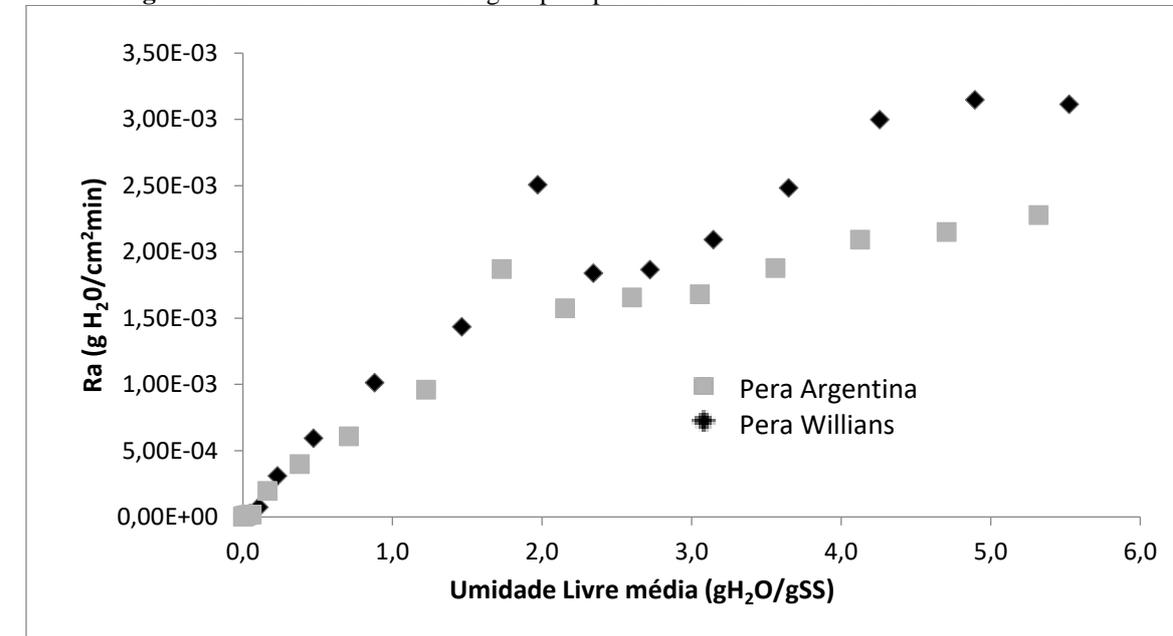
Na Figura 3 são apresentadas as curvas de taxa de secagem (Ra) obtidas a partir da derivação dos dados de umidade livre média em relação ao tempo.

A diferença no teor de umidade no início do processo não é muito elevada, porém aumenta conforme o tempo de secagem. Inicialmente as diferenças são menores, pois as amostras de Pera Argentina e Pera Willians não contém a fase constante de secagem, com isso não há umidade livre na superfície, sendo assim sugere um processo de difusão de umidade do interior da amostra para a superfície, como é possível verificar na Figura 3 e também observado por Silvia *et al.* (2009).

A difusividade do sólido é o principal parâmetro de análise de transferência de massa, sendo a determinação desta variável necessária para que durante o processo de operação unitária as características

físicas, químicas e microbiológicas do alimento sejam mantidas nos padrões de produção, para garantir a qualidade requerida do produto final.

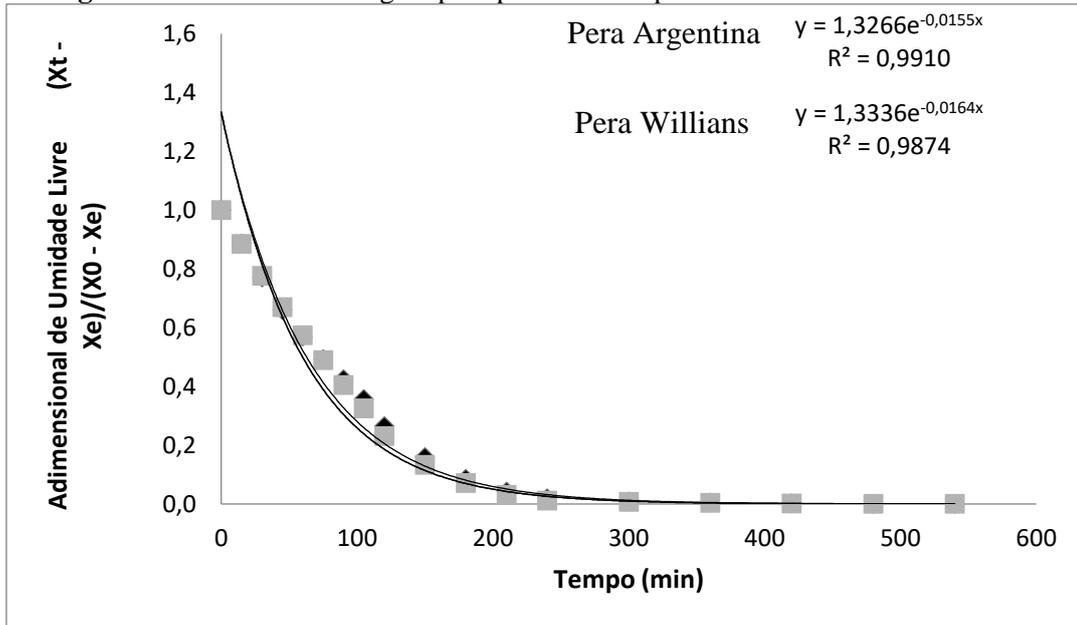
Figura 3 – Curvas de taxa de secagem para pera com a velocidade do fluxo de ar de 2m/s.



O ajuste da curva, Figura 4, fornece uma equação exponencial, que se correlaciona a lei de Fick, onde, através da equação, obtém a constante de secagem (K) igual a $-0,0155 \text{ min}^{-1}$ para a amostra de Pera Argentina e de $-0,0164 \text{ min}^{-1}$ para a amostra de Pera Willians. E através da aplicação destes dois valores na Equação 6, encontra-se que a difusividade efetiva do sólido é $0,0003926 \text{ cm}^2/\text{min}$ para a amostra de Pera Argentina e $0,000415 \text{ cm}^2/\text{min}$ para a amostra de Pera Willians.

Observa-se por meio da Figura 4 que o modelo de Fick para a Pera Argentina conseguiu um melhor ajuste aos dados experimentais, uma vez que, apresentou um maior valor de R^2 .

Figura 4 – Cinética de secagem para pera descrita pelo modelo de difusão de Fick a 60°C.



4 CONCLUSÕES

O processo de secagem das peras Argentina e Willians foram eficientes, pois se obteve uma umidade de equilíbrio próximo de zero. O comportamento das curvas do adimensional de umidade e da taxa de secagem obtidos no presente estudo foram compatíveis com a maior parte das matérias-primas vegetais e alimentícias. Destaca-se que a taxa de secagem, umidade livre e o coeficiente difusivo da pera Willians é superior ao da pera Argentina.

REFERÊNCIAS

- Brod, F. P. R. (2003). *Avaliação de um secador vibro-fluidizado*. (Tese de doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP.
- Crank, J. *Mathematics of diffusion*. 2ed. Oxford:Clarendon Press, 1975. 414p.
- Duarte,A.R. (2012). *Varabilidade química de óleos essenciais e do teor de fenóis em folhas e frutos de jaboticabeira (Myrciaria cauliflora)*. (Tese Doutorado em Química) Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO.
- Fioravango, J. C. (2007) The Pear Trees Plantation in Brazil: Economic Situation and Barriers to Their Growth. *Economic Information*, v.37, 52-60.
- Ferreira, D.; Guyot, S.; Marnet, N.Delgadillo, I.; Renard, C. M. G. C.; & Coimbra, M. A. (2002) Composition of Phenolic Compounds in a Portuguese Pear (*Pyrus communis* L. Var. S. Bartolomeu) and Changes after Sun Drying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.50, 4537-4544.
- Hauage, R. (2007) Potencialidade para a pomicultura no Estado do Paraná. *In: I Encontro Paranaense de Fruticultura*. Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava.
- Lin, L.-Z, & Harnly, J. M. (2008). LC–MS profiling and quantification of food phenolic components using a standard analytical approach for all plants. In L. V. Greco (Eds.), *Food Science and Technology: New Research* (pp. 1–103). Bruno, New York: M.N. Nova Publishers
- Park,K.J.,Vohnikova, Z., & Pedreirois8brod, F. (2002), "Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa* L.)", *Journal of Food Engineering*. vol. 51, 193–199.
- Park,K.J.,Yado,M.K.M., & Brod,F.P.R., (2001) Estudo de secagem de pêra bartlett (*pyrus* sp.) em fatias. *Ciência e Tecnol.Aliment*. vol.21, 288–292.
- Saravacos, G.; & Rouzeous, G.S. (1984) Diffusivity of moisture in air-drying of starch gels. *Engineering and Food*, London and New York: Brian M. Mckenna, Elsevier Applied Science Publishes, v.1, 493-507.
- Silvia, A.S.; Melo, K.S.; & Alves, N.M.C.; Fernandes, T.K.S.T.; Farias, P.A.F. (2009) Cinética de secagem em camada fina da banana maçã em secador de leito fixo. *Rev. Bra. De Prod. Agro. Campina Grande*, v.11, n.2, p.129-136.
- Villa Vélez, A. H. (2011) *Aplicações de secagem para o aproveitamento de resíduos da banana, visando sua aplicação na indústria*. (Dissertação de Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos). Universidade Estadual Paulista.