

**UNIVERSIDADE ESTADUAL OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**SECAGEM DA *Mentha piperita* EM LEITO FIXO, UTILIZANDO DIFERENTES  
TEMPERATURAS E VELOCIDADES DE AR**

**PRISCILA PIGATTO GASPARIN**

**CASCADEL - PR**

**FEVEREIRO - 2012**

**PRISCILA PIGATTO GASPARIN**

**SECAGEM DA *Mentha piperita* EM LEITO FIXO UTILIZANDO DIFERENTES  
TEMPERATURAS E VELOCIDADES DE AR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Sistemas Agroindustriais.

Orientador: Prof. Dr. Divair Christ

**CASCADEL - PR**

**FEVEREIRO - 2012**

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Biblioteca Central do Campus de Cascavel – Unioeste**  
**Ficha catalográfica elaborada por Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362**

G232s Gasparin, Priscila Pigatto  
Secagem da *Mentha piperita* em leito fixo utilizando diferentes  
temperaturas e velocidades de ar. / Priscila Pigatto Gasparin — Cascavel,  
PR: UNIOESTE, 2012.  
82 f. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Divair Christ  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do  
Paraná.  
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola,  
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.  
Bibliografia.

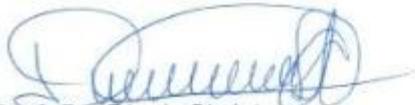
1. Hortelã pimenta. 2. Modelagem matemática. 3. Óleo essencial. 4.  
Qualidade. 5. Midili. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II.  
Título.

CDD 21ed. 581  
633

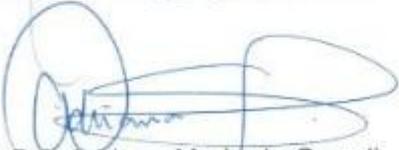
## PRISCILA PIGATTO GASPARIN

“Secagem da *Mentha piperita* em leito fixo utilizando diferentes temperaturas e velocidades do ar”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós – Graduação “Stricto Sensu” em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Engenharia de Sistemas Agroindustriais, **aprovada** pela seguinte banca examinadora:

  
Orientador: Prof. Dr. Divair Christ  
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

  
Prof. Dr. Evandro Marcos Kolling  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR

  
Profª. Drª. Adriana Maria de Grandi  
Centro de Ciências Agrárias, UNIOESTE

  
Profª. Drª. Silvia Renata Machado Coelho  
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Cascavel, 09 de fevereiro de 2012

## BIOGRAFIA

PRISCILA PIGATTO GASPARIN, filha de Valter Pigatto e Ivonete Rinaldi Pigatto, nasceu em Matelândia, PR, no dia 20 de maio de 1986. Em dezembro de 2008, graduou-se em Matemática – Licenciatura, pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná. No período de fevereiro de 2009 a dezembro de 2010, passou a lecionar na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *campus* de Medianeira, como professora colaboradora. Neste mesmo período, passou a lecionar no Colégio Estadual Euclides da Cunha e Colégio Estadual Rui Barbosa, ambos situados em Matelândia. No mesmo período, obteve o título especialista em Metodologia de Ensino de Matemática e Física, pela Faculdade Internacional de Curitiba – Facinter. Em março de 2010, iniciou o curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, concentrando seus estudos na área de Sistemas Agroindustriais e estudando o tema de Pós-Colheita em Secagem de Plantas Medicinais e Aromáticas.

Ao meu marido, aos meus pais e meu irmão  
Dedico este trabalho com todo meu amor

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, Força Criadora, que nos instiga e impulsiona sempre a novos desafios.

Aos meus pais Valter e Ivonete, meu irmão Douglas e meu marido André pela paciência e confiança.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná, em especial ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realizar o curso de Mestrado.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Divair Christ pela orientação, pela amizade e pelas sugestões na elaboração desta dissertação.

Aos professores Silvia Renata Coelho Machado, Adriano Divino Lima Afonso, Tereza Cristina Marinho Jorge, pelo auxílio constante, contribuindo para a execução dos experimentos.

Aos colegas Nilton, Vanderleia, Franciele, Naimara e Péterson pelo acompanhamento durante os momentos de dificuldade na realização dos experimentos.

A todos os demais professores, colegas e funcionários que, direta ou indiretamente, participaram da realização deste trabalho.

## SECAGEM DA *Mentha piperita* EM LEITO FIXO UTILIZANDO DIFERENTES TEMPERATURAS E VELOCIDADES DE AR

### RESUMO

A espécie *Mentha piperita*, conhecida popularmente como hortelã-pimenta, além de ser considerada uma planta medicinal, pode ser utilizada para obtenção de aromatizantes, infusões de chá e temperos. É amplamente utilizada nas indústrias farmacêuticas, alimentícia e cosméticos. Por estas razões, é necessário o correto processo de secagem, aumentando o tempo de conservação e a vida útil do produto, facilitando seu transporte, manuseio e armazenamento. Para que os derivados da hortelã tenham qualidade, são necessários estudos sobre a pré e a pós-colheita. Objetivou-se neste estudo a avaliação da secagem e a obtenção das curvas de secagem da hortelã, por meio de modelagem matemática, no intervalo de 30 a 70 °C de temperaturas, com variação da velocidade do ar de secagem 0,3 e 0,5 m.s<sup>-1</sup> e análise da qualidade do produto obtido. Para a secagem das folhas, foi utilizado um secador de leito fixo em escala de laboratório, o qual possui um ventilador para a movimentação do ar e sistema de aquecimento. Foram realizadas duas análises referentes à qualidade, ao rendimento do óleo essencial e à análise da cor. Os resultados evidenciaram que o modelo de Midilli é o que melhor se ajusta aos dados experimentais. A temperatura influenciou o processo de secagem, porém a velocidade não apresentou influência para as análises do rendimento do óleo essencial e nem para a coloração das folhas. A temperatura de 50 °C mostrou-se a mais indicada para a secagem da espécie, pois apresentou o maior rendimento de óleo essencial e a preservação da cor verde.

**Palavras-chave:** hortelã-pimenta, Midilli, modelagem matemática, óleo essencial, qualidade.

# ***Mentha piperita* DRYING IN FIXED BED USING DIFFERENT TEMPERATURES AND AIR SPEED**

## **ABSTRACT**

The species *Mentha piperita*, popularly known as peppermint as well as being a medicinal plant, can be used to obtain flavoring, tea infusions and spices for pharmaceutical, food and cosmetics use. Thus, drying process is necessary to increase the shelf life of the product and facilitate its transport, handling and storage. Due to the aimed good mint quality, it is necessary to study the pre-and post-harvest. The objective of this study was the evaluation of drying the curves of drying mint, by mathematical modeling, in the range of 30 to 70 °C with temperature variation of the drying air velocity of 0.3 and 0.5 m.s<sup>-1</sup> and quality analysis of the obtained product. To carry out the drying of leaves, we used a fixed bed dryer at a laboratory scale, which has a fan for air movement and a heating system. There were two analysis regarding the quality, essential oil yield and analysis of color. The results showed that the model Midilli is the one that best fits to the experimental data. The temperature has some influence on the drying process, but the speed had no effect on the analysis of essential oil yield nor on the color of the leaves. The temperature at 50 °C proved to be most suitable for drying of the species, because it presented the highest yield of essential oil and preservation of the green color.

**Keywords:** peppermint, Midilli, mathematical modeling, essential oil, quality

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>x</b>	
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>xii</b>	
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b> .....	<b>xiv</b>	
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
2.1	Objetivo geral .....	3
2.2	Objetivos específicos.....	3
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>4</b>
3.1	Considerações sobre o gênero <i>Mentha</i> .....	4
3.2	Importância econômica e industrial da <i>Mentha</i> .....	5
3.2.1	A importância das plantas medicinais.....	6
3.3	Óleo essencial.....	8
3.3.1	Métodos de extração do óleo.....	10
3.4	Considerações sobre a secagem de plantas medicinais e aromáticas .....	11
3.5	Modelos matemáticos para descrever a secagem .....	16
3.6	Qualidade das plantas medicinais e aromáticas .....	18
3.6.1	Cor .....	18
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>22</b>
4.1	Material vegetal .....	22
4.2	Colheita .....	22
4.3	Seleção, determinação do teor de umidade e acondicionamento .....	22
4.4	Experimento de secagem .....	23
4.4.1	Secador .....	23
4.4.2	Monitoramento do processo de secagem .....	24
4.4.3	Modelagem do processo de secagem .....	26
4.4.4	Análise estatística.....	28
4.5	Avaliação da qualidade do produto seco .....	28
4.5.1	Cor .....	28
4.5.2	Quantificação do teor de óleo .....	29
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>30</b>
5.1	Secagem .....	30
5.1.1	Curvas de secagem das folhas de <i>Mentha piperita L.</i> .....	30
5.1.2	Difusividade efetiva.....	35

5.2	Avaliação da qualidade.....	39
5.2.1	Influência do processo de secagem no teor de óleo essencial .....	39
5.2.2	Influência do processo de secagem na coloração das folhas .....	42
5.2.3	Diferença de cor $\Delta E$ .....	46
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>48</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>49</b>
	<b>ANEXOS 58</b>	
	<b>ANEXO A – PLANTAS MEDICINAIS.....</b>	<b>59</b>
	<b>ANEXO B – COEFICIENTES PARA A VELOCIDADE DE 0,3 m.s<sup>-1</sup>.....</b>	<b>63</b>
	<b>ANEXO C – COEFICIENTES PARA A VELOCIDADE DE 0,5 m.s<sup>-1</sup>.....</b>	<b>65</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Condições médias do ar e das folhas de <i>Mentha piperita</i> para temperaturas de secagem de 30, 40, 50, 60 e 70 °C com velocidade do ar 0,3 ms <sup>-1</sup> ..... 25
<b>Tabela 2</b>	Condições médias do ar e das folhas de <i>Mentha piperita</i> para temperaturas de secagem de 30, 40, 50, 60 e 70 °C com velocidade do ar 0,5 ms <sup>-1</sup> ..... 25
<b>Tabela 3</b>	Modelos de regressão não-linear utilizados para predizer o fenômeno de secagem em camada delgada de folhas de <i>Mentha piperita</i> ..... 26
<b>Tabela 4</b>	Parâmetros do modelo Midilli obtido nos diferentes tratamentos de secagem de folhas de <i>Mentha piperita</i> ..... 31
<b>Tabela 5</b>	Parâmetros do modelo Midilli, ajustados em função da temperatura de secagem ..... 32
<b>Tabela 6</b>	Tempo de secagem para cada temperatura em diferentes velocidades do ar de secagem ..... 34
<b>Tabela 7</b>	Valores médios de umidade relativa do ar de secagem, observados em função da temperatura e velocidade do ar durante a secagem da hortelã-pimenta ..... 35
<b>Tabela 8</b>	Valores do coeficiente de difusão obtido para as folhas de <i>Mentha piperita</i> , em diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem..... 35
<b>Tabela 9</b>	Comparação entre os valores de constantes de secagem (Def), calculados pela relação da difusividade, utilizando os dados experimentais da secagem de folhas da hortelã-pimenta e os valores calculados pelo modelo de Arrhenius ..... 38
<b>Tabela 10</b>	Energia de ativação obtida para as diferentes velocidades do ar de secagem das folhas de <i>Mentha piperita</i> ..... 38
<b>Tabela 11</b>	Média das porcentagens de teor de óleo em relação à matéria total e à matéria seca, obtida nos tratamentos de secagem das folhas da hortelã-pimenta, em função da temperatura e velocidade do ar de secagem 39
<b>Tabela 12</b>	Análise de variância dos dados obtidos de rendimento do óleo essencial de folhas de <i>Mentha piperita</i> em diferentes temperaturas e velocidade do ar .... 40
<b>Tabela 13</b>	Médias de porcentagem de óleo, em função da temperatura e da velocidade do ar de secagem ..... 41
<b>Tabela 14</b>	Médias dos parâmetros utilizando a escala CIELAB, para análise da cor da <i>Mentha piperita</i> ..... 43
<b>Tabela 15</b>	Teste de diferença de cor ( $\Delta E$ ), em relação à planta fresca ..... 46

<b>Tabela 16</b>	Percepção humana para diferentes valores de $\Delta E^*_{ab}$ , de acordo com a norma DIN 6174 (1979) .....46
------------------	---

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Plantas adultas de <i>Mentha piperita</i> L. ....	4
<b>Figura 2</b>	Tricomas glandulares em tecidos foliares de <i>Mentha piperita</i> . ....	8
<b>Figura 3</b>	Componentes de tricoma glandular em <i>Mentha piperita</i> .....	8
<b>Figura 4</b>	Micrografia Eletrônica de Tricomas na superfície adaxial da folha de <i>Mentha x piperita</i> , na figura superior; Na figura inferior detalhe de um tricoma peltado da mesma folha. NG - tricomas não glandulares; C – tricomas capitados; P – tricomas peltados; SC – cavidade armazenadora; S – célula secretora; ST – célula – haste; B – célula basal. ....	9
<b>Figura 5</b>	Curvas típicas de secagem. ....	14
<b>Figura 6</b>	Esquema tridimensional para medição de cores CIELAB 1976.....	19
<b>Figura 7</b>	Esquema para observação de H* (ângulo de coloração), C* (índice de croma), L*(claro-escuro), a* (verde – vermelha) e b* (azul-amarelo).....	20
<b>Figura 8</b>	Vista superior secador de camada fixa, utilizado na determinação das curvas de secagem, com dimensões em centímetro. ....	24
<b>Figura 9</b>	Vista longitudinal do secador de camada fixa, utilizado na determinação das curvas de secagem, com dimensões em centímetro.....	24
<b>Figura 10</b>	Dados observados e estimados pelo modelo de Midilli para descrever a curva de secagem da hortelã-pimenta, para diferentes temperaturas e para a velocidade de 0,3 m.s <sup>-1</sup> . ....	32
<b>Figura 11</b>	Dados observados e estimados pelo modelo de Midilli para descrever a curva de secagem da hortelã-pimenta, para diferentes temperaturas e para a velocidade de 0,5 m.s <sup>-1</sup> . ....	33
<b>Figura 12</b>	Efeito da temperatura, segundo o modelo de Arrhenius, na secagem da hortelã-pimenta, utilizando velocidade do ar de secagem de 0,3 m.s <sup>-1</sup> e temperaturas de 30 a 70 °C. ....	37
<b>Figura 13</b>	Efeito da temperatura, segundo o modelo de Arrhenius, na secagem da hortelã-pimenta, utilizando velocidade do ar de secagem de 0,5 m.s <sup>-1</sup> e temperaturas de 30 a 70 °C. ....	37
<b>Figura 14</b>	Rendimento do óleo essencial da hortelã-pimenta, para as diferentes temperaturas e diferentes velocidades do ar de secagem.....	40
<b>Figura 15</b>	Sistema colorimétrico CIELAB, indicando a coordenada para planta fresca..	43
<b>Figura 16</b>	Sistema colorimétrico CIELAB, indicando o parâmetro para a secagem a 50 °C.....	44

<b>Figura 17</b>	Sistema colorimétrico CIELAB, indicando o ângulo de matiz das folhas de hortelã-pimenta após a secagem. ....	45
------------------	--	----

## LISTA DE SÍMBOLOS

$a^*$	Coordenada verde-vermelho	Adimensional
$b^*$	Coordenada amarelo-azul	Adimensional
$C^*$	Índice de Croma	Adimensional
$a$	Parâmetro modelo matemático	Adimensional
$b$	Parâmetro modelo matemático	Adimensional
$c$	Parâmetro modelo matemático	Adimensional
$D_{ef}$	Coefficiente de difusão	$m^2 \cdot s^{-1}$
$E$	Energia de ativação	$J \cdot mol^{-1}$
$H^*$	Ângulo de coloração ou tom	Adimensional
$k$	Parâmetro modelo matemático	Adimensional
$k_0$	Parâmetro modelo matemático	Adimensional
$k_1$	Parâmetro modelo matemático	Adimensional
$L^*$	Índice de luminosidade	Adimensional
$L$	Espessura do produto	mm
$n$	Parâmetro modelo matemático	Adimensional
$R$	Constante universal dos gases	$J \cdot mol^{-1} K^{-1}$
$T$	Temperatura do ar de secagem	$^{\circ}C$
$t$	Tempo de secagem	minutos

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de produtos naturais, principalmente plantas medicinais, é uma prática milenar e muito comum na história da humanidade. Vários são os fatores que auxiliam na difusão dessa prática, entre eles, o uso como alternativa para o tratamento de algumas enfermidades, no que se refere ao controle ou diminuição de sintomas e até mesmo na substituição de medicamentos sintéticos que, por sua vez, possam apresentar efeitos colaterais indesejáveis.

A planta medicinal *Mentha piperita* L, conhecida popularmente como hortelã-pimenta, além de apresentar considerável consumo nas formas *in natura* - chás e óleos - está presente no ramo de cosméticos e na indústria alimentícia.

Esta planta do gênero *Mentha* pertence à família *Lamiaceae* e está distribuída em todo o mundo, tendo como centro de origem a Europa meridional e a região do Mediterrâneo. Cultivada pelos antigos egípcios é muito perfumada, com folhas de base arredondada agudas e serrilhadas. As flores violáceas reúnem-se em vertículos, geralmente multifloros, separados e pedunculados. É usada para fins medicinais e atua como estimulante, antiespasmódica, anestésica e, ainda, como analgésico, acalmando as dores gástricas e intestinais. Seu principal produto é o óleo essencial, de forma geral, rico em mentol na sua composição, utilizado pelas indústrias como flavorizante e aromatizante (GRISI *et al.*, 2006).

O Brasil e o Paraguai, foram grandes produtores de *Mentha ssp.* Atualmente a Índia e a China são os grandes responsáveis pela produção mundial. No Brasil, o Paraná se destaca na produção, destinando várias áreas para o seu plantio, além disso, ela se encontra dentro do grupo de plantas medicinais que foram autorizadas pelo Ministério da Saúde para fazerem parte dos medicamentos fitoterápicos distribuídos nos postos de saúde em forma de chá, para tratamento de várias enfermidades.

As plantas medicinais são geralmente comercializadas, sob a forma dessecada, tornando o processo de secagem fundamental para a qualidade do produto a ser comercializado. A secagem tem por finalidade retirar parte da água contida nos produtos agrícolas com o fim de preservar suas características organolépticas e aumentar seu tempo de utilização e/ou vida de prateleira.

Desta forma, a pesquisa sobre as variáveis existentes nos métodos de secagem e a sua relação com a qualidade final do produto é de suma importância, pois permite desenvolver maneiras de evitar diversos problemas, como contaminação e perda dos atributos de qualidade de seus derivados.

Para estimar os parâmetros de secagem, existem vários modelos aplicados a produtos higroscópicos tais como teóricos, semiteóricos e empíricos. O método teórico descreve a taxa decrescente de secagem de um sólido, baseando-se na lei de Fick; o método empírico é baseado em dados experimentais e os modelos semiteóricos, convergem para uma harmonia entre a teoria e a facilidade de uso.

Dentre os processos de secagem, a secagem em camada delgada é realizada para diversos produtos agrícolas, como sementes, grãos, frutos e com diferentes espécies de plantas de importância econômica. Conforme o produto e as condições do processo de secagem, diferentes poderão ser os modelos de ajuste.

Assim, neste estudo foram testados diferentes modelos de secagem, com o objetivo de verificar o que melhor se ajusta aos dados obtidos, durante a realização da secagem. Com objetivo de encontrar os parâmetros para secadores, durante o processo de secagem, foram feitas análises da qualidade final do produto com relação à cor, utilizando-se um colorímetro com a escala CIELAB para observar a variação da cor antes e após a secagem, e o teor de óleo essencial, extraído-se o óleo essencial das folhas antes e após a secagem.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

- Secar as folhas de hortelã-pimenta em secador de leito fixo, em diferentes temperaturas e velocidade do ar;
- Avaliar a qualidade com relação à cor e ao teor de óleo essencial das folhas, antes e após a secagem em secador de leito fixo.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Obter as curvas de secagem em função do tempo;
- Ajustar modelos matemáticos tais como Modelo de Newton, Page, Page Modificado, Thompson, Difusão (Lei de Fick), Henderson e Pabis, Logaritmo, Dois termos, Exponencial de dois termos, Wang e Sing, Henderson e Pabis Modificado, Midilli e aproximação da difusão para descrever o fenômeno da secagem da folha de hortelã-pimenta;
- Avaliar a qualidade final do produto quanto às características de cor e teor de óleo, em função dos parâmetros de secagem: temperatura e velocidade do ar.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Considerações sobre o gênero *Mentha*

Plantas do gênero *Mentha* são herbáceas e perenes com altura variável entre 20 e 70 cm de acordo com o material genético e condições de manejo. Apresentam folhas opostas e ovaladas com margens serrilhadas, flores hermafroditas e caules subterrâneos (rizomas). A baixa disponibilidade hídrica durante o ciclo da cultura diminui o potencial de produção (SANGANERIA, 2005).

Dentre as espécies mais populares se destacam a menta do levante (*M. citrata* Ehrhart.), hortelã-verde (*M. spicata* L.), poejo (*M. pulegium* L.), hortelã-crespa (*M. crispa* L.), hortelã-pimenta (*M. x piperita*) e a menta japonesa ou hortelã-doce (*M. arvensis*) (WATANABE *et al.*, 2006).

Conforme Russomanno, Kruppa e Figueiredo (2005), as espécies mais cultivadas no Brasil são a *Mentha arvensis* e a *Mentha spicata*, por serem bem adaptáveis ao clima subtropical, bem como a *Mentha piperita*, um híbrido natural de *Mentha aquatica* e *Mentha spicata*.

A hortelã-pimenta é do gênero *Mentha* e pertence à família *Lamiaceae*, está distribuída em todo o mundo, tendo como centro de origem a Europa meridional e a região do Mediterrâneo. Suporta baixas temperaturas, mas é bem adaptada ao clima tropical. Possui folhas pecioladas e pubescentes, com flores de coloração lilás ou branca, reunidas em espigas nas axilas das folhas (MATTOS, 2000).

Segundo Zeinali *et al.* (2005), o gênero *Mentha* (Figura 1) consiste de um grande número de híbridos, oriundos, principalmente, do cruzamento entre as várias populações, dentro e entre essas espécies, sendo, portanto, a identificação dos genótipos dificultada pela natureza heterozigótica e alta plasticidade fenotípica.



**Figura 1** Plantas adultas de *Mentha piperita* L.

O tempo ideal para se proceder à colheita das plantas de hortelã varia conforme a época do ano, o clima da região e o destino a ser dado à planta (extração de óleo essencial ou produção de material fresco). A composição do óleo essencial de menta varia em função de fatores como tipo de solo, temperatura, latitude, altitude, época de colheita e nutrição (LIMA; KAPLAN; CRUZ, 2003).

Para ser cultivada é necessário água e um solo muito fértil, além disso, é usada como cultura desbravadora nas regiões do interior dos estados do Paraná e de São Paulo. Com a diminuição das áreas desmatadas, a área de cultivo da menta diminuiu. Outros dois fatores que contribuíram para a diminuição da produção de menta foram: o advento do mentol sintético e a suscetibilidade das plantas de menta à doença conhecida como “ferrugem da menta”, causada pelo fungo *Puccinia menthae* Pers. (WATANABE *et al.*, 2006).

A *Mentha* é usada para fins medicinais, como analgésico estomacal e intestinal, estimulante das funções cardíacas, controle da azia, gastrite, cólicas e gases (GRISI *et al.*, 2006). A hortelã-pimenta é uma rica fonte de mentol, apresentando várias aplicações industriais, como em produtos de higiene bucal, flavorizantes, aromatizantes de alimentos e bebidas, em perfumarias, confeitarias e produtos farmacêuticos (DOMIJAN *et al.*, 2005).

### 3.2 Importância econômica e industrial da *Mentha*

O Brasil, seguido pelo Paraguai, foi o principal produtor mundial de *Mentha spp.*, mas perdeu essa posição para a República Popular da China, no início da década de 1980 (SINGH; SIDDIQUI, 2003). Entretanto, na década de 1990 a Índia tomou a posição da China (KOTHARI, 2005). Atualmente os Estados Unidos é o país líder de produção de óleo essencial de menta. As folhas e o óleo essencial de *Mentha piperita* são oficializados no Formulário Nacional dos Estados Unidos (*U.S. National Formulary*). Na Alemanha, a *Mentha piperita* é uma das ervas mais importantes economicamente, é licenciada como chá medicinal e oficializada na Farmacopeia Alemã (PUSHPANGADAN; TEWARI, 2006).

No Brasil, o cultivo de plantas medicinais, aromáticas e condimentares concentra-se no Paraná, com 90% da área plantada do país (3.300 hectares) e 15 mil toneladas/ano. O estado tem condições de clima e solo favoráveis ao cultivo de mais de cem espécies de plantas, entre nativas e exóticas. O mercado de plantas medicinais vem ganhando espaço e envolveu, em 2008, mais de 400 mil toneladas de plantas, de 3 mil espécies, sendo 900 cultivadas (FAEP, 2010).

Corrêa Junior, Graça e Scheffer (2004) relatam que o Paraná, no ano de 2003, manteve uma área de produção de menta de 54 ha, equivalente a 2,13% do total cultivado com plantas medicinais, aromáticas e condimentares no estado. Os mesmos autores citam

que, na safra 2001/02, o valor bruto da produção para a menta atingiu aproximadamente R\$ 2,4 milhões. Na safra 2003/2004, a área de plantio no Estado do Paraná ficou em torno de 100 há e o município de Capitão Leônidas Marques foi o maior produtor com, aproximadamente, 97% da produção (PARANÁ, 2006).

O principal produto das plantas do gênero *Mentha* é o seu óleo essencial, rico em mentol na sua composição. O óleo é utilizado nas indústrias farmacêutica, alimentícia e de cosméticos. No ano de 2005, movimentou cerca de US\$ 276 milhões de dólares. Em 2010, a produção foi de, aproximadamente, 30 mil toneladas de óleo essencial de menta (SANGANERIA, 2005).

O mentol, apesar de ser o componente presente em maior quantidade no óleo essencial, não é a única substância que define a sua qualidade. Outras substâncias, mesmo em pequenas quantidades, podem alterar as qualidades sensoriais do óleo essencial ou ainda terem valor comercial por serem utilizadas nas indústrias alimentícias e farmacêuticas (PAULUS *et al.*, 2007).

### 3.2.1 A importância das plantas medicinais

As plantas medicinais foram os primeiros recursos terapêuticos utilizados para o cuidado da saúde dos seres humanos e de sua família, sendo, portanto, parte de um conhecimento milenar desenvolvido durante a evolução humana, pois antes mesmo do aparecimento da escrita as pessoas já faziam o uso dessas plantas (ALMEIDA, 1993). Ao longo da história da civilização, as plantas foram utilizadas não só como fonte de alimentos, mas também para obtenção de remédios, cosméticos, perfumes e venenos. Na história do desenvolvimento humano encontram-se diferentes civilizações, como os gregos, romanos e egípcios que, antes de Cristo, já utilizavam plantas como fins medicinais (AGRA *et al.*, 1994).

O conhecimento das propriedades curativas das plantas, adquirido de forma totalmente empírica e transmitido ao longo do tempo, constituiu-se durante muito tempo como a única forma de conhecimento disponível sobre as plantas e suas características medicinais. A maioria da população dos países em desenvolvimento, ainda utiliza as plantas medicinais como fonte principal para suprir as suas necessidades medicamentosas. Mesmo nos países industrializados, grande porcentagem dos produtos farmacêuticos comercializados provém de produtos naturais e essa proporção se eleva em regiões do mundo como a Ásia, a África e a América Latina, onde vive a maior parte da população mundial (ELIZABETSKY, 1986).

Com os avanços científicos, esta prática milenar perdeu espaço para os medicamentos sintéticos, entretanto, o alto custo destes fármacos e os efeitos colaterais apresentados contribuíram para o ressurgimento da terapia através das plantas, ou fitoterapia (SCHVARTSMAN, 1990).

A fitoterapia ressurgiu como uma opção medicamentosa bem aceita e acessível aos povos de todo o planeta. É tecnicamente apropriada e satisfaz as necessidades locais de centenas de municípios brasileiros. A utilização da fitoterapia alcança uma economia em torno de 300% na produção própria de medicamentos fitoterápicos cientificamente comprovados. É extremamente importante o desenvolvimento de investigação do uso popular de plantas medicinais. Além disso, a difusão e a pesquisa dos medicamentos fitoterápicos devem ser amplamente incentivadas e incorporadas aos sistemas de saúde (ELDIN; DUNFORD, 2001).

A Resolução nº 17/2000 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) estabelece que fitoterápicos são os medicamentos que possuem como substâncias ativas apenas plantas. Além disso, existem dois tipos de fitoterápicos: o tradicional e outro que, não se enquadrando nesse tipo, deverá apresentar testes clínicos e toxicológicos que atestem sua segurança e eficácia. Entre os tradicionais, com registros facilitados pela ANVISA, destacam-se: alcachofra, alho, babosa, boldo-do-chile, calêndula, camomila, confrei, erva-doce, gengibre, hortelã, melissa, maracujá e sene (BRASIL, 2000) (ANEXO A).

O mercado dos fitoterápicos movimenta cerca de US\$ 20 bilhões, sendo a Alemanha o país que mais consome fitoterápicos. No Brasil, esses medicamentos movimentam, aproximadamente, US\$ 500 milhões/ano (CEARÁ, 2011).

Entre as várias razões que propiciaram o rápido crescimento do mercado internacional e o interesse da população pelos medicamentos fitoterápicos, podem ser mencionadas: a preferência dos consumidores por terapias naturais, a preocupação em relação aos efeitos colaterais e menores custos para o consumidor dos medicamentos fitoterápicos (WAGNER, 1999; CALIXTO, 2000).

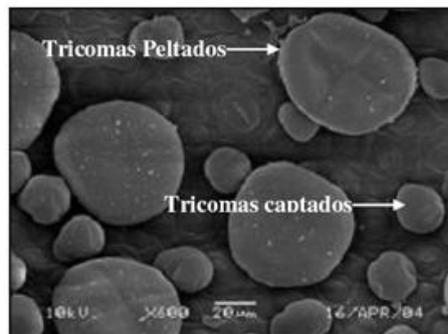
Em 2005, a Itaipu Binacional, localizada no oeste do Paraná, criou um ervanário, com uma estrutura completa para secagem e produção de fitoterápicos. Neste ervanário são feitas a coleta, limpeza, beneficiamento e o controle de qualidade, além da montagem de um kit com 18 tipos de plantas medicinais, que servem para o tratamento das 10 doenças mais comuns da região. Os kits são enviados a postos do Sistema Único de Saúde (SUS). Outra estratégia do programa está em estabelecer uma cadeia de produção junto à agricultura familiar, como alternativa de renda, e de uma rede de distribuição junto às secretarias de saúde municipais (CULTIVANDO ÁGUA BOA, 2011).

Em 2006, o Governo Federal estabeleceu uma Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos, como forma de garantir à população brasileira o acesso seguro e o uso racional de plantas medicinais e fitoterápicos, além de promover o uso sustentável da biodiversidade e o desenvolvimento da cadeia produtiva e da indústria farmacêutica nacional (BRASIL, 2006).

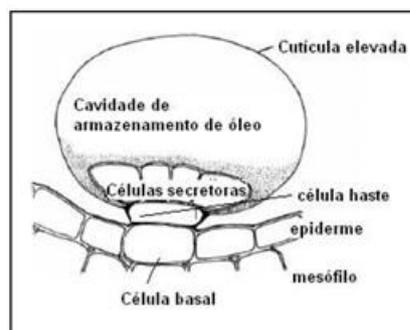
### 3.3 Óleo essencial

Óleos essenciais são frações líquidas e voláteis que contêm as substâncias responsáveis pelo aroma das plantas produzidas pelo metabolismo secundário. Também podem ser chamados de óleos voláteis ou óleos etéreos (SIMÕES; SPITZER, 2003).

Os óleos são armazenados em diferentes estruturas localizadas na epiderme ou mesófilo. Na *Mentha spp.* estes óleos são produzidos e armazenados em estruturas chamadas tricomas glandulares peltados que estão distribuídos na face abaxial das folhas, podendo ocorrer também na face adaxial com menor densidade (DESCHAMPS *et al.*, 2006). Estes tricomas são constituídos por uma célula basal, uma célula haste e um conjunto de células secretoras, envoltas por uma cutícula que dá origem ao reservatório, como as mostradas nas Figuras 2 e 3. Com a expansão foliar a densidade dos tricomas diminui em ambas as faces da folha (TURNER; GERSHENZON; CROTEAU, 2000).



**Figura 2** Tricomas glandulares em tecidos foliares de *Mentha piperita*.  
Fonte: Deschamps *et al.* (2006).



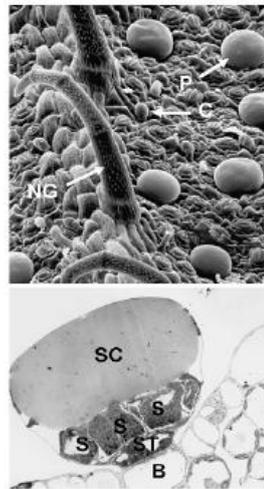
**Figura 3** Componentes de tricoma glandular em *Mentha piperita*.  
Fonte: Turner e Croteau (2004).

A *Mentha piperita* possui um rendimento de 0,7% a 3%, e a seguinte composição química: mentol (30-50%), mentona (14-32%), cineal (6-8%), mentofurano, pineno, limoneno e mentonapiperitona, entre outros. Quando cultivada em períodos de dias longos e noites

curtas, apresenta um maior rendimento de óleo com teor aumentado de mentofurano. Noites frias favorecem a formação de mentol (SCAVRONI *et al.*, 2005).

Sabe-se que as espécies de *Mentha* diferem entre si não somente morfológicamente, mas também na quantidade e qualidade do óleo essencial produzido e armazenado (SILVA *et al.*, 2006). Desta forma, a seleção entre espécies e dentro de uma mesma espécie, visando ao aumento da produção de óleo essencial é uma ferramenta eficiente para os produtores de menta (GRISI *et al.*, 2006).

É possível observar as “bolsas” contendo o óleo essencial por meio de uma micrografia eletrônica, como na Figura 4.



**Figura 4** Micrografia Eletrônica de Tricomas na superfície adaxial da folha de *Mentha x piperita*, na figura superior; Na figura inferior detalhe de um tricoma peltado da mesma folha. NG - tricomas não glandulares; C – tricomas capitados; P – tricomas peltados; SC – cavidade armazenadora; S – célula secretora; ST – célula – haste; B – célula basal.

Fonte: Croteau *et al.* (2005).

A indústria utiliza os componentes da hortelã em produtos aromatizantes de uso oral como: cremes dentais, antissépticos bucais, antiácidos, pastilhas refrescantes, gomas de mascar, licores, aditivos para cremes alimentícios, cigarros, confecção de sabonetes, loções, cremes de barbear, perfumes e medicamentos. Sua ampla aplicação explica porque a menta é a terceira preferência mundial como flavorizante, superada apenas pelas essências de Baunilha e de *Citrus* (MOSCIANO, 2005).

Além disso, o mentol, principal componente da hortelã, é utilizado em formulações farmacêuticas para problemas gastrointestinais e respiratórios, resfriados e dores músculo-esqueléticas (ECCLES, 1994). Sua ação refrescante deve-se ao mecanismo de ativação de um canal catiônico em algumas células identificado como TRPM8 (*transient receptor potential*), o qual também é ativado por baixas temperaturas (PATEL *et al.*, 2007).

O uso terapêutico de óleos essenciais tem se expandido por todo o mundo. O óleo é amplamente utilizado contra várias doenças inflamatórias, alérgicas, reumáticas e artrite. Esses tratamentos são reconhecidos por meio de experimentações clínicas, em especial por aplicação na pele, via massagens e unguentos, mas ainda existem poucos estudos científicos sobre suas ações biológicas. Até então, tem sido estabelecido cientificamente que cerca de 60% dos óleos essenciais possuem propriedades antifúngicas e 35% exibem propriedades antibacterianas (MARUYAMA *et al.*, 2005; OLIVEIRA *et al.*, 2006).

David, Mischan e Board (2007) ressaltam que a busca de substâncias ativas, que possam aumentar a produção de óleos essenciais, é de grande importância, principalmente quando se considera a dependência da indústria farmacêutica nacional.

A concentração do princípio ativo de uma planta pode ser influenciada por fatores genéticos e ambientais. Os genéticos são específicos para cada espécie e os ambientais envolvem a época de plantio, o horário de colheita, o tempo de secagem entre outros (LUZ; EHLERT; INNECCO, 2009).

Com relação ao fator ambiental tempo de secagem, vários pesquisadores têm realizado estudos sobre a influência da secagem na qualidade e no rendimento do óleo essencial de plantas medicinais. Entre eles, os estudos realizados por Martinazzo *et al.* (2010) sobre a influência da secagem para determinar o teor de óleo essencial do capim-limão (*Cymbopogon citratus* D.C Stapf) e Radünz *et al.* (2006) para a hortelã-comum (*Mentha x villosa* hunds), os quais obtiveram o melhor rendimento de óleo na temperatura de secagem de 50 °C, acima desta temperatura houve uma diminuição do teor de óleo.

Em relação à qualidade e ao acondicionamento do óleo essencial, especial atenção deve ser reservada quando da sua aquisição, para se evitar um produto adulterado. Tipicamente, os procedimentos de falsificação são: mistura do óleo essencial com outros da mesma espécie e qualidade inferior, aumentando o rendimento; diluição em um veículo, geralmente um óleo carreador; e adição de compostos sintéticos de baixo preço, diferentes ou iguais a seus respectivos componentes. Quanto ao acondicionamento, por serem fotossensíveis, devem ficar armazenados em frascos de cor âmbar (mais comum) ou azul cobalto. A observação minuciosa da cor, odor, variação de preço, procedência e idoneidade do fornecedor, data de fabricação e de validade são de suma importância (BRUNETON, 1993; LAVABRE, 1997).

### 3.3.1 Métodos de extração do óleo

As técnicas mais empregadas para a extração de óleos essenciais são: extração por arraste a vapor, hidrodestilação, extração com solventes orgânicos, prensagem a frio e extração com fluido supercrítico. Na extração por arraste a vapor, utiliza-se água que, aquecida, gera uma corrente de vapor que permeia o material que contém o óleo, forçando

a quebra das frágeis bolsas intercelulares. Tais bolsas se abrem e liberam o óleo essencial, cujas moléculas evaporam junto com o vapor d'água, passando por um condensador onde ocorre a condensação simultânea do óleo essencial e da água, que são coletados em um recipiente de decantação, onde são separados (BRUNETON, 2001; SIMÕES; SPITZER, 2003).

Watanabe *et al.* (2006), testando os métodos de extração por arraste a vapor e por extração com solvente etanol em *Mentha arvensis*, obtiveram melhores resultados quando comparados com o segundo método extração com solvente. Com a extração por arraste a vapor o rendimento de óleo essencial foi em torno de 0,5%, enquanto que por solvente atingiu 3,9%. A porcentagem de mentol extraída também foi melhor no método com etanol: 75% e somente 58% alcançados pelo outro método. Entretanto, os autores afirmam que a escolha do método de extração deve levar em conta também o custo-benefício do processo, uma vez que a extração por solvente etanol é mais cara que por arraste de vapor.

Outros métodos podem ser utilizados para a obtenção desses óleos, como por exemplo: extração por soxhlet; extração por maceração e a extração por ultrassom (WATANABE *et al.*, 2006).

### **3.4 Considerações sobre a secagem de plantas medicinais e aromáticas**

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.

Segundo Lorenzi e Matos (2002), nas espécies medicinais a secagem é uma operação unitária de preparação para o armazenamento, a fim de atender às necessidades da indústria farmacêutica de fitoterápicos que não tem estrutura para usar as plantas frescas nas quantidades exigidas para a produção industrial.

Os constituintes voláteis aromáticos presentes nas plantas medicinais são os componentes mais sensíveis ao processo de secagem. O efeito da secagem sobre a composição de substâncias voláteis tem sido pesquisado, buscando-se demonstrar que as variações nas concentrações de seus constituintes, durante a secagem, dependem de vários fatores, tais como o método de secagem, temperatura do ar de secagem, características fisiológicas, além de conteúdo e tipo de componentes químicos presentes nas plantas submetidas à secagem (VENSKUTONIS, 1997).

Diversos são os tipos de secagem e sua escolha é ditada pela natureza do produto a ser desidratado, pela qualidade e forma que se deseja dar ao produto processado, pelo fator econômico e pelas condições de operação. Os equipamentos de secagem podem ser classificados de acordo com o fluxo de carga e descarga (contínuo ou descontínuo); pressão utilizada (atmosférica ou vácuo); métodos de aquecimento (direto ou indireto); e com o sistema utilizado para fornecimento de calor (convecção, condução ou radiação) (MUJAMDAR, 1995).

Segundo Nagao *et al.* (2005), a secagem pode ser realizada em condições ambiente ou artificialmente, com uso de estufa, secadora etc. A secagem natural é um processo lento, que deve ser conduzido à sombra, em local ventilado, protegido de poeira e do ataque de insetos e outros animais. Este processo é recomendado para regiões que tenham condições climáticas favoráveis, relacionadas principalmente à alta ventilação e temperatura, com baixa umidade relativa, caso típico da região do nordeste brasileiro, principalmente durante a estação seca (verão).

Em estudos conduzidos por Costa, Casali e Andrade (1999), a secagem natural foi comparada com outros dois métodos: estufa e sala com desumidificador. Na secagem natural, os autores observaram que as plantas apresentaram aparência e aroma inadequados e inferiores aos outros tratamentos.

A secagem com ar aquecido e com baixa umidade relativa é a técnica mais utilizada em diversas regiões de clima úmido e chuvoso. O aquecimento do ar pode ser realizado em secadores ou estufas. O tempo de secagem nesses equipamentos é de poucas horas, originando um material de melhor qualidade. É recomendado para produções em grande escala. Os limites de temperatura do ar de secagem são determinados em função da sensibilidade dos compostos químicos presentes nas plantas e das estruturas armazenadoras. Os modelos de secadores comumente utilizados são os de bandeja, de túnel e com fita transportadora (ALONSO, 1998; MUÑOZ, 2002).

Segundo Costa, Casali e Andrade (1999), as plantas medicinais normalmente são submetidas ao processo de secagem com um teor médio de umidade de 85%, reduzida a um teor médio de 11%. Com temperatura do ar de secagem variando de 30 a 50 °C, são consumidas em média 10.000 kJ.kg<sup>-1</sup> de água removida.

Em seus estudos, Rocha, Ming e Marques (2000) analisaram as temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70 °C na secagem de citronela (*Cymbopogon winterianus* Jowitt) e concluíram que os melhores resultados foram obtidos quando a temperatura do ar de secagem foi de 60 °C, pois apresentou o menor tempo de secagem e o maior rendimento na extração de óleo essencial, sem influenciar sua qualidade.

Melo, Radünz e Melo (2004), em uma revisão sobre a influência da secagem na qualidade de plantas medicinais, verificaram que a quantidade e a qualidade do princípio ativo extraído da planta são afetadas pela temperatura do ar de secagem, e observaram que

é possível empregar temperaturas superiores a 40 °C para o ar de secagem. Obtiveram resultados que confirmam a necessidade de se estabelecer valores de temperatura diferenciados para cada espécie em estudo.

As características específicas de cada produto, associadas às propriedades do ar de secagem e ao meio de transferência de calor adotado, determinam diversas condições de secagem. Entretanto, a transferência de calor e de massa entre o ar de secagem e o produto é fenômeno comum a qualquer condição de secagem. De acordo com Park, Yado e Brod (2001), o processo de secagem, baseado na transferência de calor e de massa, pode ser dividido em três períodos.

O primeiro período representa o início da secagem. Neste, ocorre uma elevação gradual da temperatura do produto e da pressão interna de vapor de água. Essas elevações prosseguem até o ponto em que a transferência de calor seja equivalente à transferência de massa (água).

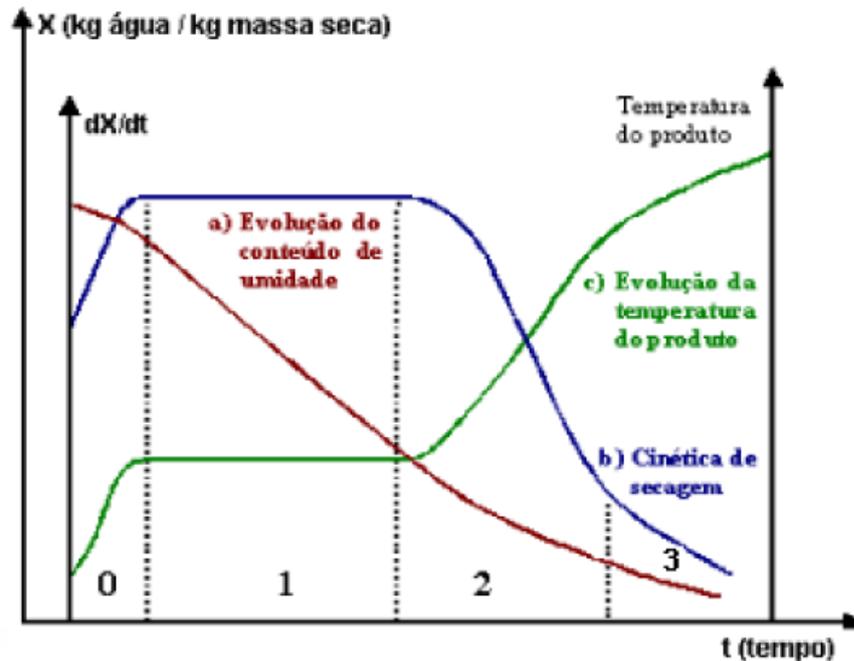
O segundo período caracteriza-se pela taxa constante de secagem. A água evaporada é a água livre. São as transferências de calor e de massa na interface ar-produto que governam a secagem. Enquanto houver água suficiente na superfície do produto, para acompanhar a evaporação, a taxa de secagem será constante. Há um decréscimo no diâmetro dos poros e capilares e, conseqüentemente, um decréscimo de volume do produto, aproximadamente, igual ao volume da água evaporada.

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. A transferência de calor não é compensada pela transferência de massa. O fator limitante nesta fase é a redução da migração de umidade do interior para a superfície do produto. Quando o produto atinge o ponto de umidade de equilíbrio, em relação ao ar de secagem, o processo é encerrado (DAUDIN, 1983; SILVA, 1995; PARK; YADO; BROD, 2001).

A secagem de um material ou matéria-prima sólida pode apresentar comportamento que pode variar em função da estrutura do material e das condições de secagem. Ao se traçar um gráfico do conteúdo de umidade de um material (kg água / kg massa seca), durante um processo de secagem em função do tempo, obtém-se para a maioria dos materiais uma curva como a apresentada pela curva (a) de coloração vermelha da Figura 5, na qual se distinguem quatro regiões: 0, 1, 2 e 3. A partir destes dados, pode-se construir, por diferenciação, a curva da velocidade ou taxa de secagem em função do tempo de secagem, ou seja, a cinética de secagem do material em estudo, que está representada pela curva (b) de coloração azul na Figura 5 (AGUIRRE; GASPARINO FILHO, 2002; PARK; YADO; BROD, 2001).

Na Figura 5 tem-se ainda, representada pela coloração verde e letra (c), a curva da evolução da temperatura do produto durante a secagem. As diferentes formas encontradas

para estas curvas, de acordo com os diversos tipos de materiais utilizados, resultam das diferenças encontradas no mecanismo de secagem (AGUIRRE; GASPARINO FILHO, 2002; PARK; YADO; BROD, 2001).



**Figura 5** Curvas típicas de secagem.

Fonte: Adaptado de Park, Yado e Brod (2001).

Para a correta condução das operações de secagem de um produto é necessário o conhecimento das relações existentes entre a temperatura e a umidade relativa do ar e das condições desejáveis de conservação do produto, o que é determinado por meio da umidade de equilíbrio (OZTEKIN *et al.*, 1999).

A secagem é um dos métodos mais utilizados para a preservação da qualidade dos produtos agrícolas e a sua principal vantagem, em relação a outros métodos de conservação, é o seu baixo custo e simplicidade de operação (MARTINAZZO *et al.*, 2007).

Durante a secagem, a perda de umidade ocorre devido à movimentação da água que resulta de uma diferença de pressão de vapor d'água entre a superfície do produto e o ar que o envolve. Para que um produto seja submetido ao fenômeno de secagem, é necessário que a pressão parcial de vapor d'água em sua superfície seja maior do que a pressão parcial do vapor d'água no ar de secagem (CARVALHO, 1994).

A taxa de secagem relaciona-se à velocidade de movimentação da água do interior do produto para a sua superfície e depende, fundamentalmente, da umidade relativa, da temperatura e do fluxo de ar empregado, além das características físicas e químicas do produto (BROOKER; BAKER-ARKEMA; HALL, 1992).

Várias teorias e fórmulas empíricas foram desenvolvidas para prever a taxa de secagem: Teoria difusional, Teoria capilar, Teoria de Luikov, Teoria de Philip e de Vries, Teoria de Krisher–Berger e Pei e Teoria da condensação–evaporação. As duas primeiras são básicas e fundamentam as outras teorias. A teoria da difusão líquida fundamenta-se exclusivamente sobre a lei de Fick, que expressa que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água. Conforme Park, Vohnikoza e Brod (2002) e Romero-Peña e Kieckbusch (2003), a velocidade de deslocamento da umidade pode ser expressa por:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial U}{\partial x} \right) \quad (1)$$

Em que:

U = teor de umidade (decimal, b.s);

D = coeficiente de difusão da fase líquida aplicada ao movimento ( $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ );

t = tempo (s);

x = distância em relação a um ponto de referência do corpo (m).

Crank (1975) calculou um grande número de soluções da equação da difusão para condições iniciais e de contorno variadas. Estas soluções se aplicam aos sólidos de formas geométricas simples (corpos semi-infinitos; placas, cilindros e esferas), quando a difusividade é constante ou varia linearmente ou exponencialmente com a concentração de água.

Uma placa plana com espessura (2L), com um teor de umidade inicial (U<sub>i</sub>), que é submetida à secagem com ar em condições constantes pode ser descrita pela teoria de Fick, com as seguintes condições inicial e de contorno (CRANK, 1975):

Umidade inicial uniforme  $U(x,t) = U(x,0) = U_o$  ;

Umidade máxima no centro  $\left. \frac{\partial U}{\partial x} \right|_{x=0} = 0$  ;

Umidade constante na superfície  $U(x,t) = U(L,t) = U_{eq}$  .

Aplicando

$$\bar{U} = \frac{1}{L} \int_0^L U(x,t) dx$$

Torna-se

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

O coeficiente de difusão (Def) é uma difusividade efetiva que engloba os efeitos de todos os fenômenos que podem intervir sobre a migração da água e seu valor é sempre obtido pelo ajuste de valores experimentais. Pode-se entender a difusividade como a facilidade com que a água é removida do material. Como a difusividade varia, conforme mudam as condições de secagem (temperatura e velocidade do ar), ela não é intrínseca ao material. Convencionou-se, então, chamá-la de difusividade efetiva (OLIVEIRA; OLIVEIRA; PARK, 2006).

### 3.5 Modelos matemáticos para descrever a secagem

A modelagem matemática do sistema de secagem de plantas medicinais e aromáticas possibilita analisar e determinar o comportamento do secador, procurando preservar as características naturais das plantas e buscar uma alta eficiência durante a secagem (PRATES *et al.*, 2007).

Para a escolha de um sistema adequado de secagem, deve-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; YADO; BROD, 2001).

A utilização de modelos matemáticos para prever o fenômeno de secagem em diversos produtos, incluindo plantas medicinais, tem sido objeto de diversos estudos (CORRÊA *et al.*, 2007; SILVA; PARK; MAGALHÃES, 2007; RESENDE *et al.*, 2008; PONTES *et al.*, 2009; MARTINAZZO *et al.*, 2010; REIS *et al.*, 2011). Os modelos utilizados são teóricos, empíricos e semiempíricos.

Segundo Brooker, Baker-Arkema e Hall (1992), os métodos teóricos normalmente consideram as condições externas sob as quais a operação ocorre, como também os mecanismos internos de transferência de energia e massa e seus efeitos. Dependendo do material que se está secando, a umidade pode movimentar-se no seu interior, por mecanismos diferentes. Em produtos capilares porosos, como a maioria dos produtos de origem agrícola, os possíveis mecanismos de transporte de umidade são: difusão líquida, difusão capilar, difusão de superfície, fluxo hidrodinâmico, difusão de vapor e difusão térmica. A teoria da difusão líquida tem sido amplamente empregada na área de secagem,

embora existam algumas suposições a serem consideradas para sua aplicação, como: redução do volume desprezada, não existência do efeito de capilaridade, equilíbrio térmico instantâneo com o ar e os efeitos da transferência de energia e massa de um corpo para outro, admitidos como desprezíveis.

Os modelos teóricos que descrevem a taxa decrescente de secagem de um sólido consideram, geralmente, como mecanismo principal, a difusão baseada na segunda Lei de Fick, que expressa que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água e a um coeficiente de difusão de água no sólido (PARK; VOHNIKOZA; BROD, 2002; ROMERO-PEÑA; KIECKBUSCH, 2003).

O método empírico é um método de abordagem com base em dados experimentais e na análise adimensional. Os modelos empíricos de secagem apresentam uma relação direta entre o conteúdo médio de umidade e o tempo de secagem; omitem os fundamentos do processo de secagem e seus parâmetros não têm significado físico, conseqüentemente, não oferecem uma visão apurada dos processos importantes que ocorrem durante o fenômeno, embora descrevam as curvas de secagem para determinadas condições experimentais (KEEY, 1972). Entre esses modelos, tem-se o de Wang e Singh (1978), tradicionalmente utilizado nos estudos de secagem de produtos agrícolas e de alimentos.

Com relação ao desenvolvimento de modelos semiteóricos, que concorrem para que haja harmonia entre a teoria e a facilidade de uso. Tais modelos se baseiam, de modo geral, na Lei de Newton para resfriamento, aplicada à transferência de massa. Quando se aplica esta lei, presume-se que as condições sejam isotérmicas e que a resistência à transferência de umidade se restrinja apenas à superfície do produto (BROOKER; BAKER-ARKEMA; HALL, 1992).

Entre os modelos semiteóricos, o modelo de dois termos, o de Henderson e Pabis, o de Lewis, o de Page e o de Page Modificado têm sido amplamente utilizados. Porém, estes modelos negligenciam os fundamentos do processo de secagem e seus parâmetros não têm nenhum significado físico. No entanto, apesar de não darem uma visão clara e precisa dos fenômenos que acontecem durante a secagem, eles podem descrever a curva de secagem, para as condições em que foi realizado o estudo (PANCHARIYA; POPOVIC; SHARMA, 2002).

De acordo com Queiroz, Pereira e Melo (1985), pesquisas relacionadas ao estudo da cinética de secagem em camada delgada, são realizadas com diversos produtos agrícolas, como: sementes, grãos, frutos e em algumas espécies de plantas, com importância econômica. Observa-se, conforme o produto e as condições do processo de secagem, que os diferentes modelos se ajustam a cada situação específica.

### 3.6 Qualidade das plantas medicinais e aromáticas

A qualidade das plantas medicinais e aromáticas é obtida durante todo o processo produtivo (pré-colheita), desde a identificação botânica, escolha do material vegetal, época e local de plantio, tratamentos culturais, determinação da época de colheita e cuidados na colheita, de modo a garantir o máximo da qualidade para o produto. Não é possível melhorar esta qualidade pelo processamento pós-colheita, mas minimizar suas perdas. A pós-colheita de um produto agrícola é o conjunto de processos realizados visando preservar a qualidade do produto, adquirida por meio de técnicas adequadas de cultivo, para aumentar o período de conservação deste produto (MARCHESE; FIGUEIRA, 2005).

Portanto, o processamento pós-colheita inicia já na colheita, observando-se o uso de mão-de-obra e equipamentos adequados; a separação da parte de interesse, eliminando-se partes deterioradas e materiais estranhos; o processo da secagem; nova separação do produto; a embalagem e o armazenamento. De nada adianta, porém, observar que os procedimentos durante a colheita e o processamento pós-colheita sejam adequados (no sentido de se preservar a qualidade do material vegetal) se, durante o processo produtivo (pré-colheita), não se verificam os mesmos cuidados (MARCHESE; FIGUEIRA, 2005).

Como parâmetros de qualidade para plantas medicinais e aromáticas pode-se citar: a) quantidade e qualidade dos princípios ativos; b) características sensoriais (sabor e odor); c) características visuais (aparência e coloração) d) contaminação microbiana (ALLONG; WICKHAM; MOHAMMED, 2000).

Segundo Allong, Wickham e Mohammed (2000), mais importante que a alteração de cor é a alteração de sabor, que é acompanhada de deterioração visual. A redução da intensidade do sabor desejada é seguida do aparecimento de gosto azedo, de forma que a ação de ambos contribui para inutilizar o produto como condimento.

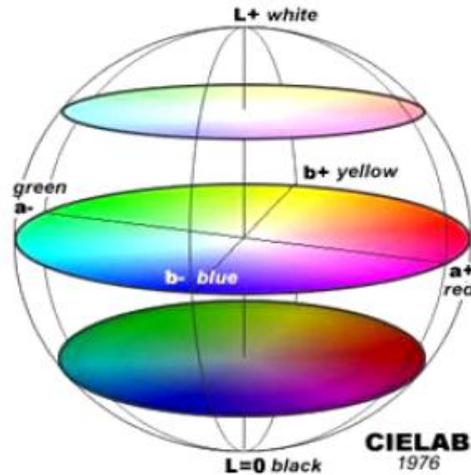
Quando o material não é seco adequadamente há disponibilidade de água para o crescimento de microorganismos e meio propício para ocorrência de reações como: escurecimento, oxidação, e hidrólise, comprometendo, assim, a qualidade do material (LUZ; EHLERT; INNECCO, 2009).

#### 3.6.1 Cor

Os métodos disponíveis para a medida da cor vão de uma simples comparação visual com um padrão, a sofisticados instrumentos denominados colorímetros e espectrofotômetros. A utilização de instrumentos para medição de cor tem a vantagem de eliminar o aspecto subjetivo da avaliação visual (MARTINAZZO; CORRÊA; MELO, 2008).

Outro método, para a análise da cor é o sistema CIELAB 1976 (COMISSÃO INTERNACIONAL DE ILUMINANTES) (Figura 6) que, atualmente, apresenta a maior aceitação, pois é o mais indicativo da percepção sensorial (ALONSO-SALCES *et al.*, 2005).

Este sistema mede o grau de luminosidade ( $L^*$ ) que é a relação entre a luz refletida e absorvida, cromaticidade vermelha/verde ( $\pm a^*$ ) e cromaticidade amarela/azul ( $\pm b^*$ ). A cor, representada no sistema de coordenadas retangulares ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), mostra variáveis dependentes e de difícil interpretação, quando avaliadas separadamente.



**Figura 6** Esquema tridimensional para medição de cores CIELAB 1976.

Fonte: Handprint (2005).

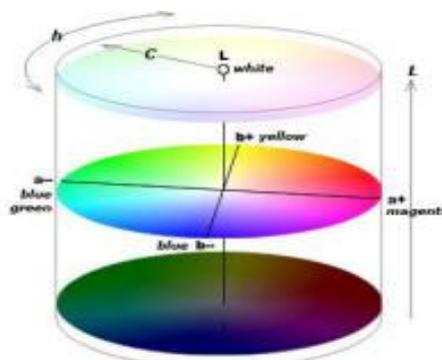
A maneira mais apropriada para a interpretação dos resultados com relação a cor é pela transformação em coordenadas polares de acordo com as Equações 2 e 3.

$$H^* = \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right) \quad (2)$$

$$C^* = \sqrt{[(a^*)^2 + (b^*)^2]} \quad (3)$$

O ângulo de coloração ou tom ( $H^*$ ) é o aspecto da cor mais familiar que pode ser descrito, pois identifica cores como: vermelho, verde, azul ou amarelo. Inicia no eixo  $+a^*$  e é expresso em graus:  $0^\circ$  para vermelho ( $+a^*$ ),  $90^\circ$  para amarelo ( $+b^*$ ),  $180^\circ$  para verde ( $-a^*$ ) e  $270^\circ$  para azul ( $-b^*$ ). O índice de croma ( $C^*$ ) indica a intensidade ou pureza do tom,

independente de quão clara ou escura é a cor. Quanto maior é o seu valor mais intensa ou altamente cromática é a cor, parecendo luminosa ou concentrada, enquanto que valores baixos (acromático) indicam cor acinzentada, fraca ou diluída como é apresentada na Figura 7 (HILL; ROGER; VORHAGEN, 1997; GONNET, 1998).



**Figura 7** Esquema para observação de H\* (ângulo de coloração), C\* (índice de croma), L\* (claro-escuro), a\* (verde – vermelha) e b\* (azul-amarelo).

Fonte: Handprint (2005).

A localização das cores das amostras no espaço colorimétrico e até mesmo a estatística não são suficientes para expressar se as diferenças de cor podem ser distinguidas visualmente, mas estas diferenças podem ser calculadas pelas distâncias entre dois pontos no espaço tridimensional ( $\Delta E$ ), definidos pelos parâmetros  $a^*$ ,  $b^*$  e  $L^*$ . Matematicamente, o parâmetro colorimétrico  $\Delta E$  é descrito pela Equação 4:

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (4)$$

Em que:

$\Delta L^*$  = positivo mais claro;

$\Delta L^*$  = negativo mais escuro;

$\Delta a^*$  = positivo mais vermelho (menos verde);

$\Delta a^*$  = negativo mais verde (menos vermelho);

$\Delta b^*$  = positivo mais amarelo (menos azul);

$\Delta b^*$  = negativo mais azul (menos amarelo).

Martinazzo *et al.* (2010) utilizaram a escala CIELAB, para avaliar a cor das folhas de capim-limão durante o processo de secagem.

Com relação à qualidade de produtos vegetais, a coloração é um atributo sensorial importante, pois o consumidor também toma decisões de compra baseado na aparência do produto. Além de a coloração ser empregada como um índice de maturação de frutas e

hortaliças mostra a ocorrência de danos mecânicos ou injúrias (KAKIOMENOU; TASSOU; NYCHAS, 1996).

As injúrias mecânicas são a causa primária de perdas pós-colheita para alguns produtos hortícolas e podem ocorrer em qualquer ponto da cadeia de produção, beneficiamento ou comercialização (KAYS, 1991). Podem resultar em deformações plásticas, rupturas superficiais, chegando até a destruição dos tecidos vegetais. Além dos danos diretos, a incidência de ferimentos em frutas e hortaliças pode levar a um aumento de doenças de pós-colheita e alterações fisiológicas e químicas, como a respiração, síntese de etileno, cor, aroma, sabor, textura e outros (HONÓRIO; MORETTI, 2002).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios de secagem foram realizados no Laboratório de Armazenagem e Protótipos de Instalações de Secagem (LAPIS), do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CCET), da Universidade Estadual do Oeste do Paraná. As análises de coloração foram realizadas no Laboratório de Controle de Qualidade de Produtos Agrícolas LACON e as análises químicas, envolvendo a extração do óleo foram realizadas no Laboratório de Farmacognosia e Fitoquímica, nas dependências, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, durante o ano de 2011.

### 4.1 Material vegetal

Foram utilizadas plantas de *Mentha piperita* L. devidamente cultivadas no *campus* da UNIOESTE, conduzidas com tratamentos culturais adequados e adubação orgânica. Foram plantadas em solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (EMBRAPA, 1999), sendo o clima da região considerado temperado mesotérmico e superúmido, tipo climático Cfa (Köppen) e com temperatura média anual de 21 °C, a uma latitude 24° 59' Sul, longitude de 53° 26' Oeste com altitude de 682 metros. O transplante das mudas de *Mentha piperita* foi realizado no dia 20 de junho de 2011 e a colheita foi realizada nos dias 14 e 16 de setembro de 2011. Para a realização do experimento, foi utilizado um total de 650 g de folhas.

### 4.2 Colheita

As folhas da hortelã-pimenta foram colhidas em duas etapas, pois a secagem foi realizada com variações de temperatura e de velocidade do ar, assim a primeira colheita foi aos oitenta e cinco dias e a segunda aos oitenta e sete dias após o transplante (EMBRAPA, 2007). Foram colhidas manualmente com auxílio de tesoura de poda no horário das 7:15 às 8:00 horas, devido à maior concentração do óleo essencial nestes horários.

### 4.3 Seleção, determinação do teor de umidade e acondicionamento

Antes de se iniciarem os processos de secagem, o material coletado foi selecionado para obtenção das folhas íntegras e saudáveis. Após a seleção, pesaram-se 57 g de folhas que

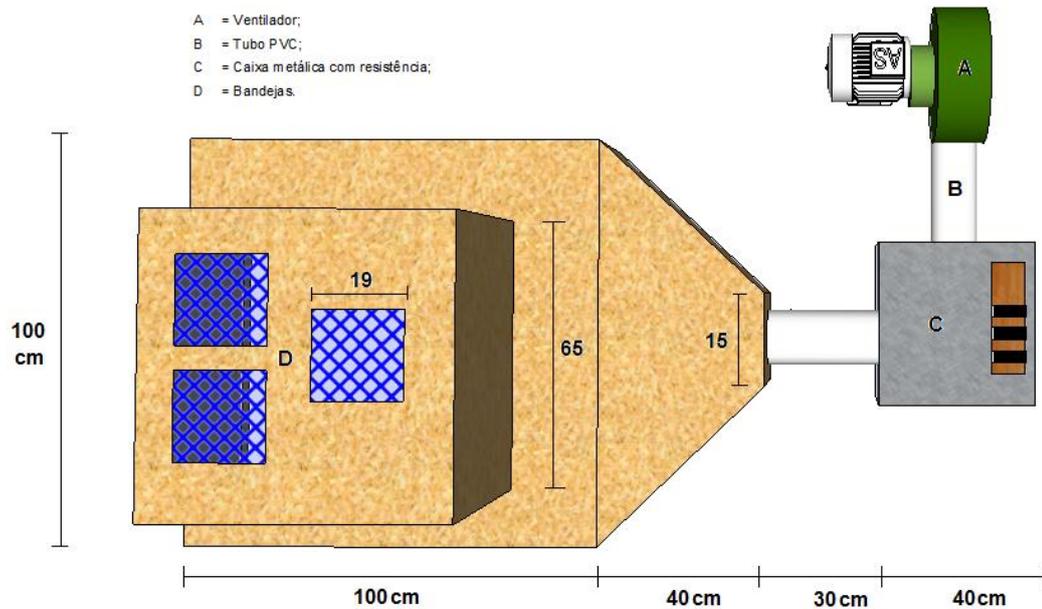
foram colocadas em sacos plásticos, armazenados na B.O.D a 5 °C. Desta forma, realizou-se um sorteio para verificar a ordem da secagem para a velocidade do ar a  $0,5 \text{ m.s}^{-1}$  e para a velocidade do ar a  $0,3 \text{ m.s}^{-1}$ .

O teor de água da hortelã foi determinado imediatamente após a coleta e ao final do processo de secagem, empregando-se o método gravimétrico encontrou-se uma umidade de 77%. A determinação do teor de umidade de folhas de plantas medicinais e aromáticas usando métodos de estufa é dificultada, porque na remoção da água livre alguma quantidade de água de constituição e materiais voláteis são liberados (VEASEY, 1971). Por esta razão, utilizou-se a estufa para secagem em temperatura de 70 °C por 24 horas.

#### **4.4 Experimento de secagem**

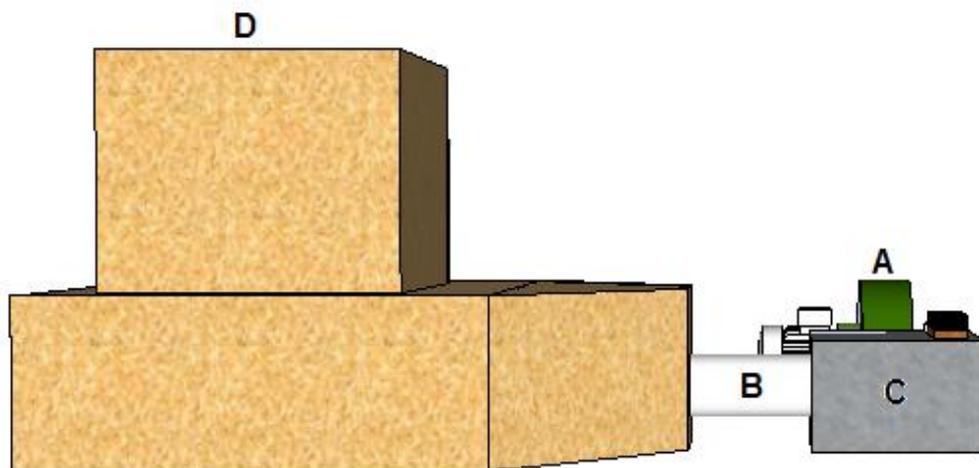
##### **4.4.1 Secador**

Para realização da secagem das folhas, utilizou-se um secador de camada fixa em escala de laboratório, dotado de um ventilador de fluxo axial. Na parte superior do secador foram colocadas três bandejas quadradas perfuradas e removíveis, com área de  $361 \text{ cm}^2$  e malha de 2,75 mm. O secador (Figura 8) era constituído por um ventilador centrífugo de 1 cv. O aquecimento do ar foi feito por meio de três resistências elétricas, com as seguintes potências 1322 W, 2640 W e 8000 W. Duas resistências foram ligadas diretamente na rede de energia e a terceira foi ligada a um controlador responsável pelo seu acionamento, quando a temperatura de secagem estivesse abaixo ou acima do valor especificado. As temperaturas analisadas foram de 30, 40, 50, 60 e 70 °C, com variação da velocidade do ar de  $0,30 \text{ m.s}^{-1}$  e  $0,50 \text{ m.s}^{-1}$ , com a umidade relativa do ar monitorada por um psicrômetro.



**Vista Superior**

**Figura 8** Vista superior secador de camada fixa, utilizado na determinação das curvas de secagem, com dimensões em centímetro.



**Vista Longitudinal**

**Figura 9** Vista longitudinal do secador de camada fixa, utilizado na determinação das curvas de secagem, com dimensões em centímetro.

#### 4.4.2 Monitoramento do processo de secagem

Para a realização da secagem foram utilizadas 57 g de folhas da hortelã-pimenta por tratamento e, durante o processo de secagem, foram realizadas pesagens periódicas a fim de calcular o teor de umidade das amostras (folhas) e determinar o conteúdo adimensional

de umidade. Para realizar as pesagens foi utilizada uma balança analítica modelo BG8000 - GehaKa, com precisão de 0,1 g. As pesagens foram feitas a cada 5 min na primeira meia-hora, a cada 10 min de 30 a 120 min, a cada 15 min de 120 a 180 min e a cada 30 min a partir de 180 min.

A secagem foi interrompida quando o teor de água do produto atingiu o valor de 11% b.u. (MARTINS *et al.*, 1994). Após a secagem do material vegetal, foi retirada uma parte para as análises de cor e para a extração do óleo essencial. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado com três repetições. Os tratamentos foram dispostos em um esquema fatorial 5 x 2, cinco temperaturas e duas variações de velocidade do ar.

O monitoramento da temperatura, durante a secagem, foi realizado por meio de termopares do tipo T, em que um dos fios do termopar ficou entre as bandejas, verificando a temperatura interna do sistema de secagem, e outro fio ficou fora do secador (sistema de secagem) para verificar a temperatura ambiente. A umidade relativa do ar foi determinada por meio de um psicrômetro.

A velocidade do ar de secagem foi determinada utilizando-se um anemômetro de pás rotativas Airflow Modelo LCA6000, posicionado na saída das bandejas, localizadas no topo da câmara de secagem.

O monitoramento das condições da secagem é descrito nas Tabelas 1 e 2, com informações para a velocidade a 0,3 m.s<sup>-1</sup> e 0,5 m.s<sup>-1</sup>.

**Tabela 1** Condições médias do ar e das folhas de *Mentha piperita* para temperaturas de secagem de 30, 40, 50, 60 e 70 °C com velocidade do ar 0,3 ms<sup>-1</sup>

Teste	1	2	3	4	5
Temperatura ambiente (°C)	26	24	27	30	30
Umidade ambiente do ar de secagem (%)	55	30	18	15	0,8
Temperatura de secagem (°C)	30	40	50	60	70
Velocidade do ar de secagem (m.s <sup>-1</sup> )	0,3	0,31	0,3	0,3	0,32
Teor de água inicial do produto (°C)	77	77	77	77	77
Teor de água final (%b.s)	13,40	12,10	11,90	13,00	13,10

**Tabela 2** Condições médias do ar e das folhas de *Mentha piperita* para temperaturas de secagem de 30, 40, 50, 60 e 70 °C com velocidade do ar 0,5 ms<sup>-1</sup>

Teste	1	2	3	4	5
Temperatura ambiente (°C)	26	28	27	25	25
Umidade ambiente do ar de secagem (%)	40	33	20	10	0,5
Temperatura de secagem (°C)	30	40	50	60	70
Velocidade do ar de secagem (m.s <sup>-1</sup> )	0,48	0,47	0,51	0,5	0,48
Teor de água inicial do produto (°C)	77	77	77	77	77
Teor de água final (%b.s)	11,70	12,92	13,90	11,60	12,60

#### 4.4.3 Modelagem do processo de secagem

As curvas de secagem foram ajustadas aos dados experimentais utilizando-se diferentes equações empíricas e semiempíricas, citadas na literatura, conforme apresentado na Tabela 3.

**Tabela 3** Modelos de regressão não-linear utilizados para prever o fenômeno de secagem em camada delgada de folhas de *Mentha piperita*

Designação do Modelo	Modelo	Equação
Page	$RU = \exp(-k.t^n)$	(5)
Henderson e Pabis	$RU = a.\exp(-k.t)$	(6)
Midilli	$RU = a.\exp(-k.t^n) + b.t$	(7)
Wang e Sing	$RU = 1 + a.t + b.t^2$	(8)
Page modificado	$RU = \exp[-(k.t)^n]$	(9)
Newton	$RU = \exp(-k.t)$	(10)
Logarítmico	$RU = a.\exp(-k.t) + c$	(11)
Henderson & Pabis Modificado	$RU = a.\exp(-k.t) + b.\exp(-k_0.t) + c.\exp(-k_1.t)$	(12)
Exponencial de dois termos	$RU = a.\exp(-k.t) + (1 - a)\exp(-k.a.t)$	(13)
Dois termos	$RU = a.\exp(-k_0.t) + b.\exp(-k_1.t)$	(14)
Aproximação da difusão	$RU = a.\exp(-k.t) + (1 - a)\exp(-k.b.t)$	(15)

Fontes: Madamba, Driscoll e Buckle (1996), Doymaz (2004) e Mohapatra e Rao (2005).

Para o cálculo da razão de umidade (RU), durante as secagens nas diferentes temperaturas, foi utilizada a seguinte equação:

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} \quad (16)$$

Em que:

U = teor de água do produto, decimal b.s;

U<sub>i</sub> = teor de água inicial do produto, decimal b.s;

U<sub>e</sub> = teor de água de equilíbrio do produto, decimal b.s.

Determinou-se a umidade de equilíbrio higroscópico (U<sub>e</sub>) pela Equação 17, proposta por Corrêa *et al.* (2002) para plantas medicinais, com seus parâmetros determinados pelo processo de dessorção.

$$U_e = \frac{1}{(aT^b + UR^c)} \quad (17)$$

Em que:

T = temperatura do ar de secagem (°C);

UR = umidade relativa do ar (decimal);

a,b,c = constantes que dependem da natureza do produto.

Para a hortelã-pimenta a = -1,0484, b = -0,0221 e c = -0,0628.

O coeficiente de difusão efetivo foi obtido pelo ajuste do modelo matemático da difusão líquida, descrito pela Equação 18, aos dados experimentais da secagem da hortelã-pimenta. Esta equação é a solução analítica para a segunda lei de Fick, considerando-se a forma geométrica do produto como aproximação a uma placa plana, uma vez que a folha da hortelã-pimenta lembra um plano (BROOKER; BAKER-ARKEMA; HALL, 1992).

$$RU = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[ - (2n+1)^2 \pi^2 Def \frac{t}{4L^2} \right] \quad (18)$$

Em que:

Def = coeficiente de difusão efetivo, m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>;

t = tempo de secagem (h);

L = espessura do produto (mm).

No caso da hortelã-pimenta: L = 0,241 mm, medido em paquímetro digital.

A solução analítica dessa equação apresenta-se na forma de uma série infinita e, portanto, o número finito de termos (n) no truncamento poderá determinar a precisão dos resultados. Para avaliar a influência da temperatura no coeficiente de difusão efetivo, utilizou-se a Equação de Arrhenius, descrita na Equação 19.

$$Def = D_o \cdot \exp \left( - \frac{E_a}{RT_a} \right) \quad (19)$$

Em que:

D<sub>o</sub> = fator pré-exponencial (m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>);

E<sub>a</sub> = energia de ativação (J mol<sup>-1</sup>);

R = constante universal dos gases (8,314 J mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>);

T<sub>a</sub> = temperatura absoluta (K).

#### 4.4.4 Análise estatística

Para o ajuste dos modelos matemáticos de secagem e de equilíbrio higroscópico, aos dados experimentais, foi realizada a análise de regressão não linear, pelo método Simplex e Quase – Newton, utilizando-se o *software Statistics 7.0*, (STATSOFT INC, 2007) e, para melhorar o ajuste dos modelos, utilizou-se o *software Excel*, ferramenta Solver. O grau de ajuste para cada condição foi considerado a significância do coeficiente de regressão pelo teste t, adotando-se o nível de 5% de probabilidade. Os valores dos parâmetros dos modelos foram estimados em função da temperatura do ar de secagem.

Os dados experimentais foram comparados com os valores estimados para cada modelo pelo erro médio relativo (P) e erro médio estimado ( $\mathcal{E}$ ), conforme descrito nas Equações 20 e 21 (CORRÊA *et al.*, 1998):

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \right) \quad (20)$$

$$\mathcal{E} = \sqrt{\frac{\sum (Y - Y_0)^2}{GLR}} \quad (21)$$

Em que:

Y = valor observado experimentalmente;

$Y_0$  = valor calculado pelo modelo;

GLR = graus de liberdade do modelo (número de observações experimentais).

Os modelos foram selecionados pela magnitude do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), a magnitude dos erros médio relativo e estimado (CORRÊA *et al.*, 2002, CORRÊA *et al.*, 2006).

## 4.5 Avaliação da qualidade do produto seco

### 4.5.1 Cor

A degradação da cor verde foi avaliada durante o processo de secagem. Realizou-se a quantificação da cor pela leitura direta de reflectância das coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ,

empregando-se a escala CIELAB em colorímetro tristímulo para o iluminante  $10^{\circ}/D_{65}$ . O colorímetro utilizado foi o CR - 410 Konica Minolta. Para cada repetição foram realizadas leituras em triplicata.

Os valores de  $H^*$  e  $C^*$  foram calculados de acordo com as Equações 2 e 3 e para a diferença de cor utilizou-se a Equação 4.

Foi realizada a análise de variância, verificando-se qual das variáveis – temperatura e velocidade do ar - foi significativa ao nível de 5% de significância. Após esta análise utilizou-se o *software Sisvar* (FERREIRA, 2010), para o teste de média, utilizando 5% de significância pelo teste Tukey.

#### 4.5.2 Quantificação do teor de óleo

A extração do óleo essencial foi feita por meio de hidrodestilação, utilizando-se o aparelho de Clevenger, adaptado a um balão de fundo redondo com capacidade de 500 mL (MING *et al.*, 1996), com aquecimento mantido na temperatura mínima necessária à ebulição. Utilizaram-se para as folhas secas, amostras de 14 g e para as folhas frescas, amostras de 40 g. O tempo de cada destilação foi de 5 horas, contado do momento da condensação da primeira gota.

As folhas foram armazenadas imediatamente após a secagem em vidros vedados com parafilme e papel alumínio em B.O.D, a 5 °C, até o momento da extração, conforme descrito por Venskutonis (1997). O cálculo do rendimento em porcentagem foi realizado segundo Zenebon, Pascuet e Tiglea (2008), a razão entre o número de mL de óleo essencial destilado, pela massa em gramas da amostra, multiplicada por cem. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e suas médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o *software Sisvar* (FERREIRA, 2010).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Secagem

#### 5.1.1 Curvas de secagem das folhas de *Mentha piperita* L

Para determinação das curvas de secagem, os valores de umidade de equilíbrio para a hortelã-pimenta foram estimados por modelos matemáticos. Após a determinação dos coeficientes das equações, apresentadas na Tabela 3, foram calculados: o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o erro médio relativo (P%) e o erro médio estimado ( $\mathcal{E}$ ), para cada modelo avaliado. O resumo da eficiência dos modelos ajustados por meio de regressão não linear aos dados experimentais de secagem de folhas de *Mentha piperita* para as diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem é apresentado nas Tabelas 2A e 3A (ANEXOS B e C).

Dentre os modelos avaliados, verificou-se que a Equação de Midilli, foi a que melhor se ajustou aos dados experimentais, tanto para o experimento com velocidade a  $0,3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  quanto para  $0,5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Os valores do erro médio relativo (P%) e o erro médio estimado ( $\mathcal{E}$ ), para a velocidade  $0,3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  variaram entre 9,82 e 154,41 e 0,090 a 0,100, respectivamente; para a velocidade  $0,5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  os valores variaram entre 7,74 e 111,54 e 0,011 e 0,0980, respectivamente, para todos os modelos analisados. De modo particular, para o modelo Midilli, encontraram-se os seguintes resultados para o erro médio relativo (P%) e o erro médio estimado ( $\mathcal{E}$ ): para a velocidade  $0,3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  9,82 a 58,99 e 0,090 a 0,0610, respectivamente e para a velocidade  $0,5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , obteve 7,74 a 70,34 e 0,011 a 0,029, respectivamente. A equação também apresentou elevados valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), estando para todos os tratamentos acima de 98%. De acordo com Madamba, Driscoll e Buckle (1996), o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) não constitui, sozinho, um bom critério para a seleção de modelos não lineares, para tanto, os valores para o erro médio estimado ( $\mathcal{E}$ ) e o erro médio relativo (P) foram considerados. Os valores de P indicam o desvio dos valores observados em relação à curva estimada pelo modelo (KASHANI-NEJAD; MORTOZAVI; SAFEKORDI, 2007) e, segundo Mohapatra e Rao (2005), valores inferiores a 10% são recomendados para a seleção de modelos.

Radünz *et al.* (2011), em seus estudos sobre a avaliação da cinética da secagem da carqueja, utilizaram modelos matemáticos para descrever o fenômeno da secagem e observaram que o modelo Midilli foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais para a secagem com temperaturas entre 40 a 90 °C. Martinazzo *et al.* (2007) avaliaram as

características da secagem de folhas de *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf em camada delgada, para a faixa de temperatura de 30 a 60°C, e concluíram que o modelo de Midilli foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, apresentando o maior coeficiente de determinação e menor erro médio estimado. Os parâmetros do modelo Midilli estão descritos na Tabela 4.

**Tabela 4** Parâmetros do modelo Midilli obtido nos diferentes tratamentos de secagem de folhas de *Mentha piperita*

Velocidade do ar (m.s <sup>-1</sup> )	Temperatura do ar de secagem (°C)	Coeficientes do modelo			
		a	k	n	b
0,3	30	0,99707	0,07153	0,26584	-0,0011
	40	0,99982	0,11508	0,5262	-0,0012
	50	1,00001	0,14167	0,59151	-0,0012
	60	1,00579	0,20285	0,9813	-0,0015
	70	1,00611	0,209	1,00012	-0,0044
0,5	30	0,9915	0,01562	0,6834	-0,0002
	40	0,99995	0,0367	0,76455	-0,0003
	50	0,99996	0,05735	0,78734	-0,0004
	60	1,0021	0,13675	0,92361	-0,0022
	70	1,01387	0,33136	0,96079	-0,0035

Para o modelo de Midilli é possível observar que tanto o coeficiente de secagem k quanto a constante n aumentaram com o aumento da temperatura; a constante b diminuiu com o aumento da temperatura e o valor da constante a também aumentou com o aumento da temperatura de secagem. Martinazzo *et al.* (2007), em experimento com a secagem do capim-limão, observaram que o coeficiente de secagem k e a constante n aumentaram com o aumento da temperatura, o que está de acordo com os dados encontrados.

A constante k pode ser utilizada como uma aproximação para caracterizar o efeito da temperatura e está relacionada à difusividade efetiva no processo da secagem, no período decrescente (MADAMBA; DRISCOLL; BUCKLE, 1996; BABALIS; BELESSIOTIS, 2004).

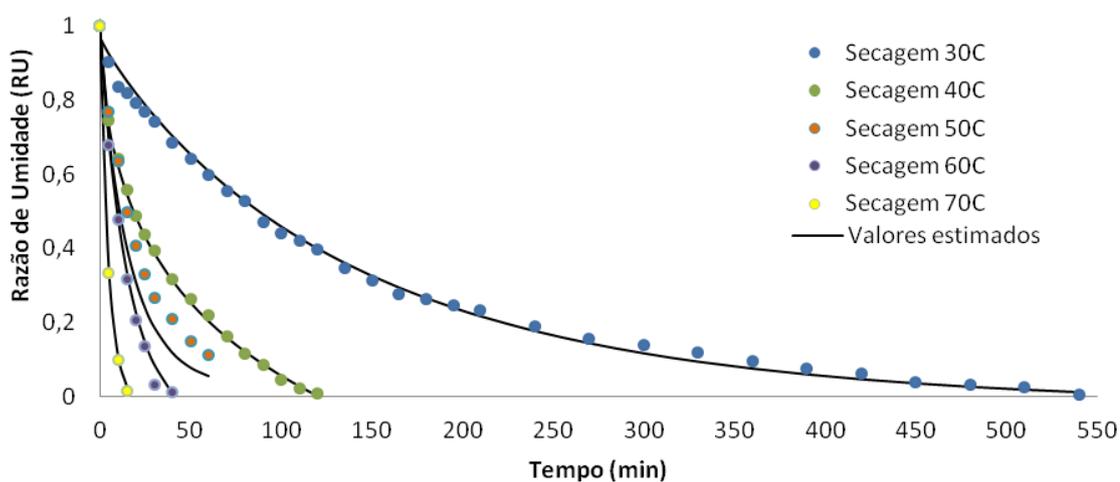
Com base nos valores apresentados na Tabela 4, realizou-se um ajuste de equações para determinação dos valores dos parâmetros do modelo de Midilli, em função da temperatura do ar de secagem e obteve-se o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) para cada parâmetro do modelo, descritos na Tabela 5.

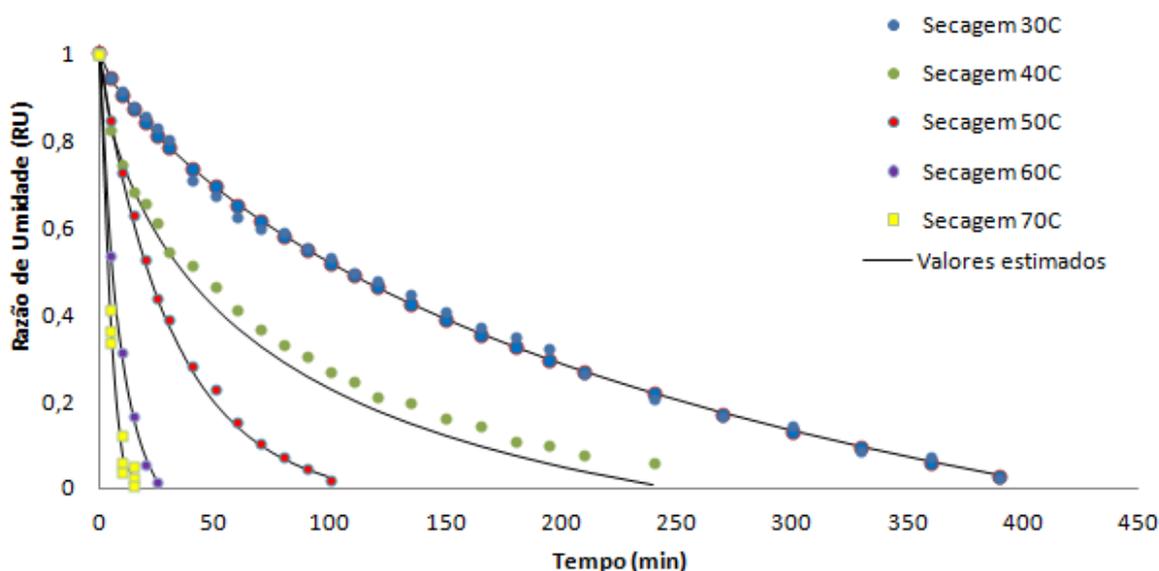
**Tabela 5** Parâmetros do modelo Midilli, ajustados em função da temperatura de secagem

Velocidade	Parâmetro	Equação ajustada	R <sup>2</sup> (%)
0,3	a	$a = 5E-07T^2 + 0,0002T + 0,991$	90,47
	k	$K = 0,0009T^{1,3073}$	97,38
	n	$n = 0,0013T^{1,5819}$	94,77
	b	$b = -4E-06T^2 + 0,0004T - 0,0081$	90,50
0,5	a	$a = 2E-06T^3 - 0,0002T^2 + 0,0106T + 0,8297$	99,95
	k	$k = 0,0017e^{0,0743T}$	98,98
	n	$n = 2E-05T^2 + 0,0053T + 0,509$	95,73
	b	$b = -3E-06T^2 + 0,0002T - 0,004$	97,24

Desta forma, os parâmetros a e b, foram ajustados à equação polinomial e os parâmetros k e n, para a velocidade 0,3 m.s<sup>-1</sup>, foram ajustados à equação potência; para a velocidade 0,5 m.s<sup>-1</sup> o parâmetro k foi ajustado à equação exponencial e n à equação polinomial, obtendo-se coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) superiores a 90%.

As Figuras, 10 e 11 apresentam os dados experimentais e estimados pelo modelo Midilli para descrição dos resultados experimentais da razão de umidade em função do tempo de secagem.

**Figura 10** Dados observados e estimados pelo modelo de Midilli para descrever a curva de secagem da hortelã-pimenta, para diferentes temperaturas e para a velocidade de 0,3 m.s<sup>-1</sup>.



**Figura 11** Dados observados e estimados pelo modelo de Midilli para descrever a curva de secagem da hortelã-pimenta, para diferentes temperaturas e para a velocidade de  $0,5 \text{ m.s}^{-1}$ .

As curvas apresentadas nas Figuras 10 e 11 demonstram, para todas as temperaturas, que o teor de umidade existente no início do processo de secagem é exponencialmente reduzido até alcançar o teor de umidade de equilíbrio. Este comportamento demonstra a inexistência do período de secagem constante, assim o processo de secagem do produto aconteceu apenas no período decrescente de secagem, sendo controlada pela difusão interna do líquido até a superfície onde acontece a evaporação. Estes resultados estão de acordo com os trabalhos realizados sobre a secagem de diversos produtos como milho-pipoca (CORRÊA; MACHADO; ANDRADE, 2001), trigo (MOHAPATRA; RAO, 2005) e folhas de menta (DOYMAZ, 2006).

Observou-se que o tempo de secagem depende da temperatura e, além disso, a perda do conteúdo de umidade é mais rápida no início do processo de secagem. Com relação à temperatura, quanto mais elevada maior é a taxa de secagem, ou seja, para a temperatura de  $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$  obteve-se uma taxa de secagem de  $0,00041$  para a velocidade  $0,3 \text{ m.s}^{-1}$  e  $0,00069$  para a velocidade  $0,5 \text{ m.s}^{-1}$ .

Analisando-se as curvas de secagem observou-se que a cinética de secagem foi fortemente influenciada pela temperatura, ou seja, a aplicação da temperatura mais elevada reduz significativamente o tempo necessário para secar as folhas de hortelã-pimenta.

Segundo Vilela e Artur (2008), as informações contidas nas curvas de secagem são de fundamental importância para o desenvolvimento de processos e para o dimensionamento de equipamentos, com elas pode-se estimar o tempo de secagem de certa quantidade de produtos e, com o tempo necessário para a produção, pode-se estimar o gasto energético que refletirá no custo de processamento e, por sua vez, influenciará no

preço final do produto. No dimensionamento de equipamentos, pode-se determinar as condições de operação para secagem e, assim, a seleção de trocadores de calor, ventiladores e outros.

Com o aumento da temperatura, observou-se que o tempo de secagem foi reduzido. Na Tabela 6 apresenta-se o comportamento da secagem nas diferentes temperaturas e velocidade do ar de secagem.

**Tabela 6** Tempo de secagem para cada temperatura em diferentes velocidades do ar de secagem

Temperatura	Velocidade do ar $\text{ms}^{-1}$		Diferença relativa (%)
	0,3	0,5	
30	540	410	0,960
40	120	240	1,450
50	60	97	3,787
60	40	25	1,343
70	12	12	1,258

Nota-se que, o maior tempo de secagem ocorreu a 30 °C, para a velocidade de 0,3  $\text{m.s}^{-1}$ , em relação às demais temperaturas percebeu-se efeito decrescente no tempo de secagem à medida que ocorre o aumento na temperatura do ar. Segundo Silva, Afonso e Guimarães (1995), isto se deve ao aumento do potencial de secagem em decorrência do aumento da temperatura do ar, ocasionando diminuição da umidade relativa do ar de secagem.

Ao se aumentar a temperatura do ar reduziu-se o tempo de secagem, o mesmo ocorreu com o aumento da velocidade do ar de secagem, com exceção para as temperaturas de 40 e 50 °C, em que o efeito foi inverso. O fato do secador não dispor de sistema de controle da umidade relativa do ar de secagem, para que fosse mantida constante nos ensaios de mesma temperatura, pode ser apresentado como a principal causa do tempo de secagem ser maior para a maior velocidade de 0,5  $\text{m.s}^{-1}$ , nestas temperaturas. Obteve-se uma menor diferença relativa para a temperatura de 30 °C; para o cálculo da diferença relativa utilizou-se a diferença dos dados experimentais e preditos pelo modelo elevado ao quadrado.

Os dados de umidade relativa do ar de secagem observados durante o processo de secagem das folhas de hortelã-pimenta nas temperaturas 30, 40, 50, 60 e 70 °C, combinadas com as duas velocidades de ar 0,3 e 0,5  $\text{m.s}^{-1}$ , são apresentados na Tabela 7.

**Tabela 7** Valores médios de umidade relativa do ar de secagem, observados em função da temperatura e velocidade do ar durante a secagem da hortelã-pimenta

Velocidade do ar (m.s <sup>-1</sup> )	Temperatura do ar de secagem (°C)	Umidade Relativa	
		UR (%)	CV (%)
0,3	30	55 ± 1,2	8,23
	40	30 ± 0,8	4,50
	50	18 ± 0,7	1,60
	60	15 ± 0,8	0,88
	70	08 ± 0,6	0,50
0,5	30	40 ± 1,0	0,50
	40	33 ± 1,0	1,38
	50	20 ± 1,1	1,30
	60	10 ± 1,0	0,70
	70	05 ± 0,5	0,35

Diversos trabalhos relacionados à secagem têm apresentado a redução no tempo de secagem, em virtude do aumento da temperatura do ar. Foi observado, em experimentos de secagem realizados por Reis *et al.* (2011) com a espécie *Capsicum chinense* Jacqui, conhecida como pimenta-cumari do Pará, em que utilizaram as temperaturas de secagem 45, 55 e 65°C, que o tempo de secagem para cada temperatura foi de 4 h; 2 h e 50 min e 1 h e 55 min, respectivamente, para que a pimenta atingisse a umidade de, aproximadamente, 11%.

#### 5.1.2 Difusividade efetiva

Os valores encontrados para a difusividade efetiva em cada condição de secagem estão descritos na Tabela 8.

**Tabela 8** Valores do coeficiente de difusão obtido para as folhas de *Mentha piperita*, em diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem

Velocidade (m.s <sup>-1</sup> )	Temperatura (°C)	Coeficiente difusão (Def) m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>
0,3	30	2,2823E-12
	40	9,9342E-12
	50	1,8239E-11
	60	2,4829E-11
	70	7,4601E-11
0,5	30	2,2395E-12
	40	4,7396E-12
	50	9,4015E-12
	60	3,7637E-11
	70	7,4601E-11

Para o cálculo do coeficiente de difusividade efetiva utilizou-se a Equação 22:

$$Def = \frac{k.A.L^2}{60} \quad (22)$$

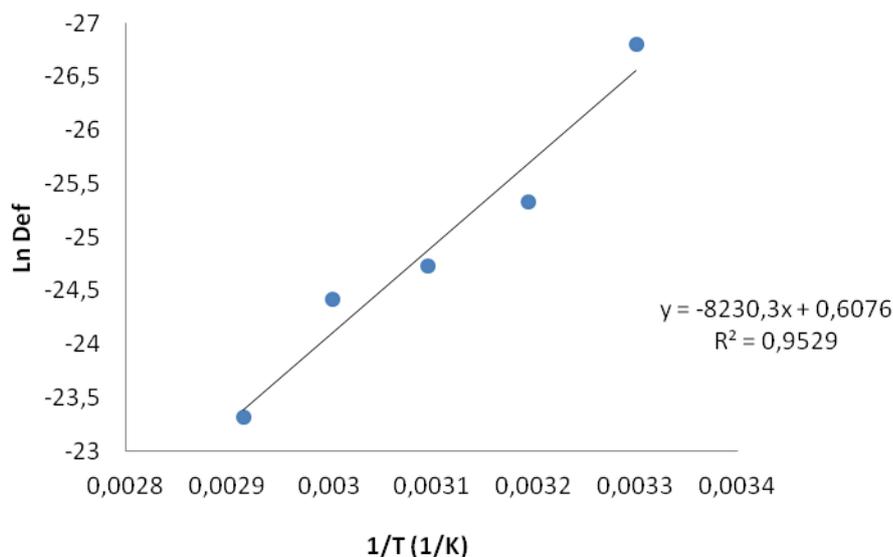
Em que:

- Def = coeficiente da difusão,  $m^2.s^{-1}$ ;
- K = coeficiente da difusão estimado,  $m^2.s^{-1}$ ;
- L = metade da espessura do produto, m.

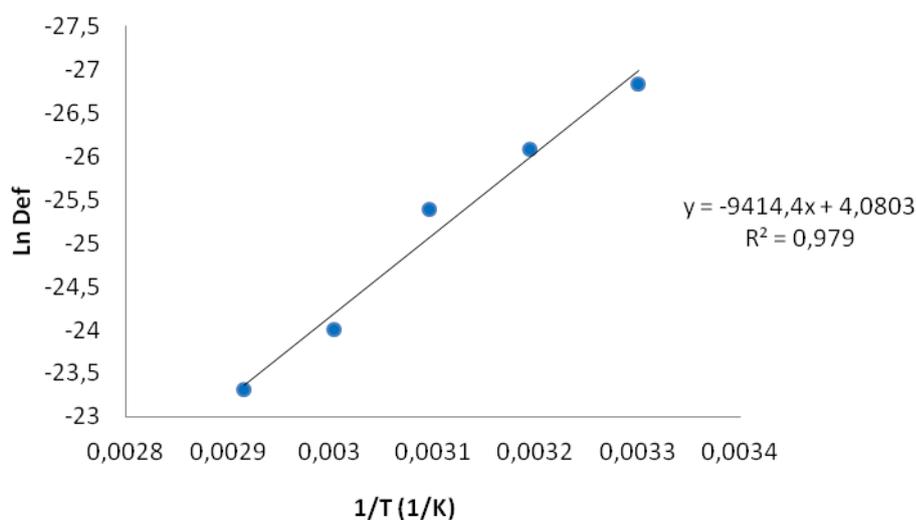
Nota-se que os valores da difusividade efetiva (Def) aumentaram com a elevação da temperatura de secagem, variando para a velocidade  $0,3 m.s^{-1}$ , de  $2,2823 \cdot 10^{-12}$  a  $7,4601 \cdot 10^{-11}$  e para a velocidade  $0,5 m.s^{-1}$  a variação do coeficiente foi de  $2,2395 \cdot 10^{-12}$  a  $7,4601 \cdot 10^{-11}$ . Segundo Zogzas, Mauroulis e Marinos-Kouris (1996), os valores de Def para produtos alimentícios se encontram na faixa de  $10^{-11}$  a  $10^{-9} m^2.s^{-1}$ . Martinazzo *et al.* (2007) secaram folhas de capim-limão a 30, 40, 50 e 60 °C e encontraram valores para o coeficiente de difusão, para esses valores de temperatura, que variaram de  $4 \cdot 10^{-12}$  a  $3,90 \cdot 10^{-11}$ . Kaya e Aydin (2009) secaram folhas de urtiga e menta a 35, 45 e 55 °C, com variação na velocidade do ar de secagem definida em 0,2, 0,4 e 0,6  $m.s^{-1}$  e encontraram como coeficiente de difusão para as folhas de menta, utilizando a velocidade  $0,2 m.s^{-1}$  valores variando de  $3,106 \cdot 10^{-9}$  a  $5,884 \cdot 10^{-9}$ , para a velocidade  $0,4 m.s^{-1}$  valores variando de  $3,171$  a  $6,049 \cdot 10^{-9}$  e para a velocidade de  $0,6 m.s^{-1}$  valores variando de  $3,319$  a  $6,172 \cdot 10^{-9}$ , quando comparados com os valores encontrados para a *Mentha piperita* são valores elevados.

Para o ajuste da Equação de Arrhenius, a temperatura é o termo independente, sendo que a equação explica a variação do coeficiente de difusão em função da temperatura. Utilizou-se o *software Excel* para construir o gráfico da inclinação da curva da representação de Arrhenius, com as variáveis temperatura absoluta (1/T) em função do  $\ln Def$ . Em seguida, adicionou-se a linha de tendência linear e encontrou-se uma equação, que foi comparada com a relação de Arrhenius e obteve-se a energia de ativação e o fator pré- exponencial.

Nas Figuras 12 e 13 pode-se visualizar os valores de Def, apresentados na forma de “ $\ln Def$ ”, descritos em função do recíproco da temperatura absoluta (1/T).



**Figura 12** Efeito da temperatura, segundo o modelo de Arrhenius, na secagem da hortelã-pimenta, utilizando velocidade do ar de secagem de  $0,3 \text{ m.s}^{-1}$  e temperaturas de 30 a 70 °C.



**Figura 13** Efeito da temperatura, segundo o modelo de Arrhenius, na secagem da hortelã-pimenta, utilizando velocidade do ar de secagem de  $0,5 \text{ m.s}^{-1}$  e temperaturas de 30 a 70 °C.

O ajuste linear obtido indica que houve uniformidade de variação do coeficiente de difusividade com a temperatura. O valor da variação do coeficiente de difusividade encontrado a 70 °C foi superior às outras temperaturas, para ambas as velocidades de secagem. Segundo Goneli *et al.* (2008), este fato pode ser explicado em razão da vibração molecular de água. Para estes autores, a variação do coeficiente de difusão efetiva se dá com a elevação da temperatura, o que aumenta o nível de vibração molecular das

moléculas de água contribuindo para uma difusão mais rápida. Portanto, houve uma difusão maior na temperatura de 70 °C.

Após encontrar o valor do coeficiente de difusão pela relação da difusividade, utilizou-se a relação de Arrhenius para estimar o coeficiente de difusão e, posteriormente, fazer a comparação dos mesmos. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 9.

**Tabela 9** Comparação entre os valores de constantes de secagem (Def), calculados pela relação da difusividade, utilizando os dados experimentais da secagem de folhas da hortelã-pimenta e os valores calculados pelo modelo de Arrhenius

Velocidade (m.s <sup>-1</sup> )	Temperatura (°C)	Coeficiente difusão (Def) (m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> )	Coeficiente estimado (Def) Arrhenius
0,3	30	2,2823E-12	2,9326E-12
	40	9,9342E-12	6,9847E-12
	50	1,8239E-11	1,5765E-11
	60	2,4829E-11	3,3886E-11
	70	7,4601E-11	6,9656E-11
0,5	30	2,2395E-12	1,8977E-12
	40	4,7396E-12	5,1210E-12
	50	9,4015E-12	1,2995E-11
	60	3,7637E-11	3,1182E-11
	70	7,4601E-11	7,1100E-11

Os valores dos coeficientes da difusão e o estimado pela relação de Arrhenius foram valores próximos, apenas para a temperatura de 50 °C com velocidade de 0,5 m.s<sup>-1</sup> houve uma maior variação dos coeficientes.

Os valores da energia de ativação (E<sub>a</sub>) calculada como inclinação das retas obtidas são descritos na Tabela 10.

**Tabela 10** Energia de ativação obtida para as diferentes velocidades do ar de secagem das folhas de *Mentha piperita*

Velocidade (m.s <sup>-1</sup> )	Energia de Ativação (KJ.mol <sup>-1</sup> )
0,3	68,42
0,5	78,27

Kaya e Aydin (2009), utilizando diferentes velocidades do ar de secagem para folhas de menta, encontraram os seguintes valores de energia de ativação, para velocidade 0,2 m.s<sup>-1</sup> 66,87, para 0,4 m.s<sup>-1</sup> 67,90 e para a velocidade 0,6 m.s<sup>-1</sup> 71,98. Os valores de energia de ativação estão próximos aos encontrados para as folhas de *Mentha piperita*. Tanto para as folhas de hortelã quanto para as folhas de menta ao se aumentar a velocidade do ar de secagem a energia de ativação também aumentou.

Nos processos de secagem, quanto menor a energia de ativação maior será a difusividade de água no produto (GONELI *et al.*, 2008). Para Kashani-Nejad; Mortazavi e Safekordi (2007), a energia de ativação é uma barreira que deve ser ultrapassada para que o processo de difusão possa ser desencadeado no produto.

## 5.2 Avaliação da qualidade

### 5.2.1 Influência do processo de secagem no teor de óleo essencial

As médias obtidas na extração do óleo essencial das folhas da hortelã-pimenta submetidas aos testes de secagem, assim como as do material fresco, encontram-se na Tabela 11.

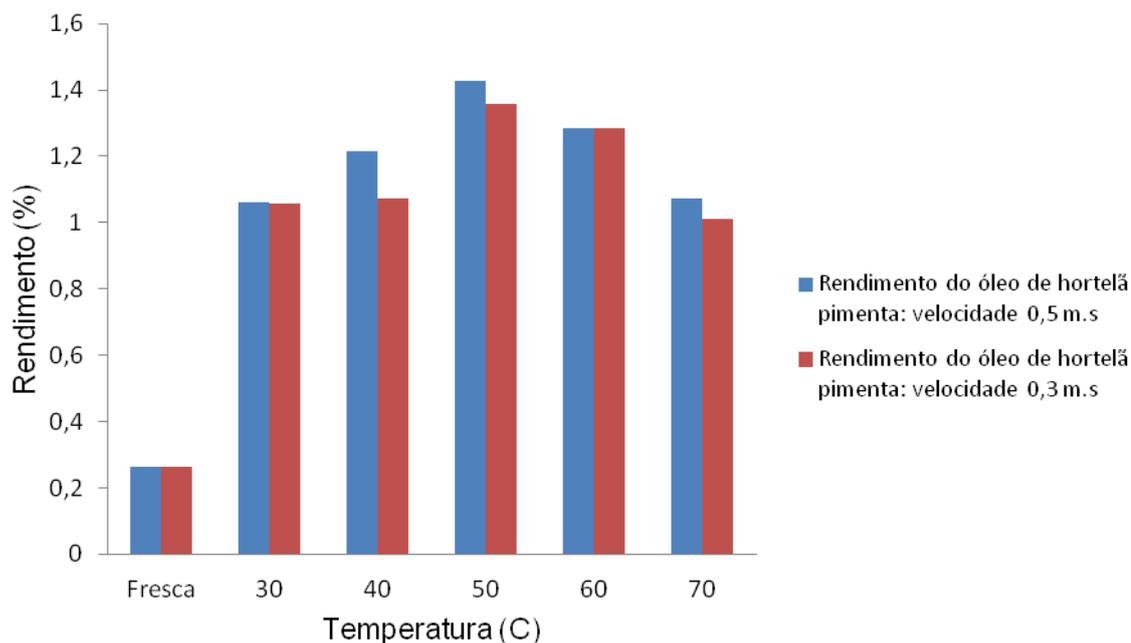
**Tabela 11** Média das porcentagens de teor de óleo em relação à matéria total e à matéria seca, obtida nos tratamentos de secagem das folhas da hortelã-pimenta, em função da temperatura e velocidade do ar de secagem

Temperatura (°C)	Velocidade do ar (m.s <sup>-1</sup> )	Teor de umidade do produto (b.u)	Porcentagem de óleo em relação à matéria total (%)	Porcentagem de óleo em relação à matéria seca (%)
30	0,3	0,15±0,0017	0,24±0,0056	1,05±0,0066
30	0,5	0,14±0,0078	0,26± 0,0031	1,06±0,0001
40	0,3	0,12±0,0013	0,26±0,0031	1,07±0,0014
40	0,5	0,15±0,0056	0,29±0,0082	1,21±0,0042
50	0,3	0,15±0,0094	0,33±0,0033	1,35±0,0071
50	0,5	0,11±0,0036	0,35±0,0008	1,42±0,0085
60	0,3	0,13±0,0065	0,31±0,0057	1,28±0,0047
60	0,5	0,11±0,0060	0,31±0,0057	1,28±0,0051
70	0,3	0,13±0,0065	0,24±0,0056	1,01±0,0001
70	0,5	0,12±0,0070	0,26±0,0031	1,07±0,0014
Fresco		3,34	0,17±0,0054	0,26±0,0031

As porcentagens de óleo, em relação às matérias seca e total, foram calculadas para cada amostra submetida à extração, utilizando-se o teor de umidade final (b.s.), obtido após a secagem, gerando assim o valor de massa da matéria seca na amostra. Desta forma, a massa de óleo obtida na extração foi relacionada à matéria seca da amostra, como também à massa total, de aproximadamente 19,0 g.

Matos *et al.* (1999), em seus estudos com a hortelã comum, obtiveram 3 mL de óleo de 1 kg de planta fresca, representando 0,3% em b.u. Radünz *et al.* (2006) encontraram um rendimento de óleo de, aproximadamente, 0,17% para a mesma espécie de menta.

Na Figura 14 visualiza-se o comportamento do rendimento do óleo essencial para as diferentes temperaturas e diferentes velocidades do ar de secagem.



**Figura 14** Rendimento do óleo essencial da hortelã-pimenta, para as diferentes temperaturas e diferentes velocidades do ar de secagem.

Para verificar se houve diferença de média entre as temperaturas analisadas e se a velocidade do ar interferiu no rendimento do óleo essencial, realizou-se análise de variância, descrita na Tabela 12.

**Tabela 12** Análise de variância dos dados obtidos de rendimento do óleo essencial de folhas de *Mentha piperita* em diferentes temperaturas e velocidade do ar

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Temperatura	4	0,183748	0,045937	27,010	0,0037*
Velocidade do ar	1	0,007840	0,007840	4,610	0,0983 <sup>n.s</sup>
Erro	4	0,006802	0,001701		
Total	9	0,1983990			

CV (%) = 3,48

Notas: \* = significativa a 5% de probabilidade;

ns = não significativa a 5% de probabilidade.

Na análise quantitativa do óleo essencial da hortelã-pimenta, com relação à variação da velocidade do ar  $0,30 \text{ m.s}^{-1}$  e  $0,50 \text{ m.s}^{-1}$ , pode-se observar pela análise de variância que o p-valor é maior que 5% de significância, portanto considerado como não significativo. Na Figura 13, pode-se observar que, em todas as temperaturas analisadas, o rendimento do óleo foi um pouco menor para a velocidade do ar com  $0,30 \text{ m.s}^{-1}$ , o que pelo teste de

médias, utilizando o *software Sisvar* (FERREIRA, 2010) com 5% de significância pelo teste Tukey, foi considerado como não significativo, ou seja, não houve diferença estatística no rendimento do óleo nas diferentes velocidades do ar de secagem analisadas, como apresentado na Tabela 13.

**Tabela 13** Médias de porcentagem de óleo, em função da temperatura e da velocidade do ar de secagem

Velocidade do ar (m.s <sup>-1</sup> )	Temperatura (°C)				
	30	40	50	60	70
0,30	1,0566 a	1,0714 ab	1,3571 c	1,2847 bc	1,0101 a
0,50	1,0600 a	1,2142 ab	1,4285 c	1,2851 bc	1,0714 a

Nota: Médias nas linhas seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey (P<0,05).

Com relação à temperatura, as médias das temperaturas de 30, 40 e 70 °C foram consideradas estatisticamente iguais, assim como para as médias das temperaturas 40 e 60 °C e, finalmente, para as temperaturas 50 e 60 °C. O gráfico da Figura 13 apresenta, também, a temperatura que demonstrou o maior rendimento de óleo essencial: 50 °C, porém, a média do rendimento foi considerada estatisticamente igual à temperatura de 60 °C. Desta forma, observou-se diferença no conteúdo em óleo influenciada pela temperatura e não pela velocidade do ar de secagem.

Os resultados encontrados estão de acordo com os de Radünz *et al.* (2006), os quais verificaram que, até ser atingida a temperatura de 50 °C, ocorreu aumento gradual no teor do óleo essencial, decrescendo em seguida, da mesma forma. Os autores ainda argumentam que este comportamento está relacionado com a temperatura de volatilização dos componentes desse óleo essencial, pois, em *Mentha*, o óleo essencial se localiza em estruturas mais sensíveis, como pêlos glandulares tricomas e glândulas epidérmicas. Além disso, valores de temperatura do ar de secagem superiores a 50 °C podem ter causado danos aos órgãos vegetais, como às estruturas secretoras e armazenadoras de óleo essencial do produto seco.

Com relação ao rendimento da planta fresca, o gráfico apresenta um maior rendimento para as folhas secas. Para Martins (2000), o menor conteúdo de água nas folhas, após a secagem, permite que a corrente de vapor gerada no extrator possa arrastar mais eficientemente as substâncias voláteis armazenadas nas células, quando comparado com o material verde. Segundo Guenther (1972), devido ao alto teor de umidade nas plantas frescas, há forte tendência à aglutinação do óleo, impedindo que o vapor penetre de forma mais uniforme nos tecidos vegetais.

A época de plantio, condições climáticas, temperatura, adubação do solo e radiação são fatores que podem influenciar o rendimento do óleo essencial. Estudos realizados por

Deschamps *et al.* (2008), referentes ao rendimento do óleo essencial em diferentes estações do ano como verão e inverno, com vários tipos de cultivares de menta, observaram que a época com maior rendimento do óleo essencial é no verão, com o cultivar *Mentha piperita*, isso se deve a uma menor adaptação da espécie a temperaturas baixas.

Com relação ao solo para o qual as hortelãs foram transplantadas, realizou-se uma análise em triplicata, em amostras com profundidades de, aproximadamente, 20 cm, e constatou-se que: para os macronutrientes obtiveram-se concentrações altas para o fósforo (P) e magnésio (Mg), concentrações médias para o potássio (K), carbono (C) e cálcio (Ca); para os micronutrientes obtiveram-se concentrações altas para o cobre (Cu), zinco (Zn) e manganês (Mn) e concentração média para o ferro (Fe). Observou-se também que o pH do solo estava baixo.

Estudos realizados por Pegoraro *et al.* (2010) verificaram que, na ausência de nitrogênio, fósforo e potássio a massa total e a massa foliar das plantas foram reduzidas, baixos níveis de potássio reduziram a taxa de crescimento relativo (TCR) e massa fresca (VALMORBIDA *et al.*, 2006) e que a redução de fósforo levou à redução de massa seca e fresca (RODRIGUES *et al.*, 2004). Porém, Mattos e Innecco (2002) observaram aumento no rendimento de óleos essenciais por planta, devido ao aumento em biomassa. Os resultados encontrados por Pegoraro *et al.* (2010) indicam a influência da associação de fertilização do solo e alta intensidade luminosa no aumento da produção de mentol, na diversidade dos componentes do óleo essencial, bem como no aumento da biomassa e área foliar que, indiretamente, levam à maior produção de óleos essenciais por planta.

Segundo Maia (1998), a omissão de nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio reduzem significativamente a produção de material verde da planta de hortelã inteira e as proporções de limoneno, mentona, mentol e metil acetato no óleo essencial são alterados pela condição de nutrição da planta.

### 5.2.2 Influência do processo de secagem na coloração das folhas

A avaliação de cada atributo do sistema CIELAB, durante o período de secagem nas diferentes temperaturas, é apresentada na Tabela 14.

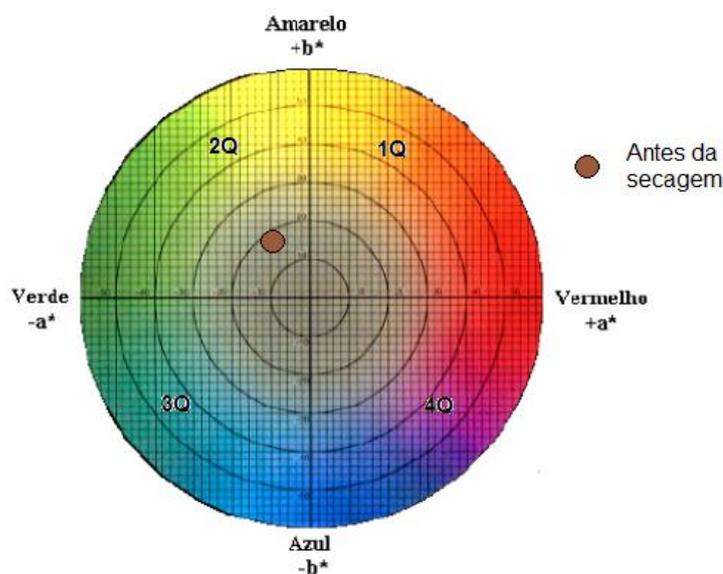
**Tabela 14** Médias dos parâmetros utilizando a escala CIELAB, para análise da cor da *Mentha piperita*

Tratamentos	Coordenadas				
	a*	b*	L*	H*	C*
Planta Fresca	-5,54	11,32	38,84	116,06	12,61
30 °C	-1,79a	9,62c	38,51b	100,52a	9,79c
40 °C	-1,59ab	9,42c	38,10b	99,57a	9,55bc
50 °C	0,14bc	8,32bc	37,17b	88,86a	8,25ab
60 °C	1,69c	6,97ab	35,04a	76,30b	7,17a
70 °C	1,79c	6,77a	34,76a	75,13b	7,00a

Nota: Médias nas colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Com relação à planta fresca é possível observar na Tabela 14 que a coordenada a\* apresenta uma coloração esverdeada com uma luminosidade (L\*) um pouco escura e com um índice de croma (C\*), com uma coloração opaca.

As demais coordenadas podem ser melhores observadas pelo ciclo colorimétrico.

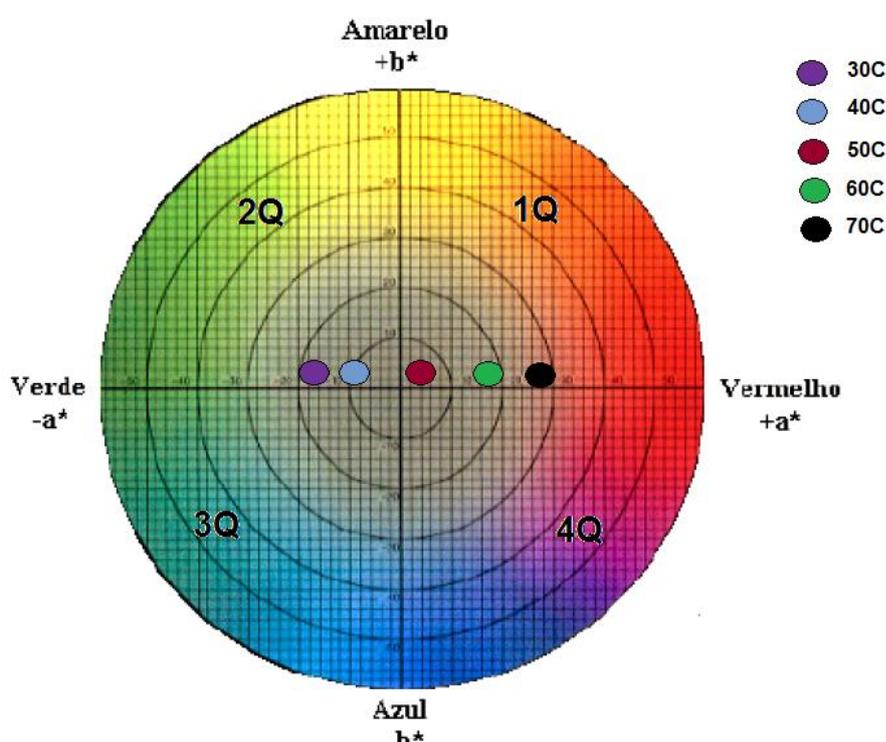


**Figura 15** Sistema colorimétrico CIELAB, indicando a coordenada para planta fresca.

Fonte: Adaptado de Tecnocor (2003).

Após a secagem é possível observar na Tabela 14 que os valores das coordenadas encontradas com relação à Luminosidade (L\*), a qual varia de 0 a 100, sendo que próxima de 0 a luminosidade é escura e próxima de 100 é branca, para as temperaturas 30, 40 e 50 °C que não houve diferença estatística, apresentando uma luminosidade escura e da mesma forma para as temperaturas de 60 e 70 °C, as quais não apresentam diferenças estatísticas.

A coordenada  $a^*$  reflete o quanto foi degradada a cor verde da folha, durante o processo de secagem. Pelos dados apresentados na Tabela 14 e visualizando-se a Figura 16 é possível observar valores negativos. Estes valores significam cores próximas do verde, já os valores positivos são cores mais avermelhadas. Pela análise das médias encontrou-se que, para as temperaturas 30 e 40 °C, não houve diferença estatística nas médias da coordenada  $a^*$ , da mesma forma para as temperaturas 40 e 50 °C, para as temperaturas 50, 60 e 70 °C. Das cinco temperaturas estudadas, as temperaturas de 30 e 40 °C, não agrediram tanto a cor das folhas durante o processo da secagem, mas com o aumento da temperatura houve um impacto maior na tonalidade das folhas, chegando a uma coloração muito escura.



**Figura 16** Sistema colorimétrico CIELAB, indicando o parâmetro para a secagem a 50 °C.

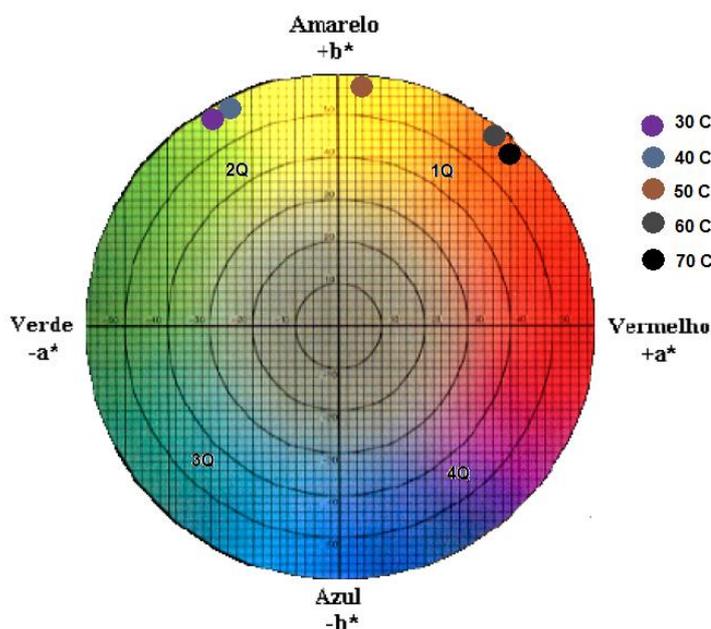
Fonte: Adaptado de Tecnocor (2003).

No ciclo colorimétrico é possível observar o resultado encontrado para a temperatura de 50 °C. Ao ser comparado, antes e após a secagem, o ciclo apresenta a degradação da coloração verde da folha durante o processo de secagem. Para a temperatura de 50 °C, o valor encontrado para a coordenada  $a^*$  é positivo, ou seja, inicia-se uma degradação mais intensa com aumento da temperatura.

Para a coordenada  $b^*$  os valores encontrados foram todos positivos, o que significa cores mais amareladas. Para as temperaturas 30, 40 e 50 °C, não houve diferença estatística para as médias, assim como para as temperaturas de 50 e 60 °C e para as

temperaturas 60 e 70 °C. Da mesma forma que a coordenada  $a^*$ , ao aumentar a temperatura, a coloração das folhas fica mais escura, perdendo a coloração verde.

O ângulo de matiz se refere a qual quadrante do ciclo colorimétrico se encontrará a união das cores, para, então, definir qual foi a coloração das folhas após a realização da secagem.



**Figura 17** Sistema colorimétrico CIELAB, indicando o ângulo de matiz das folhas de hortelã-pimenta após a secagem.

Fonte: Adaptado de Tecnocor (2003).

Observou-se na Tabela 14 que, para as temperaturas 30, 40 e 50 °C, não houve diferença estatística, da mesma forma para as temperaturas 60 e 70 °C. Por meio do ciclo colorimétrico (Figura 17), observa-se que as temperaturas 50, 60 e 70 °C encontram-se no 1º quadrante, ou seja, as temperaturas 60 e 70 °C apresentam uma coloração mais avermelhada, isto significa que, com temperaturas elevadas, a secagem pode danificar a cor da folha.

A temperatura de 50 °C apresentou uma coloração mais amarelada, sendo esta a temperatura que inicia a degradação das folhas. As temperaturas 30 e 40 °C, que se encontram no 2º quadrante, apresentam uma coloração mais próxima da cor natural das folhas de hortelã-pimenta, ou seja, uma coloração mais esverdeada.

Para o índice de croma, que indica intensidade ou pureza do tom, cor cromática possui brilho e acromática é opaca, encontraram-se valores baixos para o processo de secagem nas diferentes temperaturas, sendo considerado, portanto, como um índice acromático de cor opaca acinzentada. Na Tabela 14 é possível observar que as médias das temperaturas 30 e 40 °C não tiveram diferenças estatísticas, assim como para as temperaturas 40 e 50 °C, e para as temperaturas 50, 60 e 70 °C. É possível observar,

também, que quanto menor a temperatura de secagem maior é o índice de croma. Para a temperatura de 30 °C o índice ficou próximo ao da planta fresca.

### 5.2.3 Diferença de cor $\Delta E$

Os resultados para a diferença de cor, relacionando os valores dos parâmetros encontrados na análise da planta fresca com as demais temperaturas de secagem, estão descritos na Tabela 15.

**Tabela 15** Teste de diferença de cor ( $\Delta E$ ), em relação à planta fresca

Temperatura (°C)				
30	40	50	60	70
4, 129 a	4, 461 ab	6, 736 b	9, 260 c	9, 550 c

Nota: Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Analisou-se a diferença de cor em relação à planta fresca pela Equação 4, em que se verificou que houve uma diferença de coloração nas folhas durante o processo de secagem. Pela análise das médias para as temperaturas 30 e 40 °C não houve diferença estatística, assim como para as temperaturas 40 e 50 °C e para as temperaturas 60 e 70 °C.

Para a diferença de cor, utilizou-se a norma DIN 6174 (1979) (Tabela 16) que estabelece relação aos valores de  $\Delta E$  para a percepção do olho humano. De modo geral, diferenças de cor em duas amostras justapostas, podem ser distinguidas em valores de  $\Delta E$  acima de 0,2-0,5 (SILVA; PARK; MAGALHÃES, 2007).

**Tabela 16** Percepção humana para diferentes valores de  $\Delta E^*_{ab}$ , de acordo com a norma DIN 6174 (1979)

Diferenças $\Delta E^*_{ab}$	Classificação
0,0 – 0,2	Imperceptível
0,2 – 0,5	Muito pequena
0,5 – 1,5	Pequena
1,5 – 3,0	Distinguível
3,0 – 6,0	Facilmente Distinguível
Maior que 6,0	Muito grande

Fonte: Norma DIN 6174 (1979).

Quanto maior a temperatura de secagem maior será o impacto sobre a coloração da folha e maior será a distinção da cor entre as folhas da planta fresca e a cor das folhas da planta seca.

Como a coloração é considerada um parâmetro de qualidade, o consumidor, ao observar uma folha de cor muito escura, poderá considerar que, ao utilizar as folhas como

fonte para um tratamento, estas possivelmente não façam o efeito esperado, pois com altas temperaturas, além de danificar a coloração, também se pode comprometer o princípio ativo da planta.

## 6 CONCLUSÕES

De acordo com as condições em que o experimento foi realizado pode-se afirmar que:

- o modelo com o melhor ajuste foi o Midilli, pois apresentou um bom  $R^2$  e menor erro;
- não houve diferença estatística entre as velocidades do ar de secagem e a temperatura apresentou grande influência no processo da secagem;
- os valores da difusividade efetiva ( $Def$ ) aumentaram com a elevação da temperatura e a energia de ativação para as velocidades 0,3 e 0,5  $m.s^{-1}$  foram 68,42  $kJ.mol^{-1}.K^{-1}$  e 78,27  $kJ.mol^{-1}.K^{-1}$ , respectivamente, isto significa que quanto menor a energia de ativação maior será a difusividade de água no produto;
- o tempo de secagem para a temperatura de 50 °C foi de, aproximadamente, 4 horas, sendo que para a temperatura de 70 °C foi de, aproximadamente, 0,2 horas, porém é necessário levar em conta não apenas o tempo de secagem, mas também a quantidade e a qualidade do princípio ativo da planta, o rendimento de óleo essencial e o efeito da coloração das folhas;
- a temperatura de 50 °C foi a que apresentou o melhor rendimento de óleo essencial para a *Mentha piperita* e que a partir desta temperatura é que se inicia o processo de degradação mais intenso da cor.

## REFERÊNCIAS

- AGRA, M. F.; ROCHA, E. A.; FORMIGA, S. C.; LOCATELLI, E. Plantas medicinais dos cariris velhos. Parte I Subclasse Asteridae. **Revista Brasileira de Farmácia**, Campina Grande, PB, v.75, p. 61-65, 1994.
- AGUIRRE, J. M.; GASPARINO FILHO, J. **Desidratação de frutas e hortaliças**: manual técnico. Campinas: ITAL, 2002. 205 p.
- ALLONG, R.; WICKHAM, L. D.; MOHAMMED, M. The effect of cultivar, fruit ripeness, storage temperature and duration on quality of fresh-cut mango. **Acta Horticulturae**. Leuven, v. 10, n. 509, p.487 – 494, 2000.
- ALMEIDA, E. R. **As plantas medicinais brasileiras**. São Paulo: Hemus, 1993. 339 p.
- ALONSO, J. R. **Tratado de fitomedicamento** – bases clínicas y farmacológicos. Buenos Aires: Isis Ediciones. S. R. L, 1998. 1040 p.
- ALONSO-SALCES, R. M.; GUYOT, S.; HERRERO, C.; BERRUETA, L. A.; DRILLEAU, J.F.; GALLO, B.; VICENTE, F. Chemometric classification of Basque and French ciders based on their total polyphenol contents and CIELAB parameters. **Food Chemistry**, Easton, v. 91, n. 1, p. 91-98, 2005.
- BABALIS, S. J.; BELESSIOTIS, V. G. Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. **Journal of Food Engineering**, London, v. 65, n. 3, p. 449-458, 2004.
- BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Resolução - RDC nº 17 de 24 de fevereiro de 2000. Dispõe sobre o registro de medicamentos fitoterápicos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 24 fev. 2000. Seção, 1590, p. 17.
- BRASIL, Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Assistência Farmacêutica. **Política nacional de plantas medicinais e fitoterápicos**. Brasília, DF, 2006. 60 p. (Série B. Textos Básicos De Saúde).
- BROOKER, D. B.; BAKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: AVI Book Publication, 1992. 450 p.
- BRUNETON, J. **Farmacognosia**. 2. ed. Zaragoza, Espanha: Acribia, 2001. 594 p.
- BRUNETON, J. How to pack the essential oils. In: BRUNETON, J. **Pharmacognosie. Phytochimie plantes medicinales**, 2. ed. Paris: Tec Doc, 1993. cap. 12, p. 12-14.
- CALIXTO, J. B. Efficacy, safety, quality control, marketing and regulatory guidelines for herbal medicines (phytotherapeutic agents). **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, Florianopolis, SC, v. 33, p. 179-189, 2000.
- CARVALHO, N. M. **A secagem de sementes**. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 1994. 165 p.

CEARÁ. Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará – Nutec. **Crescimento do mercado fitoterápico contribui para avanço de pesquisas com graviola**. 2010. Disponível em: <http://www.nutec.ce.gov.br/categoria2/crescimento-do-mercado-fitoterapico-contribui-para>. Acesso em: 20 mar. 2011.

CORRÊA JÚNIOR, C; GRAÇA, L. R.; SCHEFFER, M. C. **Complexo agroindustrial das plantas medicinais, aromáticas e condimentares no Estado do Paraná - diagnóstico e perspectivas**. Curitiba / PR: Sociedade Paranaense de Plantas Medicinais, 2004. 272. p.

CORRÊA, P. C.; AFONSO JÚNIOR, P. C.; MARTINS, P. M.; MELO, E. C.; RADÜNZ, L. L. Modelo matemático para representação da higroscopicidade de plantas. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 27, n. 1, p. 8-15, 2002.

CORRÊA, P. C.; AFONSO JÚNIOR, P. C.; RIBEIRO, D. M.; SILVA, F. S. Equilíbrio higroscópico de milho, alpiste e painço: Obtenção e modelagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 10, n. 1, p. 162-167, 2006.

CORRÊA, P. C.; CHRIST, D.; MARTINS, J. H.; MANTOVANI, B. H. M.; Curvas de dessecção e calor latente de vaporização para as sementes de milho pipoca (*zea mays*). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 2, n. 1, p. 75-79, 1998.

CÔRREA, P. C.; MACHADO, P. F., ANDRADE, E. T. Cinética de secagem e qualidade de grãos de milho – pipoca. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 1, p. 134-142, 2001.

CORRÊA, P. C.; RESENDE, O. MARTINAZZO, A. P.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 27, n. 2, p. 501-507, maio/ago., 2007.

COSTA, C. C.; CASALI, V. W. D.; ANDRADE, N. J. Avaliação da droga *Vernonia polyanthes L.* – “assa-peixe” obtida a partir de dois métodos de secagem e em duas épocas de coleta. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Botucatu, SP, v. 1, n.2, p. 7-11, 1999.

CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. 2. ed. Oxford: Clarendon Press, 1975, 414 p.

CROTEAU, R.; DAVIS, E. M.; RINGER, K. L.; WILDUNG, M. R. (-) - Menthol biosynthesis and molecular genetics. **Naturwissenschaften**, Pullman, EUA, v. 92, n. 12, p. 562-577, 2005.

CULTIVANDO ÁGUA BOA. **Plantas medicinais**. 2005. Disponível em <http://www.cultivandoaguaboa.com.br/acao/nivel-1/plantas-medicinais>. Acesso 15 abr. 2011.

DAUDIN, J. D. Calcul des cinétiques de séchage par l'air chaud des produits biologiques solides. **Sciences des Aliments**, Cachan, França, v. 3, p. 1-36, 1983.

DAVID E. F. S.; MISCHAN, M. M.; BOARD, C. S. F. Desenvolvimento e rendimento de óleo essencial de mentha (*Mentha piperita L.*) cultivada em solução nutritiva com diferentes níveis de fósforo. **Biotemas**, Florianópolis, SC, v. 20, n. 2, p. 15-26, 2007.

de Janeiro: Sociedade Brasileira de Pediatria, 1990. p. 15-24.

DESCHAMPS, C.; ZANATTA, J. L.; BIZZO, H. R.; OLIVEIRA, M. C; ROSWALKA, L. C. Avaliação sazonal do rendimento de óleo essencial em espécies de menta. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 32, n. 3, p. 725-730, mai./jun. 2008.

DESCHAMPS, C.; ZANATTA, J. L.; ROSWALKA, L.; OLIVEIRA, M. C.; BIZZO, R.; ALQUINI, Y. Densidade de tricomas glandulares e produção de óleo essencial em *Mentha arvensis* L., *Mentha x piperita* L. e *Mentha cf. aquatica* L. **Ciência e Natura**, Santa Maria, RS, v. 28, n. 1, p. 23-34, 2006.

DOMIJAN, A. M.; PERAICA, M.; ZLENDER, V.; CVJETKOVIC, B.; TOPOLEVEC-PINTARIC, J.; IVIC, D. Seed borne fungi and ochratoxina: A contamination of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food and Chemical Toxicology**, Republic Croatia, v. 43, n. 3, p. 427-432, 2005.

DOYMAZ, I. Drying kinetics of White mulberry. **Journal of Food Engineering**, Netherlands, v. 61, p. 341 – 346, 2004.

DOYMAZ, I. Thin – layer during behavior of mint leaves. **Journal of Food Engineering**, Netherlands, v. 74, n. 3, p. 370-375, 2006.

ECCLES, R. Menthol and related cooling compounds. **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, Belfast, United Kingdom, v. 94, n. 46, p. 618-630, 1994.

ELDIN, S.; DUNFORD, A. **Fitoterapia na atenção primária à saúde**. São Paulo: Malone, 2001. 162 p.

ELIZABETSKY, E. New directions in ethnopharmacology. **Journal Ethnobiology**, Denton, USA, v. 6, n. 1, p. 121-128, 1986.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Recomendações técnicas para o cultivo de hortaliças em agricultura familiar**. Brasília, 2007. (Embrapa Hortaliças, Circular Técnica. n. 47).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999, 412 p.

FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA NO ESTADO DO PARANÁ - FAEP. Cultivo de Plantas medicinais requer especialistas. **Boletim informativo**, n. 3. p. 12-15, fev. 2010.

FERREIRA, D. F. **Sisvar**: versão 5.3 (Build 73). Lavras: Departamento de Ciências Exatas, Universidade Federal de Lavras, 2010.

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C. ; BOTELHO, F. M. ; OLIVEIRA, G. H. H. ; SANTOS, E. S. Propriedades físicas dos frutos de mamona durante a secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 33, p. 148-155, 2008.

GONNET, J. F. Colour effects of co-pigmentation of anthocyanins revisited-1. A colorimetric definition using the CIELAB scale. **Food Chemistry**, Villeurbanne, France, v. 63, n. 3, p. 409-415, 1998.

GRISI, M. C. M.; SILVA, D. B.; ALVES, R. B. N.; GRACINDO, L. A. M. B.; VIEIRA, R. F. Avaliação de genótipos de Menta (*Mentha* spp) nas condições do Distrito Federal, Brasil. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, SP, v. 8, n. 4, p. 33-39, 2006.

GUENTHER, E. **The essential oils**. 6. ed. Huntington, N. Y.: R. E. Krieger, 1972, 63 p.

HANDPRINT. **Modern color models**. Disponível em: <http://www.handprint.com/HP/WCL/color7.html#CIELAB>>. Acesso em: 25 fev. 2011.

- HERTWIG, I. F. V. **Plantas aromáticas e medicinais**. 1. ed. São Paulo, SP: Ícone, 1986. 449 p.
- HILL, B.; ROGER, Th.; VORHAGEN, F. W. Comparative analysis of the quantization of color spaces on the basis of the CIELAB color-difference formula. **ACM Transactions on Graphics**, New York, USA, v. 16, n. 2, p. 109-154, 1997.
- HONÓRIO, S. L.; MORETTI, C. L. Fisiologia pós-colheita de frutas e hortaliças. In: CORTEZ, L. A. B.; HONÓRIO, S. L.; MORETTI, C. L. (eds.). **Resfriamento de frutas e hortaliças**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. p. 59-81.
- KAKIOMENOU, K.; TASSOU, C.; NYCHAS, G. Microbiological physiochemical and organoleptic changes of shredded carrots stored under modified storage. **International Journal of Food Science Technology**, London, v. 31, p. 359-366, 1996.
- KASHANI-NEJAD, M. A.; MORTOZAVI, A.; SAFEKORDI, A. G. Thinlayer drying characteristics and modelling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, Netherlands, v. 78, p. 98-108, 2007.
- KAYA, A.; AYDIN, O. An experimental study on drying kinetics of some herbal leaves. **Energy Conversion and Management**, Trabzon, v. 50, p. 118-124, 2009.
- KAYS, S.J. Postharvest Physiology of Perishable Plant Products. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 532p.
- KEEY, R. B. **Drying principle and practices**. Oxford: Pergamon Press, 1972. 358 p.
- KOTHARI, R. The Indian essential oil industry. **Perfumer and flavorist**, Oak Park, v. 30, p. 46-50, 2005.
- LAVABRE, M. Os aromas e perfumes na história. In: LAVABRE, M. **Aromaterapia: a cura pelos óleos essenciais**. 4. ed., Rio de Janeiro: Record, 1997. cap. 1, p. 35-41.
- LIMA, H. R. P.; KAPLAN, M. A. C.; CRUZ, A. V. M. Influência dos fatores abióticos na produção e variabilidade de terpenóides em plantas. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.10, p. 71-77, 2003.
- LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2002. 512 p.
- LUZ, J. M.; EHLERT, P. A.; INNECCO, R. Horário de colheita e tempo de secagem da alfavaca-cravo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 27, n. 4, out./dez., 2009.
- MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. Thin layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, Netherlands, v. 29, p. 75-97, 1996.
- MAIA N. B. Efeito da nutrição mineral na qualidade do óleo essencial da menta (*Mentha arvensis*) Cultivada em solução nutritiva. In: MING, L. C. **Plantas medicinais aromáticas e condimentares: avanços na pesquisa agrônômica**. Botucatu: UNESP, 1998, p. 81-96.
- MARCHESE, J. A.; FIGUEIRA, G. M. O uso de tecnologias pré e pós-colheita e boas práticas agrícolas na produção de plantas medicinais e aromáticas. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**. Botucatu, SP, v. 7, n. 3, p. 86-96, 2005.

MARTINAZZO, A. P.; CORRÊA. P. C.; MELO. E. C. Avaliação colorimétrica de folhas secas de *Cymbopogon citratus* (D.C) Stapf durante o armazenamento em diferentes embalagens. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, PB, v. 10, n. 2, p. 131-140, 2008.

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

MARTINAZZO, A. P.; MELO, E. C.; CORRÊA, P. C.; SANTOS, R. H. S. Modelagem matemática e parâmetros qualitativos da secagem de folhas de capim-limão [*Cymbopogon citratus* (D.C.). Stapf]. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, SP, v. 12, n. 4, p. 488-498, 2010.

MARTINS, E. R.; CASTRO, D. M.; CASTELLANI, D. C.; DIAS, J. E. **Plantas medicinais**. Viçosa, MG: UFV, 1994. 220 p.

MARTINS, P. M. **Influência da temperatura e velocidade do ar de secagem no teor e na composição química do óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon citratus* (D.C.) STAPF)**. 2000. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

MARUYAMA, N.; SEKIMOTO, Y.; ISHIBASHI, H.; INOUE, S.; OSHIMA, H.; YAMAGUCHI, H. ABE, S. Suppression of neutrophils accumulation in mice by cutaneous application of geranium essential oil. **Journal Inflammation**, London, United Kingdom, v. 2, n. 1, p. 34-39, 2005.

MATOS, F. J. A.; MACHADO, M. I. L.; CRAVEIRO, A. A.; ALENCAR, J. W.; SILVA, M. G. V. Medicinal plants of northeast Brazil containing tymol an carvacrol – *Lippia sidoides* Cham. and *L. gracillis* H. B. K. (Verbenaceae). **Journal Essential Oil Research**, Carol Stream, v. 11, p. 666-668, nov./dez. 1999.

MATTOS, S. H. Perspectivas do cultivo de plantas medicinais para a fitoterapia no Estado do Ceará. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 18, p. 45-46, 2000.

MATTOS, S. H.; INNECCO, R. Idade ideal de corte da *Mentha arvensis* L. como produtora de óleo essencial e mentol para o Estado do Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, SP, v. 5, p.15-18, 2002.

MELO, E. C.; RADÜNZ, L. L.; MELO, R. C. A. Influência do processo de secagem na qualidade de plantas medicinais – Revisão. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 12, n. 4, p. 307-315, 2004.

MING, L. C.; FIGUEIREDO, R. O.; MACHADO, S. R.; ANDRADE, R. M. C. Yield of essential oil of and citral content in different parts of lemongrass leaves (*Cymbopogon citratus* D.C.) tapf.) Poaceae. **Acta Horticulturae**, Amnherst, EUA, n. 426, p. 555–559, 1996.

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, London, v. 66, n. 4, p. 513-518, 2005.

MOSCIANO, G. Organoleptic characteristics off lavor materials. **Perfumer and Flavorist**, Oak Park, v. 30, n.4, p.52-56, 2005.

MUJAMDAR, A. S. **Handbook of industrial drying**, 2. ed. New York: Marcel Dekker Inc., 1995. 1150 p.

- MUÑOZ, F. **Plantas medicinales y aromáticas: estudio, cultivo y procesado**. Madrid: Mundi-Prensa, 2002. 365 p.
- NAGAO, E. O.; INNECCO, R.; MATTOS, S. H.; MARCOS, C. A. Influência do período de secagem nas estações seca e chuvosa no óleo essencial de *Lippia alba* (Mill) N.E.Br., nas condições do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, CE, v. 36, n.1, p. 53-59, jan./abr., 2005.
- OLIVEIRA, R. A. G.; LIMA, E. O.; VIEIRA W. L.; FREIRE, K. R. L.; TRAJANO, V. N.; LIMA, I. O.; SOUZA, E. L.; TOLEDO, M. S.; SILVA-FILHO, R. N. Estudo da interferência de óleos essenciais sobre a atividade de alguns antibióticos usados na clínica. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, Curitiba, PR, v. 16, n. 1, p. 77-82, 2006.
- OLIVEIRA, R. A.; OLIVEIRA, W. P.; PARK, K. J. Determinação da difusividade efetiva de raiz de chicória. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 26, p. 181-189, 2006.
- OZTEKIN, S.; BAŞÇETINÇELİK, A.; SOYSAL, Y. Crop drying program in Turkey. **Renewable Energy**, Kidlington, v. 16, n. 3, p. 789-794, 1999.
- PANCHARIYA, P. C.; POPOVIC, D.; SHARMA, A. L. Thin-layer modeling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**, Davis, v. 52, n. 4, p. 349-357, 2002.
- PARANÁ. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná - SEAB, Departamento de Economia Rural. **Comunicação pessoal Eng. Agr. Gilka Cardoso Andretta**, 2006.
- PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra bartlett (*Pyrus* sp) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, SP, v. 21, n. 3, p. 288-292, 2001.
- PARK, K.J.; VOHNIKOZA, Z.; BROD, F.P.R. Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa* L.). **Journal of Food Engineering**, London, v. 51, n. 3, p. 193-199, 2002.
- PATEL, T.; ISHIUJI, Y.; YOSIPOVITCH, G. Menthol: A refreshing look at this ancient compound. **Journal of the American Academy of Dermatology**. Salem, v.57, n.5, p. 873-878, 2007.
- PAULUS, D.; MEDEIROS, S. L. P.; SANTOS, O. S.; MANFRON P. A.; PAULUS, E.; FABBRIN, E. Teor e qualidade do óleo essencial de menta (*Mentha arvensis* L.) produzida sob cultivo hidropônico e em solo. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, SP, v. 9, n. 2, p. 80-87, 2007.
- PEGORARO, R. L.; FALKENBERG, M. B.; VOLTOLINI, C.; SANTOS, M.; PAULILO, T.; Produção de óleos essenciais em plantas de *Mentha x piperita* L. var. *piperita* Lamiaceae) submetidas a diferentes níveis de luz e nutrição do substrato. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, SP, v. 33, n. 4, p. 631-637, out./dez. 2010.
- PONTES, S. F. O.; SANTOS, C. T.; BONOMO, R. C. F.; PONTES, L. V.; FONTAN, R. C. I. Determinação das curvas de secagem em camada delgada de pimenta de cheiro (*Capsicum chinense*) a diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, PB, v. 11, n. 2, p. 143-148, 2009.
- PRATES, M. O.; PIZZILO, T. A.; TÔRRES, A. G.; MELO, E. C. Modelagem matemática de um sistema de secagem de plantas medicinais e aromáticas. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 15, n. 2, p. 96-108, abr./jun. 2007

- PUSHPANGADAN, P.; TEWARI, S. K. Peppermint. In: PETER, K. V. **Handbook of herbs and spices**, Cambridge, England, v. 3, 2006, 537 p.
- QUEIROZ, M. PEREIRA, J. A. M.; MELO, E. C. **Modelos matemáticos de simulação de secagem de grãos**. Viçosa: Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem, 1985. 59 p.
- RADÜNZ, L. L.; AMARAL, A. S.; MOSSI, S. J.; MELO, E. C.; ROCHA, R. P. Avaliação da cinética de secagem da carqueja. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 19, n. 1, jan./fev. 2011.
- RADÜNZ, L. L.; MELO, E. C.; BARBOSA, L. C. A.; SANTOS, R. H. S.; BARBOSA, F. F.; MARTINAZZO, A. P. Influência da temperatura do ar de secagem no rendimento do óleo essencial de hortelã-comum (*MENTHA X VILOSA HUNDS*). **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 14, n. 4, p. 250-257, 2006.
- REIS, R. C.; BARBOSA, L. S.; LIMA, M.; REIS, J. S.; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. R. Modelagem matemática da secagem da pimenta Cumari do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 15, n. 4, p. 347-353, 2011.
- RESENDE, O.; CORRÊIA, 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**, Campina Grande, SP, v. 10, n. 1, p. 17-26, 2008.
- ROCHA, S. F. R.; MING, L. C.; MARQUES, M. O. M. Influência de cinco temperaturas de secagem no rendimento e composição do óleo essencial de citronela (*Cymbopogon winterianus* Jowitt) **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, SP, v. 3, n. 1, p. 73-78, 2000.
- RODRIGUES, C. R.; FAQUIN, V., TREVISAN, D.; PINTO, J. E. B. P.; BERTOLUCCI, S. K. V.; RODRIGUES, T. M. Nutrição mineral, crescimento e teor de óleo essencial da menta (*Mentha x piperita* L.) em solução nutritiva sob diferentes concentrações de fósforo e época de coleta. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 22, p. 573-578, 2004.
- ROMERO-PEÑA, L. M.; KIECKBUSCH, T. G. Influência de condições de secagem na qualidade de fatias de tomate. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, SP, v. 6, n. 1, p. 69-76, 2003.
- RUSSOMANNO, O. M. R.; KRUPPA, P. C.; FIGUEIREDO, M. B. Oidium cisteri – punicei em plantas de hortelã-pimenta. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 30, n. 5, p. 551-557, 2005.
- SANGANERIA, S. ULTRA INTERNATIONAL LIMITED. Vibrant India. Opportunities for the flavor and fragrance industry. **Perfumer and Flavorist**, Oak Park, v. 30, n. 7, p. 24-34, 2005.
- SCAVRONI, J.; BOARO, C. S. F.; MAYO MARQUES, M. O.; FERREIRA, L. C. Yield and composition of the essential oil of *Mentha piperita* L., (Lamiaceae). grown with biosolid, **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, RJ, v. 17, n. 4, p. 345-352, 2005.
- SCHVARTSMAN, S. Plantas venenosas. In: **Manual sobre intoxicações alimentares**. Rio
- SILVA, D. B; VIEIRA, R. F.; ALVES, R. B. N.; MENDES, R. A.; CARDOSO, L. D.; QUEIROZ, L.; SANTOS, I. R. I. Mint (*Mentha* spp) germplasm conservation in Brazil. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, SP, v. 8, n. esp., p. 27-31, 2006.

SILVA, F.; PARK, K. J.; MAGALHÃES, P. M. Isotermas de dessecção de *Calendula officinalis* L.: determinação experimental e modelagem matemática. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, SP, v. 9, n. 1, p. 21-28, 2007.

SILVA, J. S. **Pré-processamento de produtos agrícolas**. Juiz de Fora, MG: Instituto Maria, 1995, 509 p.

SILVA, J. S.; AFONSO, A. D. L.; GUIMARÃES, A. C. Estudos dos métodos de secagem. In: SILVA, J. S. **Pré-processamento de produtos agrícolas**. Juiz de Fora, MG: Instituto Maria, 1995, p. 105-143.

SIMÕES, C. M.; SPITZER, V. Óleos voláteis. In: SIMÕES, C. M. (Org). **Farmacognosia da planta ao medicamento**. 5. ed. Porto Alegre, Florianópolis: UFRGS/UFSC, 2003, cap. 18, p. 467-495.

SINGH, D. SIDDIQUI, M. S. Reproduction retardant and fumigant properties in essential oils against Rice weevil (Coleóptera: Curculionidae) in stored wheat. **Journal of Economic Entomology**, California, v. 82, n. 3, p. 727-733, 2003.

STATSOFT, INC. **Statistics for Windows** [Computer program manual]. Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2007.

TECNOCOR. **Curso sobre aplicações em colorimetria e aparência**. São Paulo. 2003. 140 p.

TURNER, G. W.; CROTEAU, R. Organization of monoterpene biosynthesis in *Mentha*. Immunocytochemical localizations of geranyl diphosphate synthase, limonene-6-hidroxiylase, isopiperitenol dehydrogenase, and pulegone reductase. **Plant Physiology**, Waterbury, USA, v.136, p. 4215- 4227, 2004.

TURNER, G. W.; GERSHENZON, J.; CROTEAU, R. Development of peltate glandular trichomes of peppermint. **Plant Physiology**. Waterbury, USA, v. 124, p. 675-679, 2000.

VALMORBIDA, J.; BOARO, C. F. S.; MARQUES, M. O. M.; FERRI, A. F. Rendimento e composição química de óleos essenciais de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de potássio. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, SP, v. 8, p. 56-61, 2006.

VEASEY, D. P. Effect of ambient conditions on oven methods of moisture measurement. **Milling**, London, v. 153, n. 1, p. 17-18, 1971.

VENSKUTONIS, P. R. Effect of drying on the volatile constituents of thyme(*Thymus vulgaris* L.) and sage (*Salvia officinalis* L.).**Food Chemistry**, Villeurbanne, França, v. 59, n.2, p.219-227, 1997.

VILELA, C. A. A.; ARTUR, P. O. Secagem do açafrão (*Curcuma longa* L) em diferentes cortes geométricos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, SP, v. 28, p. 387-394, 2008.

WAGNER, H. Phytomedicine Research in Germany. **Environmental health perspectives**, Munich, v. 107, n° 10, p. 779-781, 1999.

WANG, C. Y.; SINGH, R. P. Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, v. 11, n. 78, p. 3001-, 1978.

WATANABE, C. H.; NOSSE, T. M.; GARCIA, C. A.; PINHEIRO POUH, N. Extração do óleo essencial de menta (*Mentha arvensis* L.) por destilação por arraste a vapor e extração com etanol. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**. Botucatu, SP, v. 8, n. 4, p. 76-86, 2006.

ZEINALI, H.; ARZANI, A.; RAZMJOO, K.; REZAEE, M. B. Evaluation of oil compositions of Iranian mints (*Mentha* spp.). **Journal of Essential Oil Research**, Carol Stream, IL, n. 14, p. 365-372, 2005.

ZENEBON, O.; PASCUET, N. S.; TIGLEA, P. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. **In: Condimentos e vinagres**, São Paulo; Instituto Adolfo Lutz, 2008, cap. 28, p. 888-889.

ZOGZAS, N. P.; MAUROULIS, Z. B.; MARINOS – KOURIS, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. **Drying Technology**, Philadelphia, v. 14, p. 2225-2253, 1996.

## **ANEXOS**

## ANEXO A – PLANTAS MEDICINAIS

**Tabela 1A** Plantas medicinais descritas pela ANVISA

Nomenclatura botânica	Nomenclatura popular	Finalidade
<i>Achillea millefolium</i>	Mil folhas	Falta de apetite, dispepsia (perturbações digestivas), febre, inflamação e cólicas
<i>Achyrocline satureioides</i>	Macela; Marcela; Marcela do campo	Má digestão e cólicas intestinais; como sedativo leve; e como antiinflamatório
<i>Aesculus hippocastanum</i>	Castanha da Índia	Fragilidade capilar, insuficiência Venosa (hemorroidas e varizes)
<i>Ageratum conyzoides</i>	Mentrassto, Catinga de bode	Dores articulares (Artrite, artrose) e reumatismo
<i>Allium sativum</i>	Alho	Hipercolesterolemia (colesterol elevado). Atua Como expectorante e anti-séptico
<i>Anacardium occidentale</i>	Cajueiro	Diarreia não infecciosa/ Lesões como anti-séptico e cicatrizante
<i>Arctium lappa</i>	Bardana	Dispepsia (Distúrbios digestivos). Como diurético e Como antiinflamatório nas dores Articulares (artrite)/ Dermatites (irritação da pele), como anti-séptico e antiinflamatório
<i>Arnica montana</i>	Arnica	Traumas, contusões, torções, edemas devido a fraturas e torções. Hematomas
<i>Baccharis trimera</i>	Carqueja; Carqueja amarga	Dispepsia (Distúrbios da digestão)
<i>Bidens pilosa</i>	Picão	Icterícia (coloração amarelada de pele e mucosas devido a uma acumulação de bilirrubina no organismo)
<i>Calendula officinalis</i>	Calêndula	Inflamações e lesões, contusões e queimaduras
<i>Caesalpinia ferrea</i>	Jucá, Pauferro	Lesões, como adstringente, hemostático, cicatrizante e anti-séptico
<i>Casearia sylvestris</i>	Guaçaton ga, Ervade-bugre, Erva-delagarto	Dor e lesões, como antiséptico E cicatrizante tópico/ Dispepsia (distúrbios digestivos), gastrite e halitose (mal hálito)
<i>Cinnamomum verum</i>	Canela, Canelado-Ceilão	Falta de apetite, perturbações digestivas com cólicas leves, flatulência (gases) e sensação de plenitude gástrica
<i>Citrus aurantium</i>	Laranja amarga	Quadros leves de ansiedade

Nomenclatura botânica	Nomenclatura popular	Finalidade
<i>Cordia verbenacea</i> <i>Curcuma longa</i>	Erva baleeira Curcuma, Açafroa, Açafrão da Terra	e insônia, como calmante suave Inflamação em contusões Dispepsia (distúrbios digestivos). Como anti-inflamatório
<i>Cymbopogon citratus</i>	Capim santo, Capim limão, Capim cidró, Capim cidreira, Cidreira	Cólicas intestinais e uterinas. Quadros leves de ansiedade e insônia, como calmante suave
<i>Cynara scolymus</i>	Alcachofra	Dispepsia (distúrbios da digestão)
<i>Echinodorus macrophyllus</i>	Chapéu de couro	Edemas (inchaço) por retenção de líquidos e processos inflamatórios
<i>Equisetum arvense</i>	Cavalinha	Edemas (inchaços) por retenção de líquidos
<i>Erythrina verna</i>	Mulungu	Quadros leves de ansiedade e insônia, como calmante suave
<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalipto	Gripes e resfriados para Desobstrução das vias respiratórias, como adjuvante no tratamento de bronquite e asma
<i>Eugenia uniflora</i>	Pitangueira	Diarreia não infecciosa
<i>Glycyrrhiza glabra</i>	Alcaçuz	Tosses, gripes e resfriados
<i>Hamamelis virginiana</i>	Hamamélis	Inflamações da pele e mucosas. Hemorroidas
<i>Harpagophy tumprocumbens</i>	Garra do diabo	Dores articulares (Artrite, artrose, artralgia)
<i>Illicium verum</i>	Anis estrelado	Bronquite como expectorante
<i>Justicia pectoralis</i> <i>Lippia alba</i>	Chambá, Trevocumaru Ervacidreira, ervacidreira, Falsamelissa	Chachambá, Falsa
<i>Lippia sidoides</i>	Alecrim pimenta	Tosse, como expectorante e broncodilatador Quadros leves de ansiedade e insônia, como calmante suave. Cólicas abdominais, distúrbios estomacais, flatulência (gases), como digestivo, e expectorante
<i>Malva sylvestris</i>	Malva	Inflamações da boca e garganta, como antiséptico Afecções respiratórias Como expectorante/ Contusões e dos processos inflamatórios da boca e garganta
<i>Matricaria recutita</i>	Camomila	Cólicas intestinais. Quadros leves de ansiedade, como calmante suave/ Contusões e dos processos inflamatórios da boca e gengiva
<i>Maytenus ilicifolia</i>	Espinheira santa	Dispepsia (distúrbios da digestão), azia e gastrite.

Nomenclatura botânica	Nomenclatura popular	Finalidade
		Coadjuvante no tratamento de úlcera.
<i>Melissa officinalis</i>	Melissa, Ervacidreira	Cólicas abdominais. Quadros leves de ansiedade e insônia, como calmante suave
<i>Mentha x piperita</i>	Hortelã-pimenta	Cólicas, flatulência (gases), problemas hepáticos
<i>Mentha pulegium</i>	Poejo	Afecções respiratórias como expectorante. Estimulante do apetite, perturbações digestivas, espasmos gastrointestinais, cálculos biliares e colecistite
<i>Mikania glomerata</i>	Guaco	Gripes e resfriados, bronquites alérgica e infecciosa, como expectorante
<i>Momordica charantia</i>	Melão-de- São- Caetano	Dermatites (irritação da pele) e escabiose (sarna)
<i>Passiflora alata</i>	Maracujá	Quadros leves de ansiedade e insônia, como calmante suave
<i>Passiflora edulis</i>	Maracujá azedo	Quadros leves de ansiedade e insônia, como calmante suave
<i>Passiflora incarnata</i>	Maracujá	Quadros leves de ansiedade e insônia, como calmante suave
<i>Paullinia cupana</i>	Guaraná	Fadiga como estimulante
<i>Peumus boldus</i>	Boldo-do-chile	Dispepsia (distúrbios da digestão), como colagogo e colerético
<i>Phyllanthus niruri</i>	Quebrapedra	Litíase renal (cálculos renais) por auxiliar na eliminação de cálculos renais pequenos
<i>Pimpinella anisum</i>	Anis, Erva doce	Dispepsia (distúrbios digestivos), cólicas gastrointestinais e como expectorante
<i>Plantago major</i>	Tanchagem; Tansagem,	Inflamações da boca e faringe
<i>Plectranthus barbatus</i>	Tranchagem	Dispepsia (distúrbios da digestão) e hipotensão (pressão baixa)
<i>Polygala senega</i>	Boldonacional, Hortelãhomem, Falsoboldo, Boldoafricano	Congestão respiratória, Como expectorante
<i>Polygonum punctatum</i>	Polígala	Varizes e úlceras varicosas
<i>Psidium guajava</i>	Erva-debicho, Pimenteira- dágua	Diarreias não infecciosas, Pele e mucosas lesadas, como anti-séptico
<i>Punica granatum</i>	Goiabeira	Inflamações e infecções da mucosa da boca e faringe como antiinflamatório e anti-séptico
<i>Rhamnus purshiana</i>	Romã	Constipação intestinal eventual
	Cáscara sagrada	

Nomenclatura botânica	Nomenclatura popular	Finalidade
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Alecrim	Distúrbios circulatórios, como antiséptico cicatrizante
<i>Salix alba</i>	Salgueiro	Inflamação, dor e febre.
<i>Salvia officinalis</i>	Sálvia	Gripe e resfriados Inflamações da boca e garganta, gengivites e aftas, Dispepsias (distúrbios digestivos) e transpiração excessiva
<i>Sambucus nigra</i>	Sabugueiro	Gripe e resfriado
<i>Schinus terebinthifolia</i>	Aroeirada- praia	Inflamação vaginal, leucorreia (corrimento vaginal), como hemostático, adstringente e cicatrizante
<i>Senna alexandrina</i>	Sene	Constipação intestinal eventual
<i>Solanum paniculatum</i>	Jurubeba	Dispepsia (distúrbios da digestão)
<i>Stryphnodendrom adstrigens</i>	Barbatimão	Lesões como cicatrizante e anti-séptico tópico na pele e mucosas bucal e genital
<i>Taraxacum officinale</i>	Dente de leão	Dispepsia (distúrbios digestivos), estimulante do apetite e como diurético
<i>Uncaria tomentosa</i>	Unha-degato	Dores articulares (artrite e artrose) e musculares agudas, como antiinflamatório
<i>Vernonia condensata</i>	Boldobaiano	Dor e dispepsia
<i>Vernonia polyanthes</i>	Assapeixe	Bronquite e tosse persistente, Dores musculares
<i>Zingiber officinale</i>	Gengibre	Enjôo, náusea e vômito da gravidez, de movimento e pós-operatório. Dispepsias em geral

**ANEXO B – COEFICIENTES PARA A VELOCIDADE DE 0,3 m.s<sup>-1</sup>**

**Tabela 2A** Coeficiente de determinação, erro médio relativo e erro estimado dos modelos matemáticos para velocidade 0,3 m.s<sup>-1</sup>

Modelos Matemáticos	T ( C )	R <sup>2</sup> (%)	P(%)	ε
Page	30	99,1	33,5	0,029
	40	98,8	74,54	0,030
	50	95,7	56,81	0,061
	60	98,82	28,24	0,035
	70	99,93	13,69	0,010
Henderson e Pabis	30	99,14	25,29	0,028
	40	97,63	39,37	0,043
	50	95,4	45,79	0,064
	60	98,74	36,82	0,037
	70	99,91	18,57	0,011
Midilli	30	99,19	22,28	0,027
	40	99,57	9,82	0,018
	50	98,76	58,99	0,061
	60	98,98	19,64	0,032
	70	99,94	11,64	0,009
Wang Sing	30	96,86	121,7	0,077
	40	93,9	154,41	0,100
	50	94,01	53,69	0,079
	60	98,52	27,15	0,042
	70	99,3	30,61	0,034
Page Modificado	30	99,1	33,5	0,029
	40	98,8	74,54	0,030
	50	95,7	56,81	0,061
	60	98,82	28,24	0,035
	70	99,93	13,69	0,010
Newton	30	99,1	23,07	0,035
	40	97,65	32,53	0,056
	50	95,5	42,91	0,065
	60	98,76	37,35	0,037
	70	99,91	18,62	0,012
Logarítmo	30	99,14	28,64	0,028
	40	97,69	60,63	0,043
	50	95,6	60,69	0,062
	60	98,98	17,98	0,032
	70	99,94	11,71	0,009
Henderson e Pabis Modificado	30	99,25	25,77	0,026
	40	99,28	54,07	0,024
	50	95,75	50,85	0,061
	60	98,74	36,82	0,037
	70	99,91	18,57	0,011

Modelos Matemáticos	T ( C)	R <sup>2</sup> (%)	P(%)	$\mathcal{E}$
Exponencial de Dois Termos	30	99,18	25,69	0,027
	40	98,73	44,08	0,034
	50	95,73	52,09	0,061
	60	98,76	37,49	0,037
	70	99,91	18,62	0,012
Dois Termos	30	99,17	26,63	0,027
	40	98,73	44	0,034
	50	95,74	51,97	0,061
	60	98,74	36,82	0,037
	70	99,91	18,62	0,012
Aproximação da difusão	30	99,25	25,77	0,026
	40	99,28	54,06	0,024
	50	95,74	51,98	0,061
	60	98,86	26,49	0,034
	70	99,91	18,63	0,010

ANEXO C – COEFICIENTES PARA A VELOCIDADE DE 0,5 m.s<sup>-1</sup>**Tabela 3A** Coeficiente de determinação, erro médio relativo e erro estimado dos modelos matemáticos para velocidade 0,5 m.s<sup>-1</sup>

Modelos Matemáticos	T ( C)	R2 (%)	P(%)	$\mathcal{E}$
Page	30	99,14	59,3	0,027
	40	98,85	48,48	0,033
	50	99,48	17,02	0,022
	60	99,77	24,92	0,017
	70	99,53	45,98	0,028
Henderson e Pabis	30	99,25	55,51	0,025
	40	97,78	30,9	0,041
	50	99,48	16,92	0,022
	60	99,75	30,72	0,018
	70	99,15	110,94	0,038
Midilli	30	99,7	7,74	0,015
	40	98,82	24,95	0,029
	50	99,5	15,5	0,021
	60	99,88	9,85	0,011
	70	99,56	70,34	0,026
Wang Sing	30	98,58	70,92	0,047
	40	94,84	104,96	0,098
	50	98,15	35,41	0,05
	60	98,87	39,92	0,039
	70	99,5	77,61	0,028
Page Modificado	30	99,14	59,3	0,027
	40	98,52	48,48	0,033
	50	99,48	17,02	0,022
	60	99,77	24,92	0,017
	70	99,53	45,98	0,028
Newton	30	99,14	51,04	0,028
	40	97,84	25,84	0,058
	50	99,47	16,75	0,022
	60	99,76	30,91	0,018
	70	99,16	111,54	0,038
Logarítmo	30	*	*	*
	40	*	*	*
	50	99,48	15,65	0,021
	60	99,84	9,66	0,013
	70	99,3	46,76	0,033
Henderson e Pabis Modificado	30	99,25	55,51	0,025
	40	98,86	30,25	0,029
	50	99,48	16,91	0,022
	60	99,75	30,72	0,018
	70	99,15	110,94	0,038

Modelos Matemáticos	T ( C)	R2 (%)	P(%)	$\varepsilon$
Exponencial de Dois Termos	30	99,3	57,22	0,025
	40	98,51	31,94	0,038
	50	99,48	17,05	0,022
	60	99,77	24,31	0,016
	70	99,54	49,94	0,027
Dois Termos	30	99,25	55,51	0,025
	40	98,85	36,42	0,029
	50	99,48	16,92	0,022
	60	99,75	30,72	0,018
	70	99,15	73,95	0,031
Aproximação da difusão	30	99,3	56,97	0,025
	40	98,85	36,41	0,029
	50	99,48	17,04	0,022
	60	99,78	23,55	0,016
	70	99,54	34,49	0,022