

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

CINÉTICA DE SECAGEM DAS FOLHAS DE AMORA PRETA
(Morus nigra L.)

ALEXANDRE ALVES GONÇALVES

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2017

CINÉTICA DE SECAGEM DAS FOLHAS DE AMORA PRETA
(*Morus nigra* L.)

ALEXANDRE ALVES GONÇALVES
Graduando em Engenharia Agrícola

Orientador: PROF. Dr. ANDRÉ LUÍS DUARTE GONELI

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal da Grande Dourados, como
parte das exigências para conclusão do curso de
Engenharia Agrícola.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

G635c Gonçalves, Alexandre Alves
CINÉTICA DE SECAGEM DAS FOLHAS DE AMORA PRETA (*Morus nigra* L.) / Alexandre Alves Gonçalves -- Dourados: UFGD, 2017.
25f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: ANDRÉ LUÍS DUARTE GONELI

TCC (Graduação em Engenharia Agrícola) -Faculdade de Ciências Agrárias,
Universidade Federal da Grande Dourados.

Inclui bibliografia

1. Plantas medicinais. 2. Modelo de Midilli. 3. Coeficiente de difusividade.
I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

CINÉTICA DE SECAGEM DAS FOLHAS DE AMORA PRETA
(*Morus nigra* L.)

Por

Alexandre Alves Gonçalves

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para
obtenção do título de ENGENHEIRO AGRÍCOLA

Aprovado em: 24 de março de 2017.



Prof. Dr. André Luís Duarte Goneli
Orientador – UFGD/FCA



Prof. Dr. Valdiney Cambuy Siqueira
Membro da Banca – UFGD/FCA



Prof. Me. Elton Aparecido Siqueira Martins
Membro da Banca – UFGD/FCA

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a “JESUS CRISTO, por que não ao pai se não antes ao filho”, por me guiar nesse caminho mostrando que as dificuldades são intrínsecas da vida de cada indivíduo, na qual o mesmo decide o que fazer com elas, por que sempre é possível superá-las se tivermos fé e lutarmos por aquilo em que acreditamos.

A Universidade por toda a infraestrutura necessária para a capacitação dos futuros profissionais e desenvolvimento do curso de Engenharia Agrícola.

Ao orientador Prof. Dr. André Luís Duarte Goneli, buscando sempre extrair o melhor através de seus conhecimentos durante todo período de graduação até o presente momento, pela sua confiança e amizade adquirida.

Ao Prof. Ms. Elton Aparecido Siqueira Martins, pela dedicação em ajudar e transmitir seus conhecimentos, estando sempre à prontidão como professor e amigo.

Ao Prof. Dr. Valdiney Cambuy Siqueira, por sua dedicação em formar excelentes profissionais, sendo um ótimo professor em sala de aula e um bom amigo fora dela.

A todos os competentes professores e técnicos que dispõem da melhor qualidade de ensino e apoio necessário para transformarem seus alunos em excelentes profissionais.

A Pró-Reitoria de Assuntos Comunitários e Estudantis (PROAE), pelo apoio concedido para que tornasse menos árduo esse caminho da diplomação.

Ao CNPq pelo benefício e oportunidade de ampliar meus conhecimentos por meio das pesquisas experimentais.

Aos amigos que fizeram parte dessa trajetória: Cesar Pedro Hartmann Filho, Everton Torezan, Fernando Bolchi, Guilherme Cardoso Oba, Henrique Vilhasanti, Jean Carlos do Carmo Gauer, Leonardo dos Santos, Luiz Felipe de Andrade, Mauro Sergio Rocha, Rafael Bigaton e Ruth Jardim Rocha, Wellington Rodrigues da Silva, dentre outros nomes não citados.

A todos os amigos e pessoas especiais que fizeram parte dessa conquista.

Obrigado!!!

DEDICATÓRIA

Ao longo da minha jornada acadêmica duas palavras podem representar o resultado hoje alcançado “Fé e Família” minha fonte de força e superação. Dessa forma dedico a quem fez do meu sonho, seu sonho também:

Aos meus pais guerreiros e anjos da guarda, Ezequiel Aparecido dos Santos Gonçalves e Maria Luzia Alves Gonçalves, por estarem sempre comigo me apoiando, confiando e amparando em todos os momentos, seja acordando comigo durante as madrugadas para estudar ou em palavras a me motivar;

Ao meu irmão Eduardo Alves Gonçalves por jamais me deixar desanimar com sua parceria e disposição em estar sempre pronto para ajudar;

A minha namorada Luana Solei Flores, em estar sempre ao meu lado me mantendo com foco, proporcionando momentos de carinho, amor, felicidade e companheirismo;

Aos meus avós José Aparecido Gonçalves e Elza Pereira dos Santos Gonçalves, pelo incentivo, carinho e por acreditar nessa tão esperada conquista.

Toda minha gratidão!!!

SUMÁRIO

| | Página |
|---|--------|
| LISTA DE FIGURAS | vi |
| LISTA DE TABELAS | viii |
| RESUMO..... | viii |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 3 |
| 2.1. A cultura da amora | 3 |
| 2.2. Secagem..... | 4 |
| 2.3. Modelagem matemática..... | 5 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS..... | 7 |
| 3.1. Cinética de secagem em camada delgada das folhas de amora preta..... | 8 |
| 3.2. Análise estatística | 11 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 12 |
| 5. CONCLUSÃO..... | 21 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 22 |

LISTA DE FIGURAS

| | Página |
|--|--------|
| FIGURA 1. Secador experimental utilizado para cinética de secagem das folhas de amora preta em camada delgada | 8 |
| FIGURA 2. Distribuição dos resíduos obtidos para os modelos de Midilli e Newton | 14 |
| FIGURA 3. Valores de razão de umidade observados e estimados pelo modelo de Midilli ... | 15 |
| FIGURA 4. Curva da cinética de secagem das folhas de amora para as diferentes temperaturas e velocidade do ar de secagem de $0,4 \text{ m s}^{-1}$ | 15 |
| FIGURA 5. Curva da cinética de secagem das folhas de amora para as diferentes temperaturas e velocidade do ar de secagem de $0,8 \text{ m s}^{-1}$ | 16 |
| FIGURA 6. Representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo em função das diferentes temperaturas e velocidades do ar durante a secagem das folhas de amora | 19 |

LISTA DE TABELAS

| | Página |
|---|--------|
| TABELA 1. Modelos matemáticos ajustados às curvas de secagem das folhas de amora | 9 |
| TABELA 2. Parâmetros estatísticos obtidos na secagem das folhas de amora..... | 12 |
| TABELA 3. Parâmetros do modelo de Page para as diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem das folhas de amora | 17 |
| TABELA 4. Coeficiente de difusão efetivo (D_i) ajustado as diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem em camada delgada das folhas de amora | 18 |

GOÇALVES, Alexandre Alves. **Cinética de secagem das folhas de amora preta** (*Morus nigra* L., *Moraceae*). 2016. 25p. Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

RESUMO

As folhas de amora são muito utilizadas na medicina popular, e nos últimos anos há muitas pesquisas sobre os compostos das folhas de amora e seus benefícios como planta medicinal para a saúde humana, porém não há estudos sobre o processo de secagem deste produto, sendo esta etapa fundamental de fundamental importância. Assim, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o comportamento da cinética de secagem das folhas de amora-preta (*Morus nigra* L.), sob diferentes temperaturas e velocidade do ar de secagem, bem como determinar o coeficiente de difusão efetivo e a energia de ativação. As folhas de amora foram colhidas com teor de água inicial de 67 ± 2 % (b.u.), sendo submetidas à secagem em diferentes condições controladas de temperaturas (40, 50, 60 e 70 °C) e velocidades do ar de secagem (0,4 e 0,8 m s⁻¹), em um secador experimental de leito fixo, até atingirem teor de água de equilíbrio. Para fins de modelagem matemática considerou-se a secagem até o teor de água de 10 ± 1 %. Aos dados observados de razão de umidade foram ajustados 8 diferentes modelos matemáticos tradicionalmente utilizados para representar o processo de secagem de produtos agrícolas em camada delgada. Com base nos resultados obtidos, foi selecionado o modelo de Midilli para representar o processo de secagem das folhas de amora em camada delgada. A redução do tempo de secagem devido a elevação da velocidade do ar de secagem é mais pronunciada para as menores temperaturas. Valores do coeficiente de difusão efetivo aumentam com a elevação da temperatura e da velocidade do ar de secagem. Os valores da energia de ativação para a difusão líquida foram de 65,9418 kJ mol⁻¹ e 66,0839 kJ mol⁻¹ para a velocidade de 0,4 e 0,8 m s⁻¹, respectivamente para a faixa de temperatura estudada (40 a 70 °C).

Palavras-chave: Plantas medicinais; Modelo de Midilli; Coeficiente de difusividade.

1. INTRODUÇÃO

A amora-preta (*Morus nigra* L.) tem origem asiática, podendo atingir de 4 a 12 m de altura. Seu cultivo teve início no Brasil em meados da década de 1970 na cidade de Pelotas no Estado do Rio Grande do Sul (RASEIRA, 2004) e vem crescendo em diversos estados brasileiros, estimando-se que a área cultivada seja de aproximadamente 300 hectares, com produção de 780 ton ano⁻¹, sendo a cidade de Vacaria-RS o maior produtor brasileiro da fruta (ANTUNES, 2006; STRIK et al., 2007; TULLIO et al., 2013). Seus frutos são comestíveis de sabor agridoce, muito sumosa e todas as partes desta planta são empregadas na medicina popular, com base no conhecimento popular (CRUZ, 1979; MORGAN, 1982; AGAREZ et al., 1994; SINGAB et al., 2005; LORENZI et al., 2006; LORENZI & MATOS, 2008; PAWLOWSKA et al., 2008).

O chá das folhas de amora é utilizado para aliviar sintomas do climatério, sintomas de cefaleia e irritação que ocorrem no período pré-menstrual, pela presença de flavonoides, especialmente as isoflavonas (LORENZI & MATOS, 2008).

A organização mundial de saúde (OMS) vem estimulando o uso da medicina tradicional /complementar/ alternativa nos sistemas de saúde de forma integrada às técnicas modernas da medicina ocidental, preconizando o desenvolvimento de políticas, observando os requisitos de segurança, eficácia, qualidade, uso racional e acesso a este tipo de medicamento (MICHILES, 2004). A utilização de plantas com fins medicinais, para tratamento, cura e prevenção de doenças, é uma das mais antigas formas de prática medicinal da humanidade. No início da década de 90, segundo a OMS, 65-80% da população dos países em desenvolvimento dependiam das plantas medicinais como única forma de acesso aos cuidados básicos de saúde (VEIGA JUNIOR et al., 2005).

O Brasil, através da Portaria n.º. 971, publicada em 3 de maio de 2006, após várias reivindicações de pesquisadores da área de plantas medicinais e fitoterapia, instituiu a Política Nacional de Práticas Integrativas e Complementares (PNPIC) no Sistema Único de Saúde e, por meio do Decreto Federal n.º. 5813 de 22 de junho de 2006, a Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos (BRASIL, 2006).

Ao longo dos últimos anos, as pesquisas sobre os compostos de plantas medicinais vem ganhando destaque devido à procura por novas fontes de medicamentos e tratamentos alternativos, os quais não utilizam de formulações químicas, ou seja, produtos naturais. A prática da fitoterapia é bem aceita e acessível a todos os povos do mundo e, em especial no

Brasil onde esse recurso é adequado às necessidades da atenção primária a saúde (ELDIN e DUNFORD, 2001).

A secagem de plantas medicinais é uma operação que tem a finalidade de preparar as plantas para um armazenamento seguro, garantindo-lhe a permanência de suas propriedades medicinais, visando atender as necessidades das indústrias farmacêuticas de fitoterápicos, as quais não têm meios de utilizar plantas frescas na quantidade exigida para a produção industrial (LORENZI & MATOS, 2008). Para atender essa demanda faz-se necessário a secagem da matéria prima e o seu posterior armazenamento para que seja possível ter material disponível para ser processado por um determinado período. Na literatura atual não há informações a respeito da cinética de secagem das folhas de amora. Pode-se notar o crescente acervo literário no que se trata de pesquisa sobre quantidade e qualidade dos compostos de plantas medicinais sem considerar o processo de secagem, uma vez que essas propriedades podem ser afetadas por meio da temperatura e velocidade do ar de secagem.

Diante do exposto, objetivou com o presente trabalho ajustar e modelar, estatisticamente, modelos matemáticos para representar a cinética de secagem de folhas de amora (*Morus nigra* L.), para diferentes condições de temperatura (40, 50, 60 e 70 °C) e velocidades (0,4 e 0,8 m s⁻¹) do ar de secagem, bem como determinar o coeficiente de difusão efetivo durante o processo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura da amora

As plantas de amora pertencem ao Género *Rubus* da família das Rosáceas e são nativas em grande parte da Europa Ásia e da América do Norte. Está presente em diversos países do mundo, combinada com a sua aptidão de colonização em áreas de solos mais pobres em nutrientes, fez da amora um fruto silvestre muito apreciado e uma fonte de alimento há milhares de anos, que vem sendo colhido da natureza desde então, tanto para consumo doméstico como comercial (FINN et al., 2011; STRIK et al., 2007). É uma planta temporária, de crescimento rápido que se desenvolve sob diferentes condições climáticas (SRIVASTAVA et al., 2003).

À nível comercial, podemos dividir as amoras em três tipos principais: as prostradas, as eretas e as semieretas. Vários híbridos entre a amora e a framboesa também se desenvolveram, mas devido possuírem um hábito de crescimento prostrado, encontram-se geralmente incluídos no grupo das amoras prostradas (FINN, 2008).

As características das plantas são folhas bastante grossas, simples e alternas, cordiformes, simétricas na base, de cor verde escura, pecíolos curtos, ásperas, com dentes largos e regulares, estípulas longas, membranosas e felpudas (MORGAN, 1982). As gemas são protegidas por estípulas caducas, inflorescência na forma de espiga ou sicônio. As flores são unissexuais; as masculinas monoclamídeas, isostêmones e as femininas aclamídeas, ovário súpero, bi ou unicarpelar, unilocular, uniovulado, com estigmas bífidios (AGAREZ et al., 1994).

As infrutescências são grandes, ovaladas, negras ou vermelhas brilhantes, quase sésseis. Seus frutos são comestíveis de sabor agridoces, muito sumosas e refrescantes (MORGAN, 1982). Segundo Okamoto et al. (2103), as espécies cultivadas ou em estado selvagem são provenientes de 3 grupos, *Morus alba* (amoreira branca), *Morus nigra* (amoreira preta), e *Morus rubra* (amoreira rubra ou vermelha). O recente interesse pelo consumo da amora preta, associado à adaptação da cultura a algumas regiões do país, tem proporcionado a ampliação da área de produção, principalmente no Estado do Rio Grande do Sul (SCHAKER et al. 2009). Na medicina popular a mais difundida é a amora preta (SANTOS et al.; 2007).

Barbosa & Silva (2009) destacam o efeito do melaço das folhas da amoreira no tratamento de bronquite asmática, verificando efeito positivo na diminuição das tosses

noturnas e na excreção de catarros. Vale ressaltar que os efeitos positivos das folhas não estão intimamente associadas apenas às bronquites e pneumonias infecciosas, mas também no tratamento de infecções do sistema digestivo, como cólicas intestinais, espasmos intestinais, diarreias e dores abdominais MALAQUIAS & COSTA (2006).

Atualmente encontra-se disponível em farmácias de manipulações, a tintura de amora na fração de 60 mL, extraída da amora preta (*Morus Nigra* L.), a qual auxilia no alívio dos sintomas desagradáveis típicos da fase da menopausa além de muitos outros benefícios. Possui ainda em sua composição, alto teor de potássio e é rica em antioxidantes, como vitaminas C e E, e tem entre suas funções, ação anticancerígena (ação do ácido elágico), antisséptica, digestiva, calmante e ainda é coadjuvante no tratamento da infecção urinária (BARNABÉ, 2017). Ainda podemos verificar a existência da amora em cápsulas 300 mg, considerada um suplemento natural com baixa toxicidade, proporciona equilíbrio no sistema endócrino, sendo recomendado para mulheres na menopausa, amenizando os sintomas do climatério e restabelecendo a libido (BARBOSA 2017).

2.2. Secagem

As condições de secagem e armazenamento são muito importantes para manter a qualidade destes produtos, sendo que as plantas medicinais e aromáticas devem ser submetidas imediatamente à secagem, após a colheita (SOYSAL & ÖZTEKIN 1999).

Para que haja atividades de microrganismos, enzimas, e mecanismos metabólicos é necessário que o produto esteja com uma determinada quantidade de água disponível, com isso a secagem é um processo indispensável, reduzindo a velocidade das reações químicas e o desenvolvimento de microrganismos e beneficiando a sua conservação (CHRISTENSEN & KAUFMANN, 1974).

No terceiro período, a taxa de secagem é decrescente. A temperatura do produto atinge valores superiores à temperatura de bulbo úmido. A quantidade de água presente na superfície do produto é menor, reduzindo-se, portanto, a transferência de massa (BROD et al. 2002 citado por MARTINAZZO 2006).

De acordo com Hertwig (1986), a secagem de plantas medicinais e aromáticas tem por objetivo retirar um percentual elevado de água livre das células e dos tecidos, impedindo os processos de degradação enzimática e proporcionando a sua conservação, com manutenção da qualidade em composição química, pelo período de tempo necessário para que se obtenha nova safra. A questão da alta sensibilidade do princípio biologicamente ativo e sua

preservação no produto final é, sem dúvida, o maior problema na secagem e no armazenamento de plantas medicinais e aromáticas. Desta forma, o estudo da secagem de plantas medicinais tem sido objetivos de vários pesquisadores (MARTINS et al. 2015; GONELI et al., 2014a; PRATES et al., 2012; MARTINAZZO et al., 2010).

2.3. Modelagem matemática

No desenvolvimento e no aperfeiçoamento de equipamentos utilizados para a secagem são de fundamental importância a simulação e a obtenção de informações teóricas a respeito do comportamento de cada produto durante a remoção de água (BERBERT et al., 1995). A modelagem matemática do sistema de secagem de plantas medicinais e aromáticas possibilita analisar o comportamento da temperatura de secagem, procurando preservar as características das plantas e buscar uma alta eficiência durante a secagem (PRATES et al., 2007).

De acordo com Resende et al. (2008), as curvas de secagem em camada delgada variam com a espécie, variedade, condições ambientais, métodos de preparo pós-colheita, entre outros fatores. Neste sentido, diversos modelos matemáticos têm sido utilizados para descrever o processo de secagem de produtos agrícolas (CORRÊA et al., 2007).

O coeficiente de difusão (D_{ef}) é uma difusividade efetiva que engloba os efeitos de todos os fenômenos que podem intervir sobre a migração da água, sendo o resultado obtido pelo ajuste de valores experimentais (OLIVEIRA et al., 2006). Essa propriedade permite prever a velocidade da penetração de calor no interior do material, sendo assim de fundamental importância para o projeto de equipamentos (CARBONERA et al., 2003).

Para a escolha de um sistema adequado de secagem, devem-se analisar vários fatores, como: tempo, energia e propriedades do produto. O tempo gasto no processo está relacionado à velocidade de troca de energia e massa entre o produto e o ar de secagem, podendo ser analisado, pela difusividade efetiva, nas diversas temperaturas de processo (PARK et al., 2001).

Segundo Midilli et al. (2002) e Panchariya et al. (2002) existem três tipos de modelos de secagem utilizados para descrever a cinética de secagem de produtos agrícolas: o modelo teórico, que considera apenas a resistência interna à transferência de calor e água entre o produto e o ar quente, onde a água presente no interior do produto pode movimentar-se de acordo com o tipo de material que está secando, por diversos mecanismos como a difusão líquida, difusão capilar, difusão na superfície, fluxo hidrodinâmico, difusão de vapor e difusão

térmica. Já os modelos semiteóricos e empírico, que consideram somente a resistência externa à temperatura e umidade relativa do ar de secagem.

Os modelos semiteóricos são, geralmente, derivados da simplificação da segunda Lei de Fick, oferecendo facilidade de uso, mas sendo válidos somente para as faixas de temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e teor de água em que eles foram obtidos (OZDEMIR & DEVRES 1999, PANCHARIYA et al. 2002). Os modelos empíricos de secagem apresentam relação direta entre o teor de água do produto e o tempo de secagem. Eles negligenciam os fundamentos do processo de secagem, e seus parâmetros não têm qualquer significado físico. Desta forma, os modelos empíricos não fornecem uma perspectiva dos importantes processos que ocorrem durante a secagem, embora, em alguns casos, possam descrever as curvas de secagem, para determinadas condições experimentais (KEEY 1972).

Gasparin et al. (2017) utilizou em seu estudo, modelos matemáticos que descrevem a secagem de folhas de *Mentha piperita* (hortelã) em leito fixo utilizando diferentes temperatura e velocidade de ar, realizando a secagem em diferentes condições controladas de temperatura (30, 40, 50, 60 e 70°C) velocidades do ar de secagem (0,3 e 0,5 m.s⁻¹), concluiu que o modelo que melhor se ajustou ao processo de secagem em camada delgada para as folhas de *Mentha piperita* foi o de Midilli. GONELI et al. (2014a) em estudo com folhas de erva baleeira, REIS et al. (2012) com folhas de manjeriço e MARTINS et al. (2015) com folhas de timbó, também concluíram que o modelo de Midilli foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais de cinética de secagem dos produtos estudados.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, pertencente à Faculdade de Ciências Agrárias - FCA da Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD, no município de Dourados, MS. As folhas de amora (*Morus nigra* L.) foram coletadas de uma única planta com a finalidade de evitar qualquer tipo de influência entre tratamentos culturais, a coleta das folhas foi realizada de forma a pré-selecionar folhas sem injúrias, sendo realizada no período da manhã, não coletando após precipitações ou com resquícios de orvalho, evitando a variação do teor de água inicial. Após a coleta, as folhas, foram novamente selecionadas retirando-se as danificadas e com incidência de doenças, sendo em seguida retirado o pecíolo dessas folhas.

Posteriormente as folhas foram selecionadas, padronizando o tamanho das mesmas, e em seguida foram distribuídas em duas bandejas de fundo telado, formando uma camada delgada, composta por de três camadas de folhas. O teor de água inicial foi determinado através do método gravimétrico em estufa, a 103 ± 1 °C, durante 24 h, em triplicata (Asabe 2010).

A secagem das folhas foi realizada em secador experimental dotado de um sistema que controla com precisão o fluxo e a temperatura do ar de secagem (Figura 1). O secador experimental (Figura 1) utilizado possui como fonte de aquecimento um conjunto de resistências elétricas, totalizando 12 kW de potência, um ventilador Siroco, do fabricante Ibram, modelo VSI-160, o qual possui um motor de 1 cv. O controle de temperatura é realizado por meio de um controlador universal de processos, modelo N1200, da marca Novus, trabalhando com controle Proporcional-Integral-Derivativo (PID), e o fluxo de ar é selecionado por meio de um inversor de frequência ligado ao motor do ventilador.

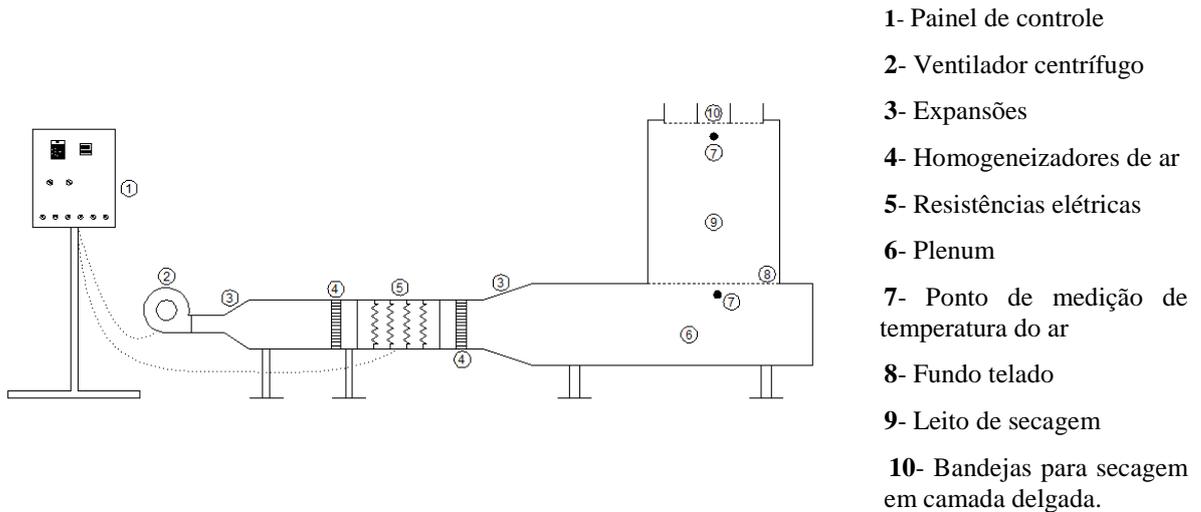


FIGURA 1. Secador experimental utilizado na secagem das folhas de amora.

A temperatura do ar de secagem foi monitorada pelo sistema de controle de temperatura do secador e por um termômetro padrão de mercúrio sobre as bandejas, com a finalidade de detectar qualquer discrepância de temperatura do sensor do secador.

3.1. Cinética de secagem em camada delgada das folhas de amora preta

A secagem das folhas de amora foi realizada para diferentes condições controladas de temperatura (40, 50, 60 e 70 °C) e velocidades do ar de secagem (0,4 e 0,8 m s⁻¹) em um secador experimental (Figura 1). O valor do teor de água inicial foi de 67 ± 2 % (b.u.), o processo de secagem se estendeu até que o teor de água de equilíbrio fosse obtido. Para fins de modelagem matemática, o teor de água como ponto final da secagem foi considerado de 10 ± 1% (b.u.).

A razão de umidade (RU) das folhas de amora, durante a secagem nas diferentes condições de ar, foi determinada por meio da seguinte Equação 1:

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} \quad (1)$$

em que:

RU: razão de umidade do produto, adimensional;

U: teor de água do produto em um determinado tempo, decimal b.s.;

U_e: teor de água de equilíbrio do produto, decimal b.s.; e

U_i : teor de água inicial do produto, decimal b.s..

Os dados observados foram ajustados à tradicionais modelos matemáticos utilizados por vários pesquisadores para estudar a cinética de secagem de plantas medicinais (GONELI et al., 2014a; GONELI et al., 2014b; PRATES et al., 2012; REIS et al., 2012; RADÜNZ et al.; 2011; MARTINAZZO et al., 2007;). Na Tabela 1, apresentam-se os modelos que foram avaliados neste trabalho.

TABELA 1. Modelos matemáticos ajustados às curvas de secagem das folhas de amora.

| Designação do modelo | Modelo | |
|----------------------------|--|-----|
| Aproximação da difusão | $RU = a \exp(-k \theta) + (1 - a) \exp(-k b \theta)$ | (2) |
| Dois termos | $RU = a \exp(-k_0 \theta) + b \exp(-k_1 \theta)$ | (3) |
| Exponencial de Dois Termos | $RU = a \exp(-k \theta) + (1 - a) \exp(-k a \theta)$ | (4) |
| Henderson e Pabis | $RU = a \exp(-k \theta)$ | (5) |
| Logarítmico | $RU = a \exp(-k \theta) + c$ | (6) |
| Midilli | $RU = a \exp(-k \theta^n) + b \theta$ | (7) |
| Newton | $RU = \exp(-k \theta)$ | (8) |
| Page | $RU = \exp(-k \theta^n)$ | (9) |

em que:

k, k_0, k_1 : constantes de secagem, h^{-1} ;

a, b, c, n : coeficientes dos modelos; e

θ : tempo de secagem, h.

O coeficiente de difusão efetivo das folhas de amora, para as diferentes condições de temperatura e velocidade do ar de secagem, foi calculado utilizando-se a Equação 10 baseado na teoria da difusão líquida. Em que a espessura média das folhas de amora foi obtida por meio da medição da espessura de cinquenta folhas, sendo que as leituras foram extraídas de seis pontos previamente estabelecidos de cada folha, utilizando-se um paquímetro digital com resolução de 0,01mm. Esta equação é a solução analítica para a segunda Lei de Fick, considerando-se a forma geométrica plana do produto e com aproximação de oito termos:

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[-(2n+1)^2 \cdot \pi^2 D_i \left(\frac{\theta}{4L} \right)^2 \right] \quad (10)$$

em que:

D_i : coeficiente de difusão efetivo, $m^2 s^{-1}$;

L : espessura do produto, m ;

n : número de termos do modelo.

Para avaliar a influência da temperatura no coeficiente de difusão efetivo fez-se o uso da Equação de Arrhenius, descrita da seguinte forma:

$$D_i = D_o \exp \left(\frac{E_a}{R T_a} \right) \quad (11)$$

em que:

D_o : fator pré-exponencial;

E_a : energia de ativação, $kJ mol^{-1}$;

R : constante universal dos gases, $8,314 kJ kmol^{-1} K^{-1}$; e

T_a : temperatura absoluta, K .

Os valores de erro médio relativo (P) e desvio padrão da estimativa (SE) foram obtidos conforme descrevi a Equações 12 e 13:

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \right) \quad (12)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (13)$$

em que:

n : número de observações experimentais;

Y : valor observado experimentalmente;

\hat{Y} : valor estimado pelo modelo; e

GLR: graus de liberdade do modelo.

3.2. Análise estatística

Os dados experimentais de razão de umidade durante a secagem, em camada delgada, das folhas de amora foram submetidos à análise de regressão não linear, pelo método de Gauss-Newton, e seleção do modelo matemático adequado para expressar a relação entre as variáveis estudadas. Para o ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais, foi utilizado o programa computacional Statistica 8.0[®].

Para análise do grau de ajuste de cada modelo, para todas as condições do ar de secagem, foram consideradas as maiores magnitudes do coeficiente de determinação, valores reduzidos do erro médio relativo e desvio padrão da estimativa, além do comportamento da distribuição dos resíduos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 2, são apresentadas as magnitudes do desvio padrão da estimativa (SE), erro médio relativo (P) e o coeficiente de determinação (R^2), além da distribuição dos resíduos utilizados para a comparação entre os oito modelos ajustados aos dados experimentais de razão de umidade da secagem das folhas de amora preta para diferentes temperatura e velocidades do ar de secagem.

Tabela 2. Parâmetros estatísticos obtidos na secagem das folhas de amora.

| Modelos | 0,4 m s ⁻¹ | | | | 0,8 m s ⁻¹ | | | |
|---------|-----------------------|----------|-----------------------------|---------|-----------------------|----------|-----------------------------|---------|
| | SE (decimal) | P (%) | R ² (decimal) | Resíduo | SE (decimal) | P (%) | R ² (decimal) | Resíduo |
| 40 °C | | | | | | | | |
| (2) | 0,0169 | 8,4960 | 0,9971 | TD | 0,0067 | 4,9932 | 0,9995 | AL |
| (3) | 0,0312 | 18,2692 | 0,9902 | TD | 0,0342 | 35,5409 | 0,9862 | TD |
| (4) | 0,0178 | 9,4502 | 0,9967 | TD | 0,0170 | 16,9787 | 0,9965 | TD |
| (5) | 0,0307 | 18,2690 | 0,9902 | TD | 0,0311 | 30,5449 | 0,9884 | TD |
| (6) | 0,0098 | 5,1307 | 0,9990 | AL | 0,0079 | 6,6288 | 0,9992 | AL |
| (7) | 0,0082 | 2,9980 | 0,9993 | AL | 0,0057 | 3,2213 | 0,9996 | AL |
| (8) | 0,0326 | 20,5178 | 0,9888 | TD | 0,0345 | 35,1279 | 0,9854 | TD |
| (9) | 0,0194 | 9,2402 | 0,9961 | TD | 0,0172 | 15,0631 | 0,9964 | TD |
| 50 °C | | | | | | | | |
| (2) | 0,0289 | 25,7472 | 0,9906 | TD | 0,0081 | 5,5964 | 0,9992 | AL |
| (3) | 0,0262 | 21,8166 | 0,9924 | TD | 0,0256 | 20,7900 | 0,9928 | TD |
| (4) | 0,0121 | 7,9068 | 0,9983 | TD | 0,0137 | 10,0025 | 0,9978 | TD |
| (5) | 0,0255 | 21,8170 | 0,9924 | TD | 0,0248 | 20,7895 | 0,9928 | TD |
| (6) | 0,0135 | 11,6465 | 0,9980 | TD | 0,0094 | 7,1292 | 0,9990 | AL |
| (7) | 0,0091 | 5,6663 | 0,9991 | AL | 0,0087 | 4,9119 | 0,9992 | AL |
| (8) | 0,0282 | 25,7474 | 0,9906 | TD | 0,0267 | 23,6281 | 0,9914 | TD |
| (9) | 0,0131 | 6,8514 | 0,9980 | TD | 0,0148 | 9,5861 | 0,9974 | TD |
| 60 °C | | | | | | | | |
| (2) | 0,1484 | 48,7990 | 0,7620 | TD | 0,0192 | 12,7678 | 0,9963 | TD |
| (3) | 0,0382 | 29,3516 | 0,9847 | TD | 0,0407 | 28,8397 | 0,9839 | TD |
| (4) | 0,0198 | 11,1774 | 0,9956 | AL | 0,0207 | 14,6769 | 0,9955 | TD |
| (5) | 0,0370 | 27,6202 | 0,9848 | TD | 0,0390 | 28,8398 | 0,9839 | TD |
| (6) | 0,0210 | 14,6172 | 0,9952 | AL | 0,0138 | 9,4836 | 0,9981 | AL |
| (7) | 0,0141 | 4,7146 | 0,9979 | AL | 0,0111 | 6,1239 | 0,9988 | AL |
| (8) | 0,0402 | 32,3802 | 0,9816 | TD | 0,0432 | 33,4536 | 0,9795 | TD |
| (9) | 0,0197 | 7,6632 | 0,9957 | AL | 0,0194 | 11,2890 | 0,9960 | TD |
| 70 °C | | | | | | | | |
| (2) | 0,0280 | 20,4360 | 0,9931 | TD | 0,0469 | 30,9039 | 0,9808 | TD |
| (3) | 0,0554 | 41,2041 | 0,9747 | TD | 0,0525 | 30,9043 | 0,9808 | TD |
| (4) | 0,0296 | 23,2203 | 0,9918 | TD | 0,0241 | 16,2139 | 0,9949 | TD |
| (5) | 0,0517 | 42,3852 | 0,9749 | TD | 0,0469 | 30,9039 | 0,9808 | TD |
| (6) | 0,0190 | 14,8630 | 0,9968 | AL | 0,0125 | 7,4549 | 0,9988 | AL |
| (7) | 0,0162 | 9,5931 | 0,9978 | AL | 0,0106 | 4,9279 | 0,9992 | AL |
| (8) | 0,0555 | 48,0328 | 0,9692 | TD | 0,0494 | 34,5807 | 0,9766 | TD |
| (9) | 0,0258 | 15,9781 | 0,9938 | TD | 0,0213 | 12,2643 | 0,9960 | TD |

O Midilli foi o único modelo ajustado aos dados experimentais da cinética de secagem das folhas de amora preta que para todas as temperaturas e velocidade do ar de

secagem, apresentou valores de erro médio relativo (P) inferiores a 10% (Tabela 2). No entanto o modelo Logarítmico, na velocidade do ar de secagem de $0,8 \text{ m s}^{-1}$, para todas as temperaturas do ar de secagem estudadas apresentou valores de P inferiores a 10%. Segundo Kashaninejad et al. (2007) os valores do erro médio relativo indicam o desvio dos valores observados em relação à curva estimada pelo modelo, enquanto Mohapatra & Rao (2005) consideram que modelos com valores de erro médio relativo superiores a 10% são inadequados para representar um determinado fenômeno.

Com relação ao coeficiente de determinação (R^2), verifica-se que dentre os vários modelos utilizados para prever a cinética de secagem de folhas de amora preta, destacam-se, o de Exponencial de Dois Termos, Logarítmico, Midilli, Newton e Page, apresentando valores de R^2 maior ou igual a 0,98 para todas as temperaturas e velocidades do ar de secagem (Tabela 2). Valores de R^2 superiores a 0,98 indicam representação satisfatória dos modelos para o fenômeno de secagem (KASHANINEJAD et al., 2007). Porém a utilização do R^2 como o único critério de avaliação para a seleção dos modelos de secagem, não constitui um bom parâmetro para seleção de modelos não lineares, sendo necessária a análise conjunta de outros parâmetros estatísticos (MOHAPATRA & RAO 2005).

Também foram mensurados os valores do desvio padrão da estimativa (SE), o que segundo Draper e Smith (1998) afirmam que este parâmetro estatístico indica a capacidade de um modelo em descrever com fidelidade um determinado processo físico, sendo que quanto menor for sua magnitude melhor será a qualidade de ajuste do modelo em relação aos dados observados. O modelo de Midilli se destaca para todas as condições de temperaturas e velocidade do ar de secagem, apresentando os menores valores de SE, ressaltando que na velocidade do ar de secagem de $0,8 \text{ m s}^{-1}$ o modelo de Logarítmico também apresentou valores reduzidos de SE (Tabela 2).

Com relação a distribuição do resíduo apenas o modelo de Midilli, apresenta distribuição aleatória dos resíduos para todas as condições de secagem (temperaturas e velocidades do ar), porém para a velocidade do ar de $0,8 \text{ m s}^{-1}$, não apenas o modelo de Midilli, mas também o modelo Logarítmico possui distribuição aleatória dos resíduos para todas as temperaturas (Tabela 2). De acordo com Goneli et al. (2011), se a distribuição dos resíduos formam figuras geométricas ou tendem a se acumular em um ponto fora do eixo, a distribuição dos seus resíduos é considerada como tendenciosa e o modelo inadequado para representar o fenômeno em questão.

Na Figura 1 é ilustrada a distribuição dos resíduos para o modelo de Midilli e Newton, em que o primeiro deles apresentou distribuição dos resíduos aleatória para todas as

temperaturas e velocidades do ar de secagem, enquanto o outro apresentou distribuição tendenciosa para todas as condições de secagem avaliadas.

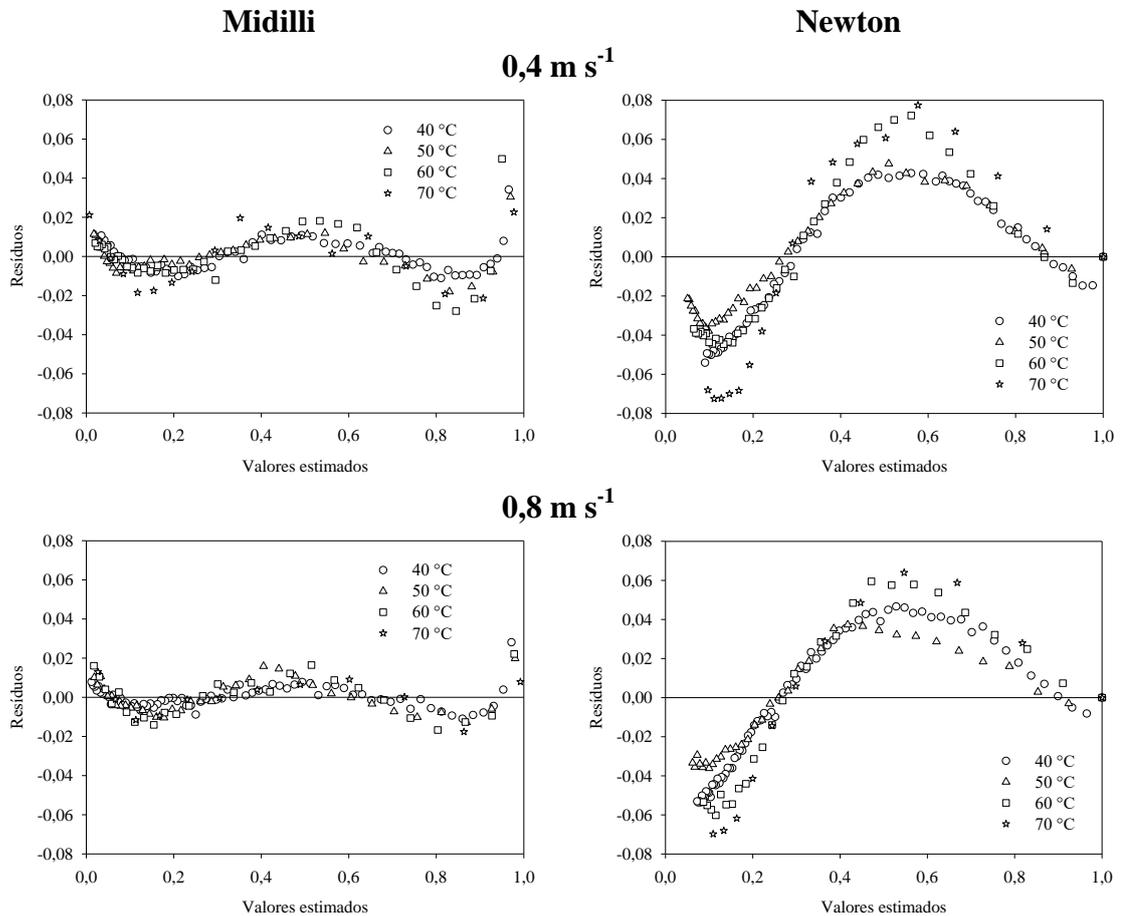


Figura 2. Distribuição dos resíduos obtidos para os modelos de Midilli e Newton utilizados na modelagem matemática da secagem de folhas de amora.

Com base nos parâmetros estatísticos, dentre os modelos analisados, o único modelo que pode ser usado para representar o processo de secagem em camada delgada das folhas de amora preta, para todas as condições do ar de secagem (temperatura e velocidade), é o modelo de Midilli, sendo ele selecionado para representar o referido fenômeno. Porém para representar o fenômeno de secagem de folhas de amora apenas na velocidade do ar de secagem de $0,8 \text{ m s}^{-1}$ poderia ser selecionado o modelos de Midilli ou Logarítmico (Tabela 2).

Vários autores também verificaram que o modelo de Midilli foi o mais adequado para representar a secagem de folhas de plantas medicinais, como GASPARIN et al. (2017) com folhas de *Mentha piperita*, MARTINS et al. (2015) com folhas de timbó, Goneli et al. (2014a) estudando folhas de erva baleeira e Reis et al. (2012) com folhas de manjeriço, dentre alguns outros pesquisadores.

Avaliando a correspondência entre os valores observados e os estimados, pelo modelo de Midilli, da razão de umidade das folhas de amora em camada delgada para todas as temperaturas e velocidades do ar de secagem, (Figura 3), é possível reforçar a aplicabilidade do modelo de Midilli, devido à elevada correspondência entre valores estimados e observados.

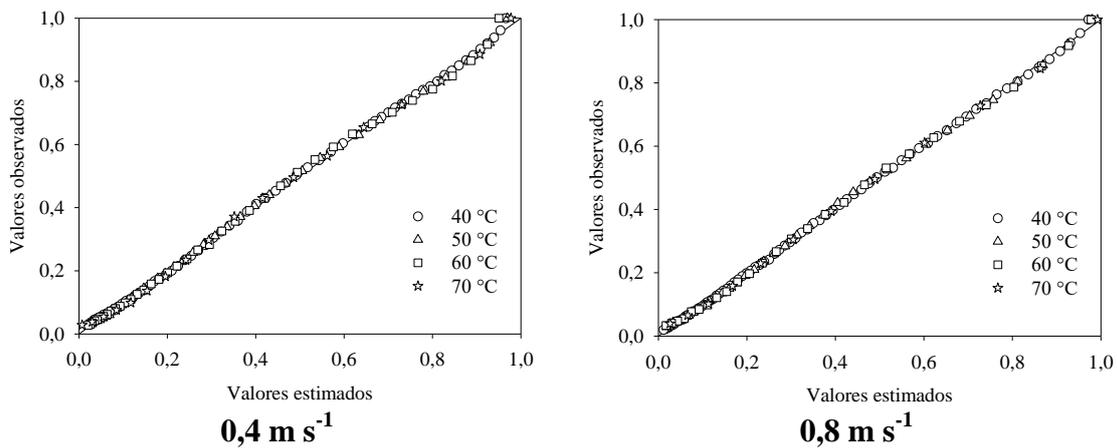


Figura 3. Valores de razão de umidade observados e estimados pelo modelo de Midilli para a secagem das folhas de amora em camada delgada nas diferentes temperaturas e velocidades do ar.

Nas Figuras 4 e 5 são apresentadas as curvas de cinética de secagem em camada delgada das folhas de amora para diferentes temperaturas e respectivas velocidades do ar de secagem.

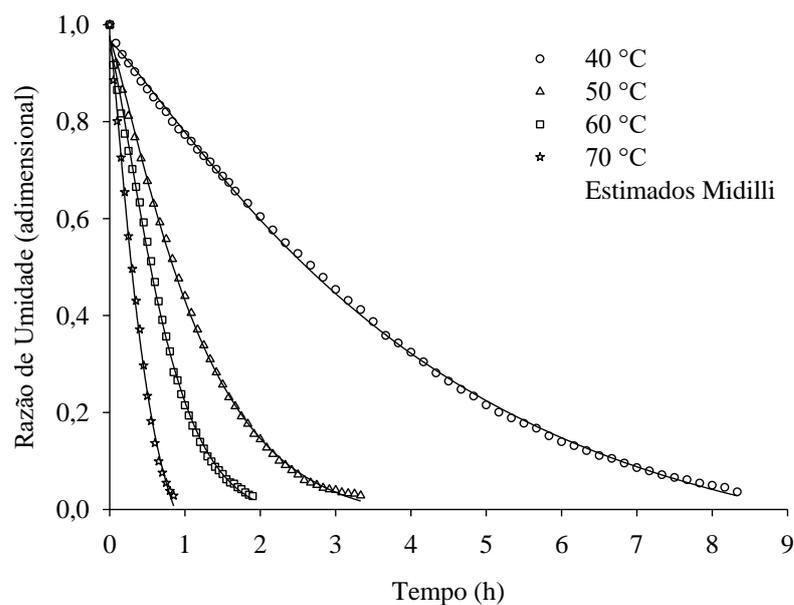


Figura 4. Valores de razão de umidade experimentais e estimados pelo modelo de Midilli para a secagem das folhas de amora em camada delgada na velocidade do ar de $0,4 \text{ m s}^{-1}$.

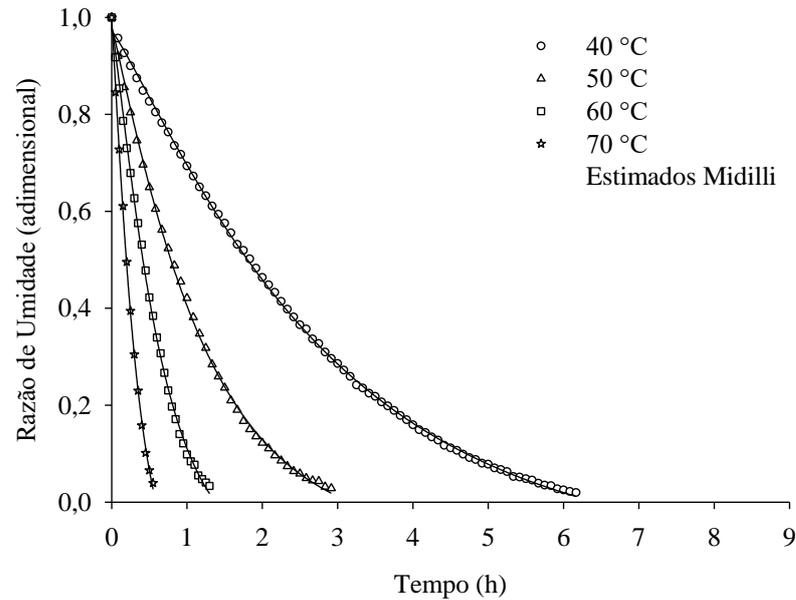


Figura 5. Valores de razão de umidade experimentais e estimados pelo modelo de Midilli para a secagem das folhas de amora em camada delgada na velocidade do ar de $0,8 \text{ m s}^{-1}$.

Nota-se que na medida em que se eleva a temperatura do processo de secagem das folhas de amora, o tempo gasto para concluir o mesmo é reduzido, corroborando com estudos realizados para a secagem de vários produtos agrícolas (SIQUEIRA et al., 2012; RADÜNZ et al., 2011; MOHAPATRA & RAO, 2005). O comportamento exponencial dos dados observados da curva de secagem é caracterizado devido à redução do teor de água estar em função do tempo, de forma que o produto perde maior quantidade de água no início do processo de secagem, e segue apresentando decréscimo desse valor até atingir o teor de umidade de equilíbrio. Segundo GASPARIN et al. (2017), este comportamento demonstra a inexistência do período de secagem a taxa constante, assim o processo de secagem do produto aconteceu apenas no período de secagem a taxa decrescente, sendo controlada pela difusão interna do líquido até a superfície do produto onde ocorre a evaporação da água.

Verifica-se que o acréscimo da velocidade do ar de secagem tem efeito mais pronunciado para as menores temperaturas avaliadas, em que o tempo de secagem para a temperatura de 40 °C reduziu consideravelmente na velocidade do ar de secagem de $0,8 \text{ m.s}^{-1}$ quando comparada a secagem na velocidade do ar de $0,4 \text{ m s}^{-1}$ (Figura 2 e 3), ao avaliar as demais temperaturas do ar de secagem estudadas, nota-se que quanto maior a temperatura menor o efeito da velocidade do ar no tempo para a secagem das folhas de amora preta. Isso ocorre devido à diferença entre a pressão de vapor do ar de secagem e do produto aumentar

com a temperatura, promovendo uma maior e mais rápida remoção de água. Observado por vários autores (Sirisomboon & Kitchaiya, 2009, Miranda et al., 2009, Vega-Gálvez et al., 2011). Assim é possível entender por que o aumento da velocidade do ar é mais pronunciante no tempo de secagem com as menores temperaturas.

Na Tabela 3 são apresentados os coeficientes e parâmetros do modelo de Midilli ajustados aos dados experimentais da cinética de secagem em camada delgada das folhas de amora preta para as diferentes condições do ar de secagem.

Tabela 3. Parâmetros do modelo de Page para as diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem das folhas de amora.

| Temperatura (°C) | 0,4 m s ⁻¹ | | | | 0,8 m s ⁻¹ | | | |
|---------------------|-----------------------|--------|--------|---------|-----------------------|--------|--------|---------|
| | a | k | n | b | a | k | n | b |
| 40 | 0,9659 | 0,2055 | 1,1448 | -0,0079 | 0,9719 | 0,3198 | 1,1442 | -0,0102 |
| 50 | 0,9696 | 0,7997 | 1,1888 | -0,0050 | 0,9801 | 0,8472 | 1,1018 | -0,0150 |
| 60 | 0,9501 | 1,4236 | 1,3217 | -0,0071 | 0,9779 | 1,7984 | 1,1927 | -0,0509 |
| 70 | 0,9774 | 2,8382 | 1,2413 | -0,1044 | 0,9921 | 4,0350 | 1,1512 | -0,1894 |

Observa-se na Tabela 3 que para ambas as velocidades do ar de secagem, nas diferentes temperaturas avaliadas que apenas o parâmetro “k” do modelo de Midilli apresentou tendência na variação de sua magnitude com a elevação da temperatura e velocidade do ar de secagem. O parâmetro de secagem “k”, que representa as condições externas de secagem, pode ser utilizado como uma aproximação para caracterizar o efeito da temperatura, sendo o mesmo relacionado com a difusividade efetiva, no processo de secagem em período decrescente juntamente com a difusão líquida que possui característica em controlar o processo (BABALIS & BELESSIOTIS, 2004). O parâmetro (k) está diretamente relacionado com a difusividade efetiva, desta forma à medida que ele se eleva, observa-se também aumento nos valores do coeficiente de difusividade efetiva (Tabela 4).

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios do coeficiente de difusão efetivo obtidos durante a secagem em camada delgada das folhas de amora preta em diferentes temperaturas e velocidades de ar de secagem, considerando a espessura foliar média de 0,427mm.

Tabela 4. Coeficiente de difusão efetivo (D_i) ajustado as diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem em camada delgada das folhas de amora.

| Temperatura (°C) | $D_i \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ | |
|------------------|--|-----------------------|
| | 0,4 m s ⁻¹ | 0,8 m s ⁻¹ |
| 40 | 0,4590 | 0,7038 |
| 50 | 1,5008 | 1,5835 |
| 60 | 2,4058 | 3,1023 |
| 70 | 4,5459 | 6,6212 |

Verifica-se na Tabela 4, que os valores do coeficiente de difusão efetivo aumentam na medida em que se eleva a temperatura e velocidade do ar de secagem. Segundo GONELI et al. (2009) a medida em que se eleva a temperatura, promove um aumento na vibração das moléculas de água e a redução da viscosidade da mesma, esses fatores contribuem para que a difusão ocorra mais rápido, de modo que a viscosidade da água é considerado uma medida de resistência, com isso de maneira positiva ocorre alterações na difusão da água nos capilares dos produtos, assim juntamente com o aumento dessas vibrações, o deslocamento desse fluido do interior para as extremidades do material é favorecido.

Observa-se que para o presente estudo houve diferença entre os valores de coeficiente de difusividade efetivo para os diferentes fluxos de ar, apresentando aumento do valor do D_i com o acréscimo da velocidade do ar. Pode-se atribuir esse resultado ao fato de que em altas temperaturas a água livre escoar mais rapidamente para a periferia do produto, onde a velocidade do ar por sua vez faz toda a diferença, arrastando assim essas moléculas de água para a atmosfera de secagem.

Na Figura 6 são apresentados os valores de $\ln(D_i)$ em função do inverso da temperatura absoluta obtido para as folhas de amora preta. Observa-se que a linearidade decrescente caracteriza a uniformidade de variação da taxa de secagem dentro da faixa de temperatura e velocidade do ar de secagem estudada. A inclinação da curva de representação de Arrhenius fornece a relação E_a/R enquanto sua interseção com o eixo das ordenadas indica o valor de D_0 .

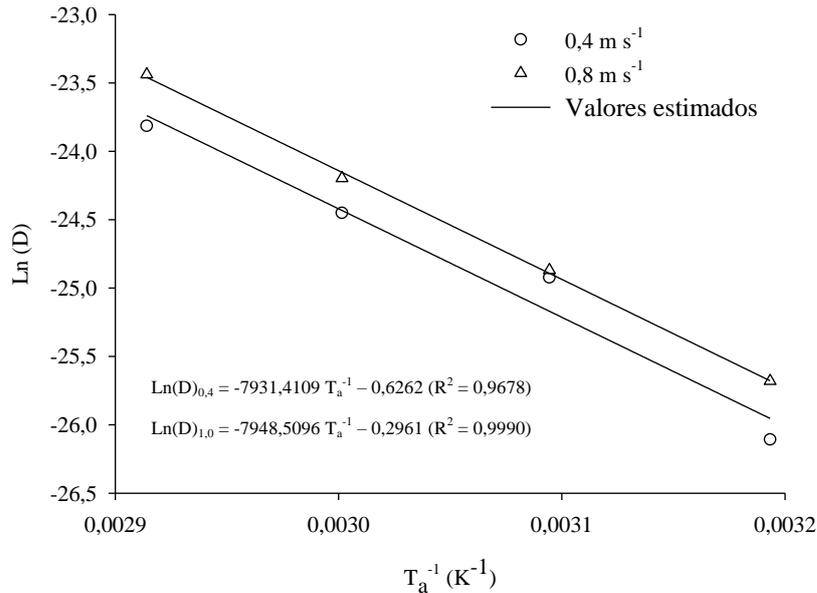


Figura 6. Representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo em função das diferentes temperaturas e velocidades do ar durante a secagem das folhas de amora.

As Equações 14 e 15 apresentam os coeficientes da equação de Arrhenius ajustados para o coeficiente de difusão efetivo das folhas de amora preta, para as velocidades de 0,4 e 0,8 $m s^{-1}$ respectivamente, calculado de acordo com a equação 11.

$$D_i = 0,5346 \exp\left(\frac{65,9418}{R T_a}\right) \quad (14)$$

$$D_i = 0,7437 \exp\left(\frac{66,0839}{R T_a}\right) \quad (15)$$

Pode-se observar, por meio das Equações 14 e 15, que a energia de ativação para a difusão líquida durante a secagem foi de 65,94 $kJ mol^{-1}$ e 66,08 $kJ mol^{-1}$ para as velocidades do ar de secagem de 0,4 e 0,8 $m s^{-1}$, respectivamente, para folhas de amora preta na faixa de temperatura de 40 a 70 $^{\circ}C$. Encontra-se na literatura vários valores de energia de ativação para diferentes plantas medicinais, verificando que, BARBOSA et al., (2007) com folhas de erva-cidreira-brasileira, 31,79 $kJ mol^{-1}$; GONELI et al., (2014b) com folhas de aroeira, 74,96 $kJ mol^{-1}$; MARTINS et al. (2015) com folhas de timbó, 81,39 $kJ mol^{-1}$.

A energia de ativação para produtos agrícolas varia de 12,7 a 110 $kJ mol^{-1}$ (ZOGZAS et al., 1996), assim os valores obtidos no presente estudo estão de acordo com o relato na literatura. Segundo Corrêa et al. (2007), a energia de ativação indica a facilidade com que as moléculas de água superam a barreira de energia durante a migração da água do interior do

produto, uma vez que, nos processos de secagem, quanto menor a energia de ativação, maior será a difusividade da água no produto.

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que:

Dentre os modelos avaliados apenas o modelo de Midilli apresentou ajuste satisfatório, considerando parâmetros estatísticos em todas as condições do ar de secagem estudadas neste trabalho.

A velocidade do ar de secagem promove maior influência na redução do tempo de secagem para as menores temperaturas avaliadas.

As magnitudes dos coeficientes de difusividade efetivo aumentam à medida que se eleva a temperatura e a velocidade do ar de secagem.

A energia de ativação durante a difusão da água foi de 65,94 a 66,08 kJ mol⁻¹ para as velocidades do ar de secagem de 0,4 e 0,8 m.s⁻¹, respectivamente, na faixa de temperatura estudada.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGAREZ FV, CÉZIO P; CECÍLIA MR. Botânica: **Taxonomia, morfologia e reprodução das angiospermas**. 2 ed. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural; 1994.

ANTUNES, L. E. Amora-preta (*Rubus spp*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 339-558, 2006.

ASABE, S J. Moisture Measurement - Forages: Standard S358.2 DEC1988, R2008. In: **American Society of Agricultural and Biological Engineers (ed.). Standards, Engineering Practices, and Data**. St. Joseph: ASABE, p.684-685, 2010.

BABALIS, S.J.; BELESSIOTIS, V.G. Influence of the drying condition on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. **Journal of Food Engineering**, v.65, p.449-458, 2004.

BARBOSA, F. F.; MELO, E. C.; SANTOS, R. H. S.; ROCHA, R. P.; MARTINAZZO, A. P.; RADÜNZ, L. L.; GRACIA, L. M. N. Evaluation of mathematical models for prediction of thin-layer drying of Brazilian lemon-scented verbena leaves (*Lippia alba* (MILL) N. E. BROWN). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 9, n. 1, p. 73-82, 2007.

BARBOSA, M.C; SILVA, S.A.R. Estudo Etnobotânico da amoreira (*Morus nigra* L.). 3º Simpósio de Plantas Mediciniais. Anais. UNB. Brasília. p.14-17, 2009.

BARBOSA. J. S. F. **BIOFARMA MANIPULAÇÃO**: Amora 300mg - 60 cápsulas. Disponível em:< <http://www.biofarmapinda.com.br/detalhes.php?cat=11&produto=35>>. Acesso em: 03 mar. 2017.

BARNABÉ, A. C. T. **SYNTOFÓRMULA FARMÁCIA DE MANIPULAÇÃO LTDA–ME**: Tintura de Amora (60mL). Disponível em:<<http://www.syntoformula.com.br/cuidadosespeciais/menopausa-e-tpm/tintura-de-amora60ml.html>>. Acesso em: 03 mar. 2017.

BERBERT, P. A.; Queiroz, D. M.; Silva, J. S.; Pinheiro Filho, J. B. Simulation of coffee drying in a fixed bed with periodic airflow reversal. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.60, n 3, p.167-73, 1995.

BRASIL 2006. Presidência da República. Decreto no. 5813 de 22 de junho de 2006. **Aprova a Política Nacional de Plantas Mediciniais e Fitoterápicos e dá outras providências**. DOU. Poder Executivo, Brasília, DF, 23 jun. 2006.

CARBONERA, L.; SILVA, S. A.; BARBOSA, H. R.; BORGES, J. A. S.; SILVA, W. R.; MARTINS, F. F.; SOUZA, T. N.; SILVA, V. H. C.; SALES, J. S.; COSTA, O. S. Determinação experimental da difusividade térmica de uma massa de tomate comercial. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.6, n.2, p.285-90, 2003.

CHRISTENSEN, C. M.; KAUFMANN, H. H. Microflora. In: CHRISTENSEN, C. M. **Storage of cereal grain and their products**. St. Paul: American Association of Cereals Chemists, p.158-192, 1974

CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MARTINAZZO, A. P.; GONELI, A. L. D.; Botelho, F. M. Modelagem matemática para a descrição do processo deSecagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, v.27, n 2, p.501-510, 2007.

- CRUZ GL. **Dicionário de plantas úteis no Brasil**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira; 1979.
- ELDIN, S.; DUNFORD, A. 2001. **Fitoterapia na atenção primária à saúde**. São Paulo, Manole.
- FINN, C.E. 2008. **Blackberries**. In: Hancock, J.F. (eds), *Temperate Fruit Crop Breeding: Germplasm to Genomics*. Springer, 83-114.
- FINN, C.E.; Clark, J.R. 2011. **Emergence of blackberry as a world crop**. *Chronica Horticulturae*. 51:13-18.
- GASPARIN, P. P.; CHRIST, D.; COELHO, S. R. M, Secagem de folhas menthapiperita em leito fixo utilizando diferentes temperaturas e velocidades de ar. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 48, n. 2, p. 242-250, abr-jun, 2017.
- GONELI, A. L. D. ; CORRÊA, P. C. ; AFONSO JÚNIOR, P. C. ; OLIVEIRA, G.H.H. Cinética de secagem dos grãos de café descascados em camada delgada. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. Café, n. 11, p. 64-73, 2009.
- GONELI, A. L. D.; VIEIRA, M.C.; VILHASANTI, H.C.B.; GONÇALVES, A.A. Modelagem matemática e difusividade efetiva das folhas de aroeira durante a secagem. **Pesquisa Agropecuária e Tropical**, v. 44, n. 1, p. 56-64, 2014b.
- GONELI, A. L. D. Variação das propriedades físico-mecânicas e da qualidade da mamona (*Ricinus communis* L.) durante a secagem e o armazenamento. **Tese Doutorado, Viçosa: UFV**, 186p. 2008.
- GONELI, A. L. D.; NASU, A. K.; GANCEDO, R.; ARAÚJO, W. D.; SARATH, K. L. L. Cinética de secagem de folhas de erva baleeira *Cordia verbenacea* D.C. **Revista Brasileira Plantas Medicinas**, v. 16, n. 2, p. 434-443, 2014a.
- GONELI, A.L.D.; CORRÊA, P.C.; MAGALHÃES, F.E.A.; BAPTESTINI, F.M. Contração volumétrica e forma dos frutos de mamona durante a secagem. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.33, n 1, p.1-8, 2011.
- HERTWIG, I. F. V. **Plantas aromáticas e medicinais**. 1. ed. São Paulo: Ícone, 1986. 449 p.
- KASHANINEJAD, M.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A.; TABIL, L.G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 1, p. 98-108, 2007.
- KEEY, R. B. **Drying: principles and practice**. New York: Pergamon Press, 1972.
- LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil: Nativas e exóticas**. 2 ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda, 2008. 544p.
- LORENZI, H; BACHER, L; LACERDA, M; SARTORI, S. **Frutas brasileiras e exóticas cultivadas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora; 2006.
- MALAQUINAS, J.D; COSTA, F.R. Amoreira-preta e seus benefícios como planta fitoterápica. 4º Encontro de Ciências Biológicas. **Anais**. Curitiba-PR, p.12, 2006.
- MARTINAZZO, A. P. et al. Modelagem matemática e parâmetros qualitativos da secagem de folhas de capim-limão [*Cymbopogon citratus* (D. C.). Stapf]. **Revista Brasileira de Plantas Medicinas**, v. 12, n. 4, p. 488-498, 2010.

Martinazzo, A. P.; Corrêa, P. C.; Resende, O.; Melo, E. de C. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, p.301-306, 2007.

MARTINAZZO, A. P. Secagem, **armazenamento e qualidade de folhas de *Cymbopogon citratus*** (D. C.) Stapf. Viçosa: UFV, 2006. 140p. Tese Doutorado

MARTINS, E. A. S.; LAGE, E. Z.; GONELI, A. L. D.; HARTMANN FILHO, C. P.; LOPES, J. G. Cinética de secagem de folhas de timbó (*Serjania marginata casar*). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 19, n. 3, p. 238-244, 2015.

Midilli, A.; Kucuk, H.; Yapar, Z. A new model for single-layer drying. **Drying Technology**, v.20, p.1503-1513, 2002.

MICHILES, E. Diagnóstico situacional dos serviços de fitoterapia no estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira Farmacognosia**, v. 14 (supl. 1), p. 16-19, 2004.

MIRANDA, M.; MAUREIRA, H.; RODRIGUEZ, K & VEGA-GALVEZ, A. (2009) Influence of temperature on the drying kinetics, physicochemical properties, and antioxidant capacity of Aloe Vera (*Aloe barbadensis* Miller) gel. **Journal of Food Engineering**, 91:297-304.

MOHAPATRA, D.; RAO, P.S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, p.513-518, 2005.

MORGAN R. **Enciclopédia das ervas e Plantas Medicinais**. São Paulo: Hemus Editora, 1982.

OKAMOTO, F; FURLANETO, F.P.B; MARTINS, A.N. AMORA PRETA: QUEM É QUEM. **Pesquisa & Tecnologia**, vol. 10, n. 2, 2013

OLIVEIRA, R.A.; OLIVEIRA, W.P.; PARK, K.J. Determinação da difusividade efetiva de raiz de chicória. **Engenharia Agrícola**, v.26, n.1, p.181-9, 2006.

OZDEMIR, M.; DEVRES, Y. O. The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. **Journal of Food Engineering**, v. 42, n. 4, p. 225-233, 1999

PANCHARIYA, P. C.; POPOVIC, D.; SHARMA, A. L. Thin-layer modeling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**, v. 52, n. 4, p. 349-357, 2002.

PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. O. R. Estudo de secagem de pêra bartlett (*Pyrus* sp) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 3, p. 288-292, 2001.

PAWLOWSKA, A.M., OLESZEK, W., BRACA, A., 2008. Quali-quantitative analyses of flavonoids of *Morus nigra* L. and *Morus alba* L. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 56, 3377–3380.

PRATES, M. F. O.; REIS, R. C.; DEVILLA, I. A.; FARIA, R. Q.; LIMA, A. F. J. Cinética de secagem de folhas de *Solanum lycocarpum* A. S. T. H. fruta-de-lobo. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 14, n. 3, p. 514-521, 2012.

PRATES, M. O.; PIZZILOLO, T. A.; TÔRRES, A. G.; MELO, E. C. Modelagem matemática de um sistema de secagem de plantas medicinais e aromáticas. **Engenharia na Agricultura**, MG, v. 15, n. 2, p. 96-108,abr./jun. 2007

RADÜNZ, L. L.; AMARAL, A. S. do; MOSSI, A. J.; Melo, E. de C.; Rocha, R. P. Avaliação da cinética de secagem de carqueja. **Engenharia na Agricultura**, v.19, p.19-27, 2011.

RASEIRA, M. C. B. A pesquisa com amora-preta no Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO MORANGO, 2.; ENCONTRO DE PEQUENAS FRUTAS E FRUTAS NATIVAS, 2004, Pelotas. Palestra... Pelotas: **Embrapa Clima Temperado**, 2004. p. 219-223.

REIS, R.C.; DEVILLA, I.A.; ASCHERI, D.P.R.; SERVULO, A.C.O.; SOUZA, A.B.M. Cinética de secagem de folhas de manjeriço *Ocimum basilicum* L. via infravermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 12, p. 1346-1352, 2012.

RESENDE, O.; CORRÊA, P.C.; GONELI, A.L.D.; BOTELHO, F.M.; RODRIGUES, S. Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.10, n.1, p.17-26, 2008.

SANTOS, J.F.; JACOB, A.R. **Plantas medicinais uma alternativa no tratamento de doenças respiratórias**. Universidade Estadual Paulista. UNESP-SP, Ed. FUNESP. 213p. 2007.

SCHAKER, P. D. C.; ANTONIOLLI, L. R. Aspectos econômicos e tecnológicos em pós-colheita de amoras-pretas. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.15, n.1-4, p.11-15, 2009.

SIRISOMBOON, P. & KITCHAIYA. P. (2009) Physical properties of *Jatropha curcas* L. kernels after heat treatments. **Biosystems Engineering**, 102:244-250.

SINGAB, A.N., EL-BESHBISHY, H.A., YONEKAWA, M., NOMURA, T., FUKAI, T., 2005. Hypoglycemic effect of Egyptian *Morus alba* root bark extract: effect on diabetes and lipid peroxidation of streptozotocin-induced diabetic rats. **Journal of Ethnopharmacology** 100, 333–338.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Drying kinetics of *Jatropha* seeds. **Revista Ceres**, v.59, p.171-177, 2012.

SOYSAL, Y.; ÖZTEKIN, S. Equilibrium moisture content equations for some medicinal and aromatic plants. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 74, n. 3, p. 317-324, 1999.

STRIK, B. C.; CLARK, J. R.; FINN, C. E.; BAÑADOS, M. P. **Worldwide blackberry production**. Hortechology, Alexandria, v. 17, n. 2, p. 205-213, 2007.

TULLIO, L.; AYUB, R. A. Produção da amora-preta cv tupy, em função da intensidade da poda. Semina: **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 3, p. 1147-1152, 2013.

VEIGA JUNIOR, V. F.; PINTO, A. C.; MACIEL, M. A. M. Plantas medicinais: cura segura?. **Química Nova**, v. 28, n. 3, p. 519-528, 2005.

VEGA-GÁLVEZ, A.; MIRANDA, M.; CLAVERÍA, R.; QUISPE, I.; VERGARA, J.; URIBE, E.; PAEZ, H & SCALA, KD. (2011) Effect of air temperature on drying kinetics and quality characteristics of osmo-treated jumbo squid (*Dosidicus gigas*). **Food Science and Technology**, 44:1623.

ZOGZAS, N.P.; MAROULIS, Z.B.; MARINOS-KOURIS, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. **Drying Technology**, v.14, n.10, p.2225-53, 1996.