

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA E DE ALIMENTOS

SECAGEM CONVECTIVA DE ERVA-MATE
(Ilex paraguariensis)

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do
título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Curso de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos.
Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos.
Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Prof^a.Dr^a. Mara G.N. Quadri
Co-orientador: Prof. Dr. José Alexandre Borges Valle

RITA DE CÁSSIA DA SILVEIRA BENDLIN

FLORIANÓPOLIS

2003

SECAGEM CONVECTIVA DE ERVA-MATE
(Ilex paraguariensis)

RITA DE CÁSSIA DA SILVEIRA BENDLIN

Dissertação julgada para obtenção de Título de Mestre em Engenharia de Alimentos e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da UFSC.

Prof. João Laurindo Borges
Coordenador do CPGEA

BANCA EXAMINADORA:

Prof^a. Dr^a. Mara G. N. Quadri
Orientadora (EQA/CTC/UFSC)

Prof. Dr. José Alexandre Borges Valle
Co-orientador (Departamento de Engenharia Química, FURB)

Prof^a. Dr^a. Alcilene Rodrigues Monteiro Fritz
Membro interno (EQA/CTC/UFSC)

Prof^a. Dr^a. Rita de Cássia Curto Valle
Membro externo (Departamento de Engenharia Química, FURB)

Mais do que o seu consumo por bebedores isolados, que assim se refazem das canseiras do dia, sobreleva os poderes associativos da erva, que reforça amizade dos que se delicias ao "matear" em companhia amistosa, utilizando a mesma cuia e bombilha.

(Virgílio Correa Filho, 1957)

Agradecimentos

À professora Mara G. N. Quadri por ter aceito a orientação, pelas palavras de estímulo e principalmente pela orientação e correção deste trabalho.

Ao Departamento de Engenharia Química (FURB), professor José Alexandre Borges Valle pela orientação, apoio, empenho e correção deste trabalho.

A acadêmica Suzane Miorelli pelo auxílio, fornecendo parte da matéria-prima utilizada no estudo de secagem e na realização de ensaios de secagem.

A Statsoft South América pela parceria fornecendo o programa "Statística"® (www.statsoft.com.br).

Aos colegas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste.

Aos professores membros da banca examinadora, pelas contribuições e sugestões que melhoraram muito meu trabalho.

A meu tio avô Alexandre Weinhardt da Silveira (Industrial ervateiro, proprietário do Engenho de Beneficiamento Herva-Matte Legendária, na cidade da Lapa/Pr) por ter colaborado, disponibilizando material e seu precioso tempo em visitas a barbaquás: tradicional, mecânico e grande indústria ervateira; estes todos localizados em São Mateus do Sul, Paraná; principalmente pela paixão que sente pelo seu trabalho e importante produto "erva-mate".

Aos meus pais, por acreditarem na importância deste estudo, fornecendo a matéria-prima para a realização deste trabalho.

Ao meu marido Daniel e meu filho Gustavo, pelo constante estímulo e pelo grande sentido que dão a minha vida.

Sumário

LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
NOMENCLATURA.....	xi
GLOSSÁRIO	xii
RESUMO	xiii
ABSTRACT.....	xv
1 Introdução.....	01
2 Revisão Bibliográfica.....	04
2.1 Matéria-prima: Erva-mate.....	04
2.1.1 Generalidades.....	04
2.1.2 Características da erva-mate.....	07
2.1.2.1 Características físicas da erva-mate...	07
2.1.2.2 Características organolépticas.....	07
2.1.2.3 Propriedades medicinais.....	08
2.1.2.4 Valor alimentício da erva-mate.....	09
2.1.2.5 Usos alternativos da erva-mate.....	10
2.1.3 Processamento da erva-mate.....	10
2.1.3.1 Colheita.....	11
2.1.3.2 Transporte.....	12
2.1.3.3 Branqueamento.....	12
2.1.3.4 Secagem.....	14
2.1.3.5 Trituração.....	17
2.1.3.6 Beneficiamento.....	18
2.1.3.7 Armazenagem.....	19
2.1.3.8 Moagem.....	19
2.1.4 Áreas de distribuição e produção de erva...	20
2.1.5 Perspectivas mercadológicas e estratégias para a erva-mate.....	22
2.2 Desidratação de vegetais.....	24

2.2.1	Comportamento Geral na Secagem.....	26
2.2.1.1	Período inicial de secagem.....	30
2.2.1.2	Período de taxa constante.....	30
2.2.1.3	Primeiro período de taxa decrescente	32
2.2.1.4	Segundo período de taxa decrescente..	34
2.2.2	Descrição matemática do processo de secagem.....	34
3	Materiais e Métodos.....	38
3.1	Obtenção e preparo da matéria-prima.....	38
3.1.1	Corte e colheita.....	39
3.1.2	Transporte e recepção.....	39
3.1.3	Seleção e embalagem.....	40
3.1.4	Armazenamento.....	40
3.2	Processos de Secagem.....	40
3.2.1	Secagem em desidratador.....	40
3.2.2	Secagem em estufa com circulação de ar...	40
3.3	Equipamentos utilizados na secagem.....	41
3.4	Planejamento experimental.....	42
3.5	Curvas e cinéticas de secagem.....	44
3.6	Análises.....	45
3.6.1	Teor de Umidade.....	45
3.7	Modelagem	46
4	Resultados e discussão.....	49
4.1	Considerações iniciais.....	49
4.2	Planejamento experimental.....	50
4.3	Estudo do processo de secagem.....	51
4.3.1	Curvas de secagem.....	55
4.3.2	Cinética de secagem.....	60
4.4	Coeficiente de difusão efetivo.....	61
4.5	Avaliação qualitativa da erva-mate seca.....	63
5	Conclusões e Sugestões.....	65

5.1	Conclusões.....	65
5.2	Sugestões.....	66
6	Referências Bibliográficas.....	68
	ANEXO A - Componentes da Erva-mate.....	75

Lista de Tabelas

Tabela 2.1	-	Aplicação da erva-mate x usos alternativos...	11
Tabela 2.2	-	Comercialização da erva-mate (toneladas/ano) produzida e industrializada em Santa Catarina, 1999.....	22
Tabela 3.1	-	Variáveis codificadas.....	43
Tabela 3.2	-	Planejamento saturado para avaliar as variáveis que mais afetam a secagem de erva-mate.....	43
Tabela 3.3	-	Planejamento espelho.....	44
Tabela 4.1	-	Variáveis codificadas.....	50
Tabela 4.2	-	Planejamento saturado para avaliar as variáveis que mais afetam a secagem de erva-mate.....	51
Tabela 4.3	-	Planejamento espelho.....	52
Tabela 4.4	-	Cálculo dos efeitos.....	53
Tabela 4.5	-	Cálculo dos efeitos para o planejamento espelho.....	53
Tabela 4.6	-	Efeitos puros erva-mate	53
Tabela 4.7	-	Efeitos secundários confundidos da erva-mate.	55
Tabela 4.8	-	Valores de difusividade efetiva para erva-mate crua e sapecada, em camada delgada e espessa.....	62
Tabela A.1	-	Composição média em 100 gramas de erva-mate..	73
Tabela A.2	-	Composição mineral em 100 gramas de erva-mate.....	73
Tabela A.3	-	Composição vitamínica em 100 gramas de erva-mate.....	74
Tabela A.4	-	Influência dos componentes nas características organolépticas da erva-mate..	74

Lista de Figuras

Figura 2.1	- Erveira nativa.....	05
Figura 2.2	- Galho de erva-mate, com flores.....	05
Figura 2.3	- Erva-mate crua (parte superior da figura) e erva-mate com pré-tratamento a 300°C por 5 segundos (sapeco, parte inferior).....	13
Figura 2.4	- Folha de erva-mate com manchas pretas, provavelmente devido à falhas durante o sapeco.....	13
Figura 2.5	- Esquema de sapecador mecânico.....	14
Figura 2.6	- Barbaquá tipo brasileiro.....	16
Figura 2.7	- Esquema de um barbaquá de esteiras.....	17
Figura 2.8	- Curva de Secagem	28
Figura 2.9	- Taxa de secagem em função da umidade, em base seca, do material.....	29
Figura 3.1	- Erva-mate crua (parte superior) e erva-mate com pré-tratamento a 300°C por 5 segundos (sapeco, parte inferior).....	38
Figura 3.2	- Fluxograma da preparação da erva-mate.....	39
Figura 3.3	- Desenho esquemático do sistema de secagem de erva-mate no desidratador.....	41
Figura 3.4	- Curva de secagem de erva-mate, ilustrando os dois períodos de Def.....	48
Figura 4.1	- Curva Secagem Adimensional, erva-mate in natura.....	57
Figura 4.2	- Curva Secagem Adimensional, erva-mate branqueada.....	58
Figura 4.3	- Curva Secagem Adimensional, erva-mate in natura e branqueada em camada delgada.....	59
Figura 4.4	- Curva Secagem Adimensional, erva-mate in natura e branqueada em camada espessa.....	59
Figura 4.5	- Curva Cinética de secagem de erva-mate in	

	natura.....	60
Figura 4.6	- Curva Cinética de secagem de erva-mate branqueada.....	77
Figura 4.7	- Folhas de erva-mate crua (A); folhas secas a 90°C (B) e folhas secas a 90°C após pré-tratamento com sapeco (C).....	80

Nomenclatura

- D_{ef} - Coeficiente de difusão efetivo da água [m^2/s]
- $D_{ef\ 1}$ - Coeficiente de difusão efetivo da água [m^2/s], primeiro período de secagem
- $D_{ef\ 2}$ - Coeficiente de difusão efetivo da água [m^2/s], segundo período de secagem
- k - Constante
- L_0 - Espessura inicial da amostra
- m_{seca} - massa seca
- m_{total} - Massa total
- L - Metade da espessura da amostra [m]
- L_0 - Metade da espessura inicial da amostra [m]
- t - Tempo de secagem [s]
- X - Teor de umidade da amostra [kg água/kg matéria seca]
- X_0 - Teor de umidade inicial da amostra [kg água/kg matéria seca]
- X_e - Umidade de equilíbrio [kg água/kg matéria seca]
- z - Direção na qual ocorre a transferência de massa [m]

Glossário

Termo	Significado
Abcisão	- Corte
Barbaquá	- (de <i>boberacuá</i> , palavra guarani que significa buraco de fogo) - lugar onde é feita secagem definitiva da erva mate; designa também o processo de secagem.
Cancheada	- Erva-mate seca, triturada, mas não beneficiada.
Carijo	- Nome dado pelos guaranis ao jirau onde se colocava, primitivamente, a erva mate para secar ao calor do fogo de várias fogueiras.
Crepitar	- Estalar na presença de fogo.
Coriáceas	- De consistência semelhante a do couro, ou que lembra.
Desidratador	- Secador
Erveira	- Árvore de erva-mate
Engenho	- Estabelecimento dotado de máquinas e aparelhos próprios para moer a erva com que se fabrica o mate.
Jirau	- Suporte, geralmente de madeira, usado para sustentar a erva.
Malhador ou cancha	- Peça de madeira maciça usada para triturar a erva.
Ramúsculos	- Galhos
Sapeco	- Primeira operação de secagem da erva mate, quando os galhos são passados rapidamente pela fogueira, feito com galhos secos, também conhecido como branqueamento.
Tererê	- Chimarrão preparado com água fria; também chamado de mate paraguaio.
Viciada	- Erva-mate adulterada pela mistura com outras espécies de planta.

RESUMO

O trabalho apresenta resultados experimentais de secagem e valores preditos de difusividade efetiva para a erva-mate, um produto pouco estudado e de utilização bastante difundida, particularmente no sul do Brasil.

As variáveis que influenciam significativamente no processo de secagem de erva-mate in natura (crua) e branqueada (sapecada) são identificadas por meio de um planejamento experimental saturado 2_{III}^{7-4} . Através de análise estatística dos dados experimentais determinou-se que as variáveis que mais influenciam no processo de secagem de erva-mate são: branqueamento (sapeco), a idade da planta e a espessura do leito.

Ensaaios com erva-mate in natura (crua) e branqueada (sapecada) foram realizados em estufa ventilada a 50, 70 e 90°C, em camada delgada de 20 mm. O sapeco é um processo de pré-secagem que ocorre a aproximadamente 300°C por 5 segundos. A secagem em estufa é o processo que mais se aproxima da secagem nas fazendas, a qual se processa com ar quente e convecção natural, estando as folhas presas nos galhos.

A partir da secagem de erva-mate construíram-se curvas de secagem que foram utilizadas para determinar as difusividades efetivas, pela 2ª Lei de Fick, para erva in natura e pré-tratada. As difusividades para a erva in natura foram maiores do que para a erva branqueada, devido a maior umidade inicial da folha. Difusividades efetivas maiores foram obtidas a temperaturas mais elevadas, e camada espessa. Foi observado, visualmente e qualitativamente uma deformação das folhas durante o processo, mas as mesmas não apresentaram encolhimento significativo.

Os coeficientes de difusividade para as diferentes situações estudadas variam de 10^{-5} a 10^{-8} m²/s, e os tempos de secagem vão

de 1 a 4 horas. Verificou-se ainda, que a variação da temperatura influi pouco na secagem da erva branqueada, sendo os coeficientes de difusão são da ordem de 10^{-10} m²/s.

Estes dados podem ajudar no dimensionamento de máquinas mais modernas e eficientes a serem utilizadas neste processo.

ABSTRACT

This work presents the experimental results of drying and the values predicted of effective diffusivity for *Ilex paraguariensis*. The consume of *Ilex paraguariensis* is almost restricted to the south of Brazil and this is the most important reason to the lack of scientific information in the literature.

The present study identified what variables have influence on the drying conditions of the *Ilex paraguariensis*, on the in natura and the bleached form. A saturated experimental design 2^{7-4}_{III} was developed to find what variables have a statistical significance influence on the drying. Analysis of this experimental data showed that bleaching, age of the plants and the thickness of the layer had a great effect on the process.

Essays were performed in a ventilated stove at 50 °C, 70°C and 90°C, in thin layer of 20 mm. This is the more approximated process of drying made in the farm where leaves, attached to the branches, are processed whit hot air and natural convection.

The drying of *Ilex paraguariensis* provide curves that were used to determine the effective diffusivities by the 2ª Fick's law for pre-treated (bleached) and crude herbs. The diffusivities of crude herb were bigger than the bleached herb, due the high initial humidity of the leaves. Greatest effective diffusivities were obtained at highest temperatures, and thick layer. It was visually observed that leaves deformed during the process, but was very small, and can be neglected.

The coefficients of diffusivity to the different situations studied varied from 10^{-5} to 10^{-8} m²/s, and the drying times goes from 1 up to 4 hours. The temperature had no significant influence on the drying of the bleached herb, and the diffusion coefficients found was around 10^{-10} m²/s.

Data presented here helps to design more modern and efficient machines to be used in the process.

1. Introdução

Muitos estudos foram ou estão sendo realizados no setor ervateiro principalmente no sentido de cultivo da erva-mate, germinação de sementes, mudas, mas muito pouco se tem estudado a respeito do processo de transformação/beneficiamento da erva-mate. Por isso, existe uma grande necessidade de estudos científicos objetivando o desenvolvimento tecnológico do processo de secagem de erva-mate.

A região Sul é considerada a maior produtora de erva-mate (*Ilex paraguariensis*) do país, sendo que este produto natural é muito importante, tanto no contexto cultural, como sócio-econômico. A erva-mate já foi um dos principais produtos de exportação brasileira, é produzida em aproximadamente 180 mil propriedades rurais, reúne cerca de 600 empresas, gera mais de 700 mil empregos diretos (MENIN et al., 2001). Geralmente, os produtores de erva-mate a comercializam na forma verde, algumas vezes as indústrias são responsáveis até pela retirada no campo (erval). Em termos econômicos isto não é vantajoso para o produtor. Por estas razões surgem os barbaquás, que são secadores de erva-mate formados do conjunto de sapecador, secador e cancha de trituração. Com isso, o produtor tem um produto com um melhor valor agregado conhecido por erva-mate cancheada, a qual pode ser armazenada por um período mais longo e ser comercializada fora do período de safra.

Atualmente, as diversas formas de consumo fazem da erva-mate um produto de grande interesse comercial. Não só o consumo de bebida através do chimarrão, mas em chás e bebidas com diversificados aromas. Seus extratos de saponinas e flavonóides tem grande aplicação na indústria química e farmacêutica, a clorofila e óleos essenciais na indústria de alimentos (EMBRAPA, 1997). A erva-mate que era, em épocas passadas, uma cultura

essencialmente extrativista, hoje é considerada como uma cultura agrícola viável, sendo muitas vezes cultivada em consórcio com gado ou ovelha, desde que os pés de erva-mate não sejam danificados.

Uma etapa importante no beneficiamento é a secagem, visto que esta interfere diretamente na qualidade do produto, tanto na coloração, como na composição química.

Apesar do aumento do custo de energia, a secagem ainda é considerada um dos caminhos mais simples e adequados para a comercialização de frutas e vegetais. É considerada adequada para países em desenvolvimento, porque produtos embalados adequadamente podem ser armazenados por muitos meses sem risco de deterioração; e se necessário reidratados para uma variedade de usos (JOHNSON *et al.*, 1998).

A qualidade dos produtos desidratados é caracterizada pela aparência, coloração, textura, sabor, retenção de nutrientes, porosidade e outras propriedades físicas (KROKIDA & MAROULIS, 1997).

O objetivo do presente trabalho foi estudar o processo de secagem de erva-mate in natura (crua) e branqueada (sapecada).

Esta pesquisa foi motivada pela necessidade de contribuir para a permanência do pequeno e médio produtor na zona rural, evitando o êxodo rural fazendo com que este obtenha um produto de melhor qualidade, o qual possa ser armazenado por maior período de tempo, mantendo as características desejáveis e, com isto, agregando valor econômico.

O manuscrito se apresenta dividido em seis capítulos sendo seus conteúdos descritos como segue:

Capítulo 1 - Introdução apresenta a importância do estudo de secagem de erva-mate in natura e branqueada.

Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica contempla a descrição da matéria prima utilizada, sua importância no contexto atual, a

forma de seu processamento, seu valor alimentício e diversidade de aplicação. Descreve também, os princípios da desidratação de vegetais e as descrições matemáticas normalmente usadas para este processo.

Capítulo 3 - Materiais e Métodos mostra os procedimentos e equipamentos utilizados para o estudo da secagem de erva-mate in natura e branqueada.

Capítulo 4 - Resultados e Discussões apresenta a influência dos principais parâmetros do processo, determinados por meio de um planejamento experimental sobre a secagem de erva-mate in natura e branqueada.

Capítulo 5 - Conclusões e Sugestões. As principais conclusões obtidas neste trabalho são apresentadas, bem como, sugestões para a continuação dos estudos.

Capítulo 6 - Referências Bibliográficas ilustra o acervo utilizado para a realização deste trabalho.

2. Revisão Bibliográfica

Este capítulo traz, inicialmente, a descrição da matéria prima utilizada, sua importância no contexto atual, a forma de seu processamento, seu valor alimentício e diversidade de aplicação. Depois, são abordados os princípios da desidratação de vegetais e as descrições matemáticas normalmente usadas para este processo.

2.1) Matéria-Prima: Erva-mate

2.1.1) Generalidades

A erva-mate (*Ilex paraguariensis*) é conhecida popularmente também como mate, chá-mate, chá-do-paraguai, chá-dos-jesuítas, chá-das-missões, chá-do-brasil, mate legítimo, mate, erveira, congonha, erva, erva-verdadeira, erva-congonha, chá-do-paraná (VALDUGA, 1995).

Na Figura 2.1 é apresentada uma erveira típica nativa, da qual são retiradas as folhas para produção de erva-mate. A árvore em média mede de 4 a 8 m de altura. É dotada de tronco curto de cerca de 40 cm de diâmetro e copa mais ou menos densa e perenifólia. Devido ao hábito de efetuar sua poda com objetivo de colher a folha para o preparo do chá-mate, é muito difícil, mesmo no habitat natural, ver-se algum exemplar com sua copa natural.

A Figura 2.2 mostra suas folhas, que são simples e coriáceas, quase totalmente desprovidas de pêlos, medindo de tendo 8 a 10 cm de comprimento por 3 a 4 cm de largura. As flores são pequenas, de cor esbranquiçada e suavemente perfumadas. Os frutos são globosos, de cerca de 0,5 cm de

diâmetro, com cor vermelho-vinácea contendo 1-4 sementes (INSTITUTO PLANTARUM DE ESTUDOS DA FLORA LTDA., 2003).



Figura 2.1: Erveira nativa.



Figura 2.2: Galho de erva-mate, com flores.

Com origem na América do Sul, a erva-mate (*Ilex paraguariensis*) ocorre naturalmente numa área de aproximadamente de 540.000 km², compreendendo territórios do Brasil, Argentina e Paraguai. Entretanto, cerca de 80% da área de ocorrência pertence ao Brasil, distribuindo-se entre a região centro-norte do Rio Grande do Sul, quase todo o Estado de Santa Catarina, centro-sul e sudoeste do Paraná, sul do Mato Grosso, e reduzidas áreas em Minas Gerais e São Paulo (OLIVEIRA & ROTTA, 1985).

No contexto sócio-econômico, a erva-mate é também de relevância para o sul do país: somente no Alto Uruguai gaúcho e catarinense, estão instaladas mais de 40 indústrias ervateiras, onde cerca de 180 mil pequenas propriedades dedicam-se ao cultivo desta planta (MACCARI e SANTOS, 2000). A região Sul é a maior produtora, onde 596 municípios desenvolvem a atividade ervateira (ESMELINDRO *et al.*, 2002).

Como princípio alimentar e nutritivo pode a erva-mate in natura responder pela presença de aminoácidos, essenciais às células do organismo humano e açúcar assimilável (glicose); as suas folhas contém cafeína, a qual é estimulante e circulatório; contém vitamina C, participando da circulação sanguínea e agindo como defesa orgânica, e vitamina E, a qual é benéfica aos diversos tecidos do organismo humano.

Em infusão apresenta propriedades estimulantes, diuréticas e digestivas. Possui cafeína solúvel, que atua nos casos de depressões nervosas ou fadigas cerebrais, facilitando o trabalho intelectual (Embrapa, 2000).

Quanto à época de colheita, esta pode ser dividida em: podas de inverno (março a maio) e poda de primavera (final de agosto a metade de setembro). No inverno retira-se apenas parte inferior da planta (saia), mantendo-se a superior que irá proteger a planta durante o inverno. Na primavera, a poda é feita retirando-se a parte superior da planta "blusa".(UNICAMP, 2003b).

A responsabilidade em estabelecer a época de colheita era atribuição do Instituto Nacional do Mate, o qual foi extinto em agosto de 1967, passando o acervo ao Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF). Segundo VALDUGA (1995), este último Instituto foi absorvido pelo Instituto Brasileiro de Recursos Naturais Renováveis - IBAMA.

O período ideal de corte é de maio a setembro, concentrando-se nos meses de junho a agosto, antes de ocorrer a nova brotação, pois nesta época as folhas estão maduras e a erva está em repouso fisiológico.

Há produtores que colhem durante o ano todo, em função das empresas que atendem. Por questões mercadológicas, estas empresas necessitam colocar no mercado um produto verde (sem armazenamento, para consumo interno). Outras empresas preferem a colheita em apenas dois períodos do ano (safra e safrinha) (UNICAMP, 2003a).

2.1.2) Características da erva-mate

2.1.2.1. Características físicas da erva cancheada

Para a determinação das características físicas de uma erva, é necessário o conhecimento das percentagens de folhas e de outras partes do ramo, contidos no produto, além dos diâmetros dos mesmos. (MAZUCHOVSKI, 1991).

a) Folhas

Constituem parte essencial, pois são nelas que se encontram as substâncias úteis e necessárias à sua boa qualidade. Por si mesmas, formam fisicamente a erva própria para chá e também para chimarrão, desde que as suas partículas sejam maiores e possam exercer a função mecânica dos paus (MAZUCHOVSKI, 1991).

b) Paus - ramos

Provém dos ramúsculos e despontes, e em geral não passam de 20% do peso total do produto cancheado, e quase sempre, de diâmetro inferior a três milímetros (MAZUCHOVSKI, 1991).

2.1.2.2) Características organolépticas:

Segundo MAZUCHOVSKI 1991, as características organolépticas para a erva-mate são as seguintes:

a) Cor

A erva-mate recém preparada apresenta uma coloração verde mais ou menos intensa, que com o tempo se torna mais pálida, até que estaciona quando atinge a coloração dourada. Esta cor pode ser obtida depois de um armazenamento de seis meses, pelo menos.

A secagem, quando realizada em barbaquá proporciona produtos de coloração mais verde, devido aos constantes revolvimentos da

erva. As brotações também fornecem produtos de cor verde apreciável.

b) Sabor

O sabor da infusão é que define a qualidade da erva. O sabor suave é o que mais agrada ao paladar, embora este seja muito variável de região para região, e de pessoa para pessoa.

c) Aroma

Só aparece no produto depois da secagem, e aumenta, gradativamente com o armazenamento, até certo limite, e depois estaciona.

d) Degustação

As provas realizadas nesse sentido demonstram seguir o processo clássico de infusão em cuia de 50 gramas de erva. Um aquecimento prévio da erva é feito com água morna para se evitar a queima da erva; em seguida adiciona-se água na temperatura de 75-80°C. As ervas de qualidade superior permitem até 15 infusões, enquanto que as de qualidade inferior apenas cinco infusões.

2.1.2.3) Propriedades medicinais

Segundo a literatura especializada, a erva-mate apresenta as seguintes propriedades medicinais:

- Estimulante: atua benéficamente sobre os tecidos nervoso e muscular,
- Diurético: favorece a diurese, sendo também de grande utilidade nas moléstias da bexiga,
- Estomáquico: facilita as digestões e suaviza os embaraços gástricos,
- Sudorífico: benéfico nas constipações e resfriados.

- Cafeína: atua em casos de cólicas renais, neurastenia, depressões nervosas, fadigas cerebrais em geral.
- Favorece o trabalho intelectual, reduzindo fadigas,
- Aplicado sob a forma de cataplasma, atua interna e externamente na cura de entrases e úlceras crônicas.

Faz parte do grupo dos chamados alimentos de poupança (cacau, café, guaraná, mate), quer dizer, alimentos que não trazem propriamente força, mas conservam a energia e poupam gastos do organismo (MAZUCHOVSKI, 1991).

2.1.2.4) Valor alimentício da erva-mate

A aceitação do mate como bebida, não foi, originariamente movida exclusivamente por suas apreciáveis qualidades gustativas, mas, em grande parte, pelas virtudes naturais que encerra (MAZUCHOVSKI, 1991).

A Tabela A.1 em anexo mostra os valores mínimos, máximos e médios dos principais componentes (água, proteínas, carboidratos, amido, glicose e fibras) da erva-mate já processada.

As concentrações minerais são específicas não somente para a espécie, idade e tecido, como também dependem do ambiente que foram cultivadas. Diversos fatores controlam o teor de minerais nos vegetais, destaca-se o fator genético. A quantidade de nutrientes nas folhas pode representar mais do que 30% do total da árvore. A idade das folhas afeta a distribuição em função da redistribuição dos nutrientes móveis para outros órgãos como folhas novas, órgãos de reservas e regiões de crescimento, antes da abscisão (VALDUGA, 1995).

A Tabela A.2 em anexo indica valores mínimo, máximo e médio da composição mineral da amostra de erva-mate processada.

A Tabela A.3 em anexo indica a composição vitamínica na erva-mate. Os teores vitamínicos na infusão ficam reduzidos, na

melhor das hipóteses, a cerca de 1/30, quando comparado com a erva-mate, que não é a porção comestível do produto. Segundo VALDUGA (1995), esta conclusão foi dada a partir de resultados em vitamina C.

Os teores citados podem variar em função da idade da planta e das folhas, erval nativo ou plantado, luminosidade no erval. Este aspecto ainda é carente de informações, sendo necessário mais estudo a este respeito, de maneira que no futuro possam ser feitos plantios e colheitas específicas à cada interesse de consumo (UNICAMP, 2003a). A Tabela A.4 em anexo indica quais os componentes responsáveis pelas características organolépticas (sabor e aroma) da erva-mate, fato que a torna um produto de grande interesse industrial.

2.1.2.5) Usos alternativos da erva-mate

A erva-mate apresenta um vasto campo de aplicação industrial, desde bebidas, insumo de alimentos e medicamentos, até produto de uso pessoal e higiene geral. Atualmente, a produção concentra-se na área de bebidas por infusão onde predomina o uso do produto natural (Tabela 2.1).

2.1.3) Processamento da erva-mate

Os processos de beneficiamento e industrialização de erva-mate evoluíram pouco desde sua criação, portanto existe muito a ser aprimorado com relação à qualidade dos produtos, levando a um crescimento na demanda pela erva-mate e um aumento no valor agregado do produto. A tabela 2.1 apresenta a aplicação industrial da erva-mate e seus usos alternativos.

2.1.3.1) Colheita: a colheita, realizada em dias não chuvosos, consiste em retirar as folhas, ramos finos e grossos que são

comercializados na forma de mate. Os cortes devem ser desferidos de baixo para cima, para que o galho não lasque (ALENCAR, 1960).

Tabela 2.1: Aplicação da erva-mate x usos alternativos.

Aplicação industrial	Sub-produtos comerciais	Forma de consumo
Bebidas	Chimarrão/ Tererê / Chá-mate	Infusão quente e/ou fria
	Refrigerantes / Sucos / Cerveja / Vinho	Extrato de folhas diluído
Insumo de Alimentos	Corante natural / Conservante alimentar	Clorofila e óleo essencial
	Sorvete / Balas / Bombons / Caramelos / Chicletes / Gomas	
Medicamentos	Estimulante do sistema nervoso central	Extrato de flavonóides
	Compostos para tratamento de hipertensão / Bronquite / Pneumonia	
Higiene geral	Bactericida / Antioxidante hospitalar e doméstico / Esterilizante / Emulsificante	Extrato de saponinas e óleo essencial
	Tratamento de esgoto / Reciclagem de lixo	
Produtos de uso pessoal	Perfumes / Sabonetes Cosméticos / Desodorantes	Extrato de folhas seletivo e clorofila

FONTE: EMBRAPA, 1997.

O intervalo dado pelos produtores entre uma colheita e outra para ervais nativos, é de no mínimo 2 anos, para não reduzir o rendimento das erveiras. Em ervais nativos a ferramenta mais usada é o facão, que danifica a planta não permitindo uma

realização adequada da poda. Atualmente, devido a trabalhos técnicos do setor, alguns produtores começam a mudar a forma de colheita, fazendo uso de ferramentas mais adequadas como: tesoura de poda ou serrotinho (UNICAMP, 2003b).

2.1.3.2) Transporte: é realizado através de feixes amarrados com taquaras. Deve acontecer no mesmo dia, caso contrário os feixes devem ser desfeitos e espalhados em camadas finas, de modo a evitar o murchamento das folhas.

2.1.3.3) Branqueamento: a palavra usada no campo, sapeco, tem origem guarani e significa abrir os olhos (COSTA, 1935). É a tarefa realizada tão logo se colhe a erva. A Figura 2.3 apresenta a erva-mate in natura (crua) e branqueada (sapecada). O sapeco (branqueamento) tem a função de retirar a umidade superficial e inativar as enzimas (peroxidase e polifenoloxidase) que causam a oxidação do produto. Esse processo abre os estomas e vasos aquosos pela dilatação sob a ação do fogo ou calor, facilitando a desidratação. Evita o enegrecimento das folhas e conseqüente perda do valor nutricional (IBDF, 1972). A temperatura média na entrada do sapecador é de 300°C e na saída é de 95°C.

Existem dois procedimentos para realizar o branqueamento (sapeco):

a) Procedimento Manual: os ramos são expostos à ação das labaredas num movimento rápido, tendo o cuidado de abrir os feixes e virar os ramos para que o sapeco se realize com uniformidade. O procedimento deve ser rápido e eficiente, porque tanto a ação prolongada do calor, como a falta deste podem causar a indesejável "pinta" das folhas, isto é, o seu enegrecimento (Figura 2.4). Quando as folhas não mais crepitam a operação é dada por terminada (BRAGAGNOLO, 1980).

b) Procedimento mecânico: O sapecador mecânico (Figura 2.5) consta de um grande cilindro inclinado constituído de chapa de ferro ou de tela de arame. Neste tubo, que recebe as chamas pela base, a erva entra pela parte superior, circula no seu interior, pelo movimento giratório do cilindro, e sai sapecada (branqueada) pela parte inferior (BRAGAGNOLO, 1980). O produto deve passar necessariamente pela chama do fogo três vezes (SCHIFFL, 1997).



Figura 2.3: Erva-mate em sua forma natural (parte superior da figura) e erva-mate com pré-tratamento a 300°C por 5 segundos (sapeco, parte inferior).

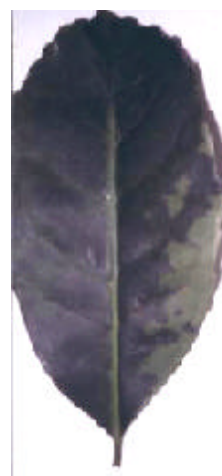


Figura 2.4: Folha de erva-mate com manchas pretas, provavelmente devido às falhas durante o pré-tratamento.

A perda de parte da umidade no sapeco (cerca de 20% do peso inicial), tem também como finalidade a fixação da cor verde oliva no produto, que é característica das ervas de melhor qualidade (SOUZA, 1937).

A erva-mate pré-desidratada torna-se mais fácil de ser triturada, necessitando de temperaturas mais baixas no secador (SCHIFFL, 1997).

Do ponto de vista tecnológico, o crescimento da produção em massa implica na mecanização e a passagem de processos descontínuos para processos contínuos. O que torna possível essa passagem na transformação da erva-mate é o desenvolvimento da sapecadeira mecânica e a automação do barbaquá (SOUZA, 1998).

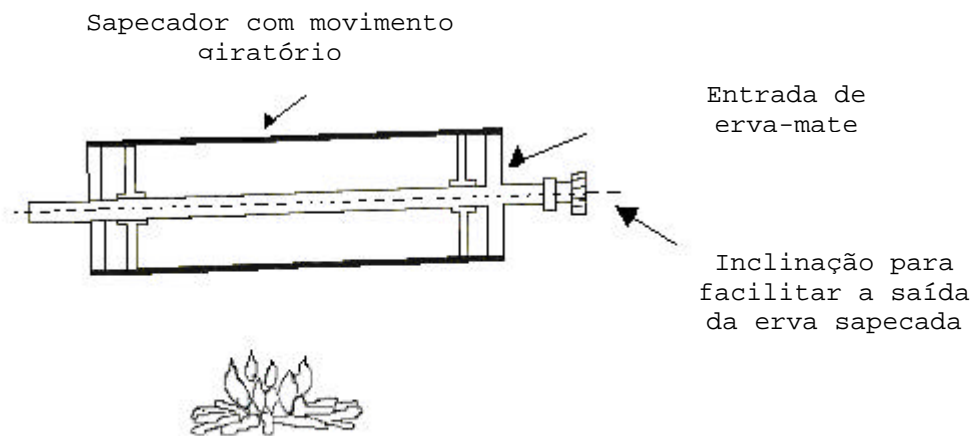


Figura 2.5: Esquema de um sapecador mecânico (MAZUCHOWSKI, 1991).

2.1.3.4) Secagem: é a etapa onde as folhas vão sofrer desidratação, a qual pode ser realizada por diferentes procedimentos:

a) Carijo: atualmente em desuso. Nada mais é do que um rancho geralmente coberto de pequenas tábuas ou telhas, sendo aberto de todos os lados, onde as fogueiras são armadas em baixo de um estendal. A lenha empregada no início da queima deve estar bem seca, sendo que a lenha usada para alimentar o fogo pode ser mais úmida, o que é vantajoso para não levantar muito a chama. A lenha impregnada de resina e o nó-de-pinho são indesejáveis (BRAGAGNOLO, 1980).

b) Furna: consiste na escavação do solo, onde se faz o fogo, comunicando-se por um pequeno túnel, com a área do jirau que sustenta os feixes de erva. A furna é um sistema mais

aperfeiçoado do que o carijo, mas inferior ao barbaquá, em que o sapeco é mais uniforme (MAZUCHOWSKI, 1991).

c) Barbaquá: Este consiste em um secador provido de um canal subterrâneo de 10 a 20 metros por onde passa o calor indireto (Figura 2.6). A boca de entrada deste canal mede 1 metro e serve de fornalha; a extremidade mais elevada se abre numa "boquilha" de 60 a 70 centímetros por onde sai o ar quente (MAZUCHOWSKI, 1991). Cerca de 40 centímetros de cada boca encontra-se uma chapa de ferro suspensa apoiada sobre tijolos, que tem a finalidade de uniformizar a temperatura no interior do barbaquá (BRAGAGNOLO, 1980). A temperatura durante a secagem oscila entre 80°C e 110°C. O tempo de secagem varia de 7 a 18 horas, dependendo da tecnologia aplicada na construção do barbaquá. A erva-mate é colocada em estrado a uma altura de 1,80 m, submetida ao calor indireto produzido por uma fornalha. A construção do barbaquá varia muito, e algumas alterações e melhoramentos tem sido realizada de modo a aproximar esse tipo de secador das estufas destinadas a secar produtos agrícolas. Nos barbaquás aperfeiçoados, o piso é ladrilhado, sendo circundado por uma parede de tijolos para conservar melhor o calor (MAZUCHOWSKI, 1991).

O barbaquá também recebeu inovações mecânicas que tornaram as operações de carga e descarga automáticas. A erva-mate, depois que sofria a operação do sapeco em uma sapecadeira mecânica, era transportada por meio de uma esteira rústica para a parte superior do barbaquá. De lá, seguia para uma segunda esteira dotada de um movimento de pêndulo, que depositava a erva-mate em toda a largura da armação de madeira e/ou metal dotadas de movimento de esteira (Figura 2.7).

A partir da década de 80, os barbaquás possuem três conjuntos de esteiras, sendo que os maiores podem constituir até cinco conjuntos. Os conjuntos são dispostos um abaixo do outro, com movimento em sentido oposto para que a erva-mate, quando

estiver no final de uma esteira móvel, passa na outra, situada abaixo, e continua em movimento até cair em uma esteira de transporte que a descarregue na cancha, dando ao processo de secagem um caráter contínuo.

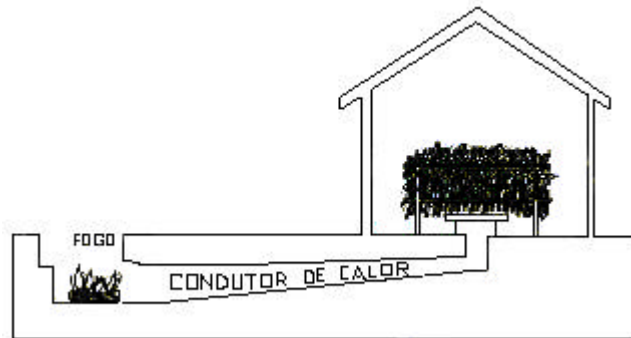


Figura 2.6: Barbaquá tipo brasileiro (MAZUCHOWSKI, 1991).

Assim como os pequenos barbaquás, os barbaquás de esteiras funcionavam nas épocas de colheita (de maio até setembro) e ficavam desativados nos outros meses, podendo-se dizer que havia uma interdependência com a lógica da produção agrícola.

Segundo depoimentos de antigos industriais ervateiros do Planalto Catarinense, o surgimento destas inovações mecânicas é atribuído ao industrial ervateiro Leopoldo Zipperer, do município de Canoinhas (SOUZA, 1998).

A transformação em grande escala só se tornou possível nos anos 70, com o barbaquá automático. Este artefato reúne as operações de sapeco, de secagem e de cancheamento, e permite que elas sejam feitas de modo rápido e contínuo. No princípio era composto de um conjunto de quatro cilindros: o primeiro era o sapecador, o segundo e terceiro, os secadores, e o quarto cilindro, o cancheador (FERREIRA, 1957). Mais tarde, este artefato sofre melhorias que o tornam um conjunto mais compacto, de menor custo, menos sujeito a incêndios e de alta produção. E, mais do que isso permite que o processo seja de simples operação (SOUZA, 1998).

Na maior parte da agroindústria ervateira brasileira, as instalações de transformação estão sendo substituídas pelos

barbaquás automáticos desde meados de 80. Assim, uma homogeneização do processo de transformação é bastante marcante (SOUZA, 1998).

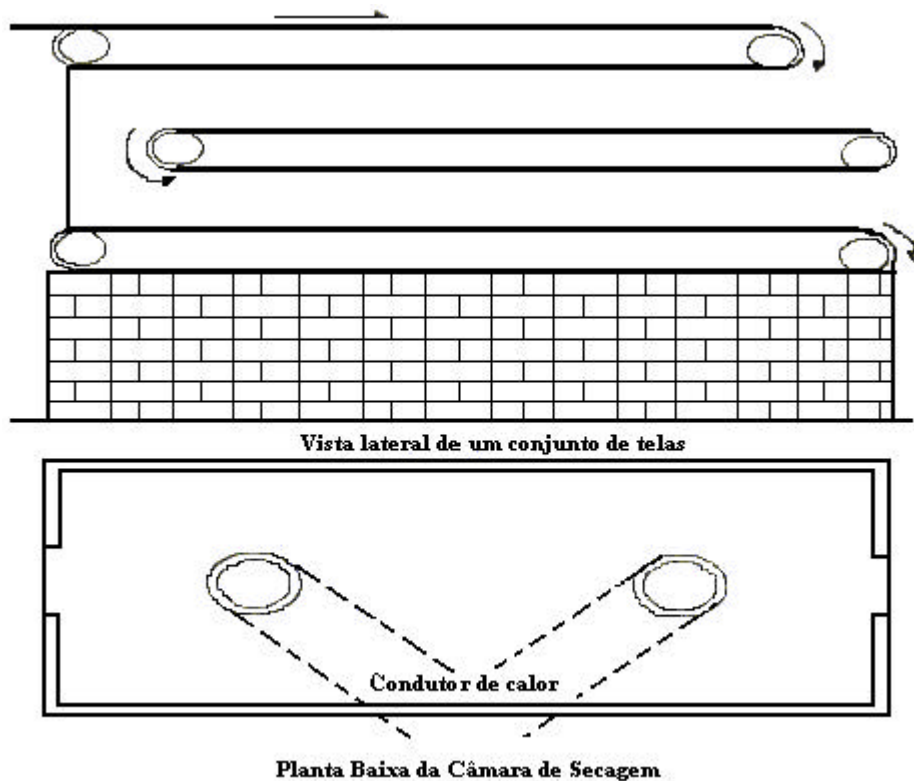


Figura 2.7: Esquema de um barbaquá de esteiras (SOUZA, 1998).

Em secadores mecânicos podem-se perceber os melhoramentos efetuados neste processo, visando menor perda de calor, uniformidade e velocidade na secagem.

O processo de secagem da erva-mate pode ser:

- **Lento:** utiliza dois processos tradicionais: barbaquá e carijo. Atualmente os modernos secadores são de esteira que usa o conceito do barbaquá, diferenciando-se em uma estrutura mais mecanizada, o que reduz o uso da mão-de-obra e aumenta a produção. O tempo de secagem varia de 8 a 24 horas;

- **Rápido:** utiliza secadores automáticos. Existem quatro modelos básicos: Green, Shifell, Intecnial, Secamate, onde as denominações são devido aos nomes dos fabricantes. Não há

diferença funcional entre eles, sendo que a variação entre os modelos ocorre apenas no tipo do produto final, o qual é seco apenas em cerca de oito a dez minutos (UNICAMP, 2003b).

2.1.3.5) Trituração: também chamada cancheamento, é feita em um triturador comumente denominado cancha, sendo realizada após a secagem. O triturador normalmente é feito de madeira dura, quando entalhado na fazenda, ou por um cancheador metálico, quando a operação é realizada industrialmente. A erva peneirada passa a denominar-se cancheada, constituindo matéria-prima para as indústrias de beneficiamento (UNICAMP, 2003b)).

A erva fresca, depois do sapeco, secagem e cancheamento perde aproximadamente 50 a 60% do peso conforme o estado de maturação das folhas e as condições do processo de beneficiamento. A principal causa de redução de peso decorre da perda da água, de gás carbônico e de outras substâncias voláteis (LEPREVOST, 1987).

A erva cancheada pode ser conservada por 2 a 3 anos, conforme o método adotado e a qualidade do produto (ALENCAR, 1960).

2.1.3.6) Beneficiamento: Nos engenhos se resume em três operações fundamentais: a secagem ou retificação da umidade, separação e mistura (formação de tipos especiais). A secagem se faz pelo ar quente e seco, utilizando processo mecânico de sucção pneumática feita por exaustores ligados a ciclones, cuja finalidade é eliminar o ar úmido e o pó, ou por meio de elevadores de caçamba. Após a retirada da umidade, a erva é conduzida por meio de peneiras, ventiladores, filtros e coletores de pó, que permitem que se faça separação da erva cancheada em pó, folhas, talinhos e paus.

A erva, separada por peneiras, nos tamanhos exigidos a cada mistura, é enviada a seus respectivos depósitos onde é retirada

a quantidade necessária para compor nos misturadores, o tipo comercial desejado. Enfim, o benefício da erva-mate nos engenhos tem por fim, depois da matéria ter sido separada em tipos, fragmentar mais cuidadosamente, do que pode fazer o malhador ou cancha, limpar e excluir partes imprestáveis a fim de lhe dar as qualidades e o acondicionamento que satisfaçam as exigências da lei, do transporte marítimo e dos mercados de consumo (UNICAMP, 2003b).

A erva-mate beneficiada constitui-se de duas variedades:

1ª) Chimarrão: erva-mate natural, sem misturas. Composto de folhas trituradas, finos talos, pé e goma.

2ª) Chá tostado (queimado) e chá verde.

Segundo DA CROCE (2000a), o processo de transformação/beneficiamento da erva-mate tem um desempenho variável de 32% a 42%, apesar de uma ociosidade anual superior a 60% da capacidade instalada, revertendo esta situação apenas no período de julho a outubro.

2.1.3.7) Armazenamento: o produto, durante o armazenamento deve ser mantido a um baixo nível de umidade e ao abrigo de luz. Para exportação e preparo de chás este deve ficar armazenado por no mínimo seis meses para envelhecimento. Para erva-mate destinada ao chimarrão, o produto é mantido verde e novo (SCHIFFL, 1997).

2.1.3.8) Moagem: Etapa realizada pelo soque, equipamento convencional que atravessou décadas servindo o setor ervateiro, passando por melhorias no acionamento e no material de estrutura. Após a moagem, as empresas se diferenciam pelo processo de peneiramento, mistura, armazenagem; mas em qualquer processo, o produto segue para o empacotamento (SCHIFFL, 1997). Na moagem obtêm-se os seguintes subprodutos: pó, goma, folha, talos e palitos. Conforme o processo usado e a mistura de subprodutos adotada, determina-se o mercado que o produto irá se direcionar (UNICAMP, 2003b).

Constituída a preferência do tipo comercial do produto, este é enviado a seção de empacotamento, que também seguem regras conforme o tipo de embalagem a ser utilizada, (MARTINEZ, 1998).

Os padrões para chimarrão e tererê que dependem do processo de beneficiamento, são definidos pela Portaria n.º234/98 MS.

A erva-mate deve ser pura, sem substâncias estranhas, devendo apresentar umidade inferior a 10%. Nos ervais brasileiros não é admitido o uso de meios químicos para o controle das pragas ou doenças (MAZUCHOWSKI, 1997).

Não há um modelo específico de planta industrial para o beneficiamento da erva-mate; cada indústria se adequou às pretensões e condições econômicas que possuem, existindo assim diferentes *layouts* que se destinam a formar um produto de acordo com a preferência do mercado que abrangem (UNICAMP, 2003b).

2.1.4. Áreas de distribuição e produção de erva-mate:

O setor ervateiro no Brasil concentra-se em 482 municípios, onde existem aproximadamente 725 indústrias de beneficiamento, e envolve direta e indiretamente 710.000 pessoas, constituindo-se num importante segmento agroindustrial da região Sul do País (DA CROCE & FLOSS, 1999). A produção brasileira de erva-mate no ano de 1999 foi de 666.000 toneladas de erva-mate verde, que correspondem a 266.664 toneladas de produtos industrializados, sendo os Estados do Paraná, de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul responsável por 42%; 37% e 21% da produção, respectivamente (ANUÁRIO BRASILEIRO DA ERVA-MATE, 2000).

Segundo OLIVEIRA & ROTTA (1985), citado por DA CROCE (2000), a erva-mate ocorre em estado natural nas regiões subtropical e temperadas da América do Sul, entre as latitudes de 21°S e 30°S e longitude 48°30'W até 56°10'W, e a altitude de maior concentração varia de 500 a 1000 m.

No Rio Grande do Sul, a erva-mate concentra-se na Região Centro-Norte e Depressão Central. Em Santa Catarina ocorre, no

estado natural, em aproximadamente 140 municípios, principalmente no Planalto, zona do pinheiro (*Araucária angustifolia*), desde Campo Alegre até o Extremo Oeste no município de Dionísio Cerqueira, divisa com a Província de Misiones, República Argentina, onde a erva em seu estado natural é pouco expressiva. No Paraná, ocorre desde a Região Centro-Sul e Sudoeste ao longo de três planaltos até a Serra do Mar, excetuando-se o litoral.

A produtividade média das árvores estabiliza-se aos 10-12 anos, sendo em torno de 14 a 20 kg por árvore. Erveiras nativas, de maior porte, chegam a produzir de 80 a 180 kg de matéria verde por árvore em podas a cada 3-5 anos (VALDUGA, 1995).

Com relação ao volume de erva-mate cancheada e outros subprodutos da erva-mate importados e exportados pode-se dizer que o principal vendedor de erva-mate ao Brasil é a Argentina. Apesar de o Brasil ser o maior produtor de erva-mate, ainda não tem uma estrutura ervateira sólida e competitiva para manter seus estoques de matéria-prima e que pode ter oferta em relação à procura do produto nos mercados interno e externo (DA CROCE, 2000a).

Dados referentes ao ano 1999, (Tabela 2.2) indicam o volume de produção de erva-mate em Santa Catarina, bem como o volume de industrialização de chimarrão, erva-mate cancheada e chá/pó solúvel.

Em Santa Catarina, a erva-mate mantém-se em aproximadamente 80% em estado nativo e 20% em áreas plantadas. É uma cultura que se caracteriza como de pequena propriedade, com emprego de mão-de-obra familiar, principalmente sem o uso de tecnologia preconizada pela pesquisa. Nos plantios homogêneos de grandes áreas, das próprias indústrias ou de algumas grandes propriedades rurais, a tecnologia é bem mais aceita, facilitando a mecanização, proporcionando maior produção e produtividade (DA CROCE, 2000a).

A globalização da economia fez surgir movimentos diferenciados dos comércios preferenciais e uma busca incansável na formação e especialização dos mais diversos segmentos do mercado consumidor e industrial. Há no setor ervateiro uma política de mercado voltada à proteção do produto para o consumidor e para os sistemas de parceria e um trabalho de comprometimento dos empresários ervateiros concentrado esforços para se manterem competitivos no mercado (DA CROCE, 2000a).

Tabela 2.2: Comercialização da erva-mate (toneladas/ano) produzida e industrializada em Santa Catarina, 1999.

Destino	Chimarrão	Cancheada	Chá/pó solúvel	Total
SC	34.480	-	-	34.480
RS	36.640	4.320	-	40.960
PR	8.650	240	-	8.890
MS	1.420	-	-	1.420
Outros Estados	460	-	594	1.054
Mercado externo	11.616	-	-	11.616
Total	93.266	4.560	594	98.420

2.1.5. Perspectivas mercadológicas e estratégias para a erva-mate:

As empresas atuantes no setor ervateiro necessitam desenvolver medidas administrativo-gerenciais para enquadramento nas exigências mercadológicas, quer no mercado interno como no externo, independentemente de países. Estas medidas administrativas desencadeadas de forma integrada envolvem todos os integrantes da cadeia produtiva da erva-mate, estabelecendo os padrões de qualidade e incrementando o efetivo controle dos

produtos do setor (MAZUCHOVSKI, 1997). O conceito de desenvolvimento sustentável é extremamente interessante nas atividades comerciais ervateira, podendo conciliar os objetivos de crescimento econômico, as questões sociais e a preservação do meio ambiente.

Embora a erva-mate tenha 500 anos de história, é um produto desconhecido no mercado internacional. Os estudos existentes estão centrados no manejo da cultura e sua produtividade, enquanto no hemisfério norte, as pesquisas e usos estão centrados na agregação de valor em produtos industrializados. Por isso, a concorrência comercial com produtos similares exige a formação de parcerias entre as indústrias ervateiras brasileiras, para garantir o espaço mercadológico ou viabilizar a sua abertura para a erva-mate (MAZUCHOWSKI, 2000).

Considerando que o custo de produção atual na cultura da erva-mate pode ser reduzido através de novas tecnologias, e que a qualidade do produto de Santa Catarina é uma das melhores do mercado, pode haver concorrência com o produto importado da Argentina. Porém, existe a necessidade de mudanças nos padrões culturais de consumo, no aumento da produção e produtividade das lavouras de erva-mate, além de um marketing mais agressivo sobre as vantagens de se consumir o produto e seus derivados (DA CROCE, 2000a).

As oportunidades que se abrem para o setor ervateiro são:

- Exploração de nichos de mercado no exterior.
- Aumento das vendas de subprodutos da erva-mate, como chás, pó solúvel, refrigerantes, detergentes e conservantes alimentícios.
- Aumento da venda do produto no mercado interno, pela qualificação dos ervais e seu manejo e pelo desenvolvimento da tecnologia industrial.
- Viabilização da pequena propriedade familiar através do ordenamento das propriedades rurais com sistemas agroflorestais utilizando a erva-mate.

- A reativação da economia poderá aumentar o mercado interno do produto.

De conformidade com o setor industrial ervateiro, o consumo brasileiro de erva-mate tem um grande potencial, desde que seja desenvolvido um esforço promocional para o consumo em suas diversas alternativas, notadamente nos Estados de Região Leste (São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais) e da Região Sul.

2.2 Desidratação de vegetais

Nos últimos anos, muita atenção tem sido dada para a qualidade dos alimentos durante a secagem. A qualidade do produto desidratado é afetada pela secagem e mudanças físico-químicas que ocorrem nos tecidos. Mais especificamente, o método usado para secagem afeta as propriedades características dos materiais tal como coloração, textura, densidade, porosidade e sorção (KROKIDA *et al.*, 1998). Muitos métodos para secar frutas e vegetais tem sido propostos na literatura. Desta maneira, alta qualidade e produtos adequados são produzidos eficientemente com custos competitivos (SARAVACOS, 1993).

A desidratação de vegetais tem como objetivo principal a conservação dos alimentos através da redução do teor de água. Essa redução deve ser efetuada até a umidade na qual a concentração de açúcares, ácidos, sais e outros componentes sejam suficientemente elevados para reduzir a atividade de água, e conseqüentemente, retardar ou até inibir os processos de deterioração dos alimentos (TRAVAGLINI *et al.*, 1981).

As vantagens de se utilizar o processo de secagem são várias, dentre as quais tem-se: a facilidade na conservação do produto, pois aumenta a vida útil passando de dias ou meses para vários meses ou até a anos; estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente por longos períodos de tempo; proteção contra degradação enzimática e oxidativa; redução do seu peso; redução de custos com embalagens, transporte e

armazenamento; economia de energia por não necessitar de refrigeração e a disponibilidade do produto durante qualquer época do ano (PARK, 2001).

Os produtos alimentícios podem ser secados com ar, vapor superaquecido, no vácuo, em gás inerte ou pela aplicação direta de calor. O ar é o mais usado meio de secagem por causa da abundância, conveniência e porque o seu controle no aquecimento do alimento não apresenta maiores problemas (GAVA, 1984).

Segundo RIZVI (1996), citado por SCHULTZ (1999), a desidratação envolve a ocorrência simultânea de transferência de calor, massa, e quantidade de movimento. Neste processo, o calor penetra no produto e a umidade é removida na forma de vapor d'água para a fase gasosa insaturada. Devido à complexidade do processo, não há uma teoria generalizada que explique o mecanismo do movimento interno de umidade.

A secagem convencional com ar é um dos processos mais usados para desidratação de alimentos. O produto final é caracterizado por baixa porosidade e alta densidade aparente. Ocorre mudança significativa na coloração durante a secagem, e a produto final tem baixa capacidade de sorção (KROKIDA *et al.*, 1998).

A secagem de produtos agrícolas com alto conteúdo de umidade inicial, tanto em frutas como vegetais, apresenta em geral um efeito sobre o encolhimento. Este fenômeno deve ser incluído na modelagem matemática para melhorar a representação física do processo e aumentar a confiança sobre estes coeficientes obtidos, assim como o coeficiente de difusão (QUIEROZ e NEBRA, 2001).

Os materiais podem ser classificados em duas categorias em função do comportamento na secagem:

Primeira categoria - sólidos granulados ou cristalinos: retêm a umidade nos interstícios entre as partículas ou em poros superficiais, rasos e abertos. O movimento de umidade é relativamente livre e ocorre em consequência da interação das

forças gravitacionais e das forças de tensão superficial (ou capilares). O período de taxa constante alonga-se até teores de umidade relativamente baixos. O sólido em si, que é geralmente inorgânico, é pouco afetado pela presença do líquido e não sofre grande ação do processo de secagem.

Segunda categoria - sólidos orgânicos: maioria amorfa, fibrosa ou gelatinosa. Estes materiais retêm a umidade como parte integral da estrutura do sólido, ou então, retêm-na no interior de fibras ou de poros delgados internos, sendo afetados quando se remove a umidade. O movimento de umidade é lento e provavelmente ocorre pela difusão do líquido através da estrutura do sólido. A superfície do material tende a secar mais rapidamente que seu interior, provocando, caso a velocidade de secagem seja muito rápida, envergamento ou mesmo rachaduras. Em outros casos, a secagem da superfície pode dificultar a secagem interna do material, devido à formação de uma camada relativamente impermeável, restando a umidade residual que pode deteriorar o material (AGUIRRE, 2000).

As curvas de secagem mostram períodos de taxa constante muito curtos, que terminam em valores elevados do teor crítico de umidade. O primeiro período de taxa decrescente é muito reduzido, e a maior parte do processo de secagem é controlada pela difusão do líquido através do sólido. A maior parte da secagem ocorre no segundo período de taxa decrescente.

As condições de secagem devem ser escolhidas considerando os efeitos que podem ter sobre a qualidade do produto; a economia do processo ou a comodidade da operação (FOUST, 1982).

2.2.1. Comportamento Geral na Secagem

A secagem é a eliminação da água do material através da evaporação. Existem dois métodos de secagem: a natural, feita

pelo próprio sol ou vento (método mais antigo); e a artificial, a qual necessita de fornecimento de energia, diferente da solar (PARK, 2001).

Quando ar quente escoar sobre um material úmido, calor é transferido para a superfície, evaporando a água. Vapor de água se difunde através de uma camada limite sendo levado pela corrente de ar. Cria-se, portanto, uma região de baixa pressão de vapor de água na superfície do material e uma diferença de pressão de vapor de água é estabelecida entre o interior úmido do material e o ar seco (FELLOWS, 1988).

A intensidade da secagem, a qual reflete a troca do conteúdo de umidade com o tempo é influenciada significativamente pelos parâmetros do processo de secagem, tal como temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do ar e também pela geometria da partícula (STRUMILLO e KUDRA, 1986). O fenômeno de secagem é fundamentado no conhecimento do conteúdo inicial e final (equilíbrio) de umidade do material, da relação da água com a estrutura sólida e do transporte da água do interior do material até a sua superfície. Este não pode ser generalizado para materiais biológicos, pois possuem características próprias e propriedades que podem sofrer importantes alterações durante a secagem (PARK, 2001).

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 massa entre o ar de secagem e o produto é um fenômeno comum a qualquer condição de secagem.

A taxa de secagem pode ser afetada tanto por condições externas como internas. Além da remoção da umidade por evaporação a partir da superfície para o ar ambiente ser essencial para o processo de secagem, a migração de umidade dentro do material úmido também deve ser considerada (através da camada limite).

O processo de secagem é representado pela curva de secagem que apresenta umidade do material em função do tempo, e pela curva de cinética de secagem que mostra a taxa de secagem em função da umidade do material.

A taxa de secagem é definida como a quantidade de umidade removida do material por unidade de tempo:

$$N = -\frac{dX}{dt} \quad (2.1) \text{ (CRANCK, 1986)}$$

Onde: N = Taxa de secagem [l/h]

X = Umidade em base seca [kg água/kg matéria seca]

t = Tempo [h]

Uma curva de secagem típica, para secagem convectiva, é apresentada na Figura 2.8, enquanto na Figura 2.9 tem-se a curva da cinética de secagem. Analisando as curvas encontramos os seguintes segmentos:

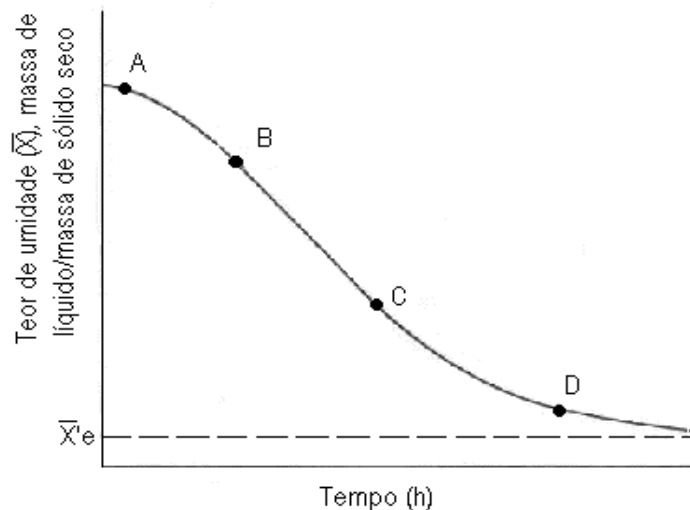


Figura 2.8: Curva de Secagem (FOUST *et al.*, 1982).

Segmento AB: representa período inicial, corresponde ao período de estado estacionário durante o qual o material se adapta às condições de secagem e sua temperatura atinge o valor do estado estacionário.

Segmento BC: representa período de taxa de secagem constante, é caracterizado pelo fato da velocidade de secagem ser independente da umidade total do material em cada instante.

Segmento CD: representa o primeiro período de taxa decrescente, começa no instante em que o material atinge o ponto de umidade crítica, ou seja, instante em que o movimento do líquido do interior do sólido para a superfície é insuficiente para manter um filme contínuo sobre a superfície do sólido. Desta forma, a superfície do material torna-se mais seca.

Segmento DE: representa o segundo período de taxa decrescente, onde todo o vapor que é retirado do sólido deve difundir-se através do sólido até a superfície e, em seguida, através da corrente gasosa.

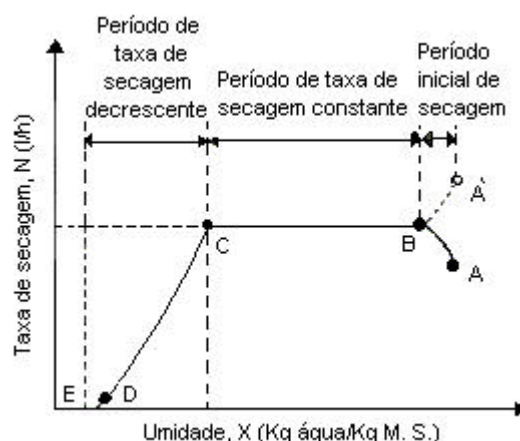


Figura 2.9: Taxa de secagem em função da umidade, em base seca, do material (CRANCK, 1986).

2.2.1.1 Período inicial de secagem

Nesse período ocorre uma elevação gradual da temperatura do produto e da pressão de vapor de água. Essas elevações têm continuidade até o ponto em que a transferência de calor seja equivalente à transferência de massa (água) (PARK, 2001). O material e sua superfície coberta com uma camada de líquido tem temperatura inferior à temperatura de equilíbrio, a qual é muitas vezes igual a temperatura de bulbo úmido do ar. Se o material tiver uma temperatura superior à de equilíbrio, o que dificilmente ocorre, o período inicial de secagem é representado pela linha tracejada A'B (STRUMILLO & KUDRA, 1986).

2.2.1.2 Período de taxa constante

Neste período, a água evaporada é a água livre. A transferência de massa e de calor é equivalente e, portanto, a velocidade de secagem é constante. Enquanto houver quantidade de água na superfície do produto suficiente para acompanhar a evaporação, a taxa de secagem será constante. Portanto, durante este período a superfície se mantém úmida. A temperatura do material é usualmente igual à temperatura de bulbo úmido do ar. Por isso, nesse período de secagem podem ser usadas altas temperaturas do ar de secagem. (STRUMILLO & KUDRA, 1986).

A camada limite de ar ao redor do alimento age como uma barreira para a transferência de ambos, calor e vapor de água, durante a secagem. A espessura dessa camada é determinada principalmente pela velocidade do ar de secagem. Quando a velocidade do ar é muito baixa, vapor d'água deixa a superfície do alimento e aumenta a umidade do ar na camada limite, causando uma redução no gradiente de pressão de vapor d'água e, conseqüentemente, na taxa de secagem. Similarmente, se a temperatura do ar de secagem diminui ou a umidade aumenta, a

taxa de evaporação diminui e a secagem torna-se mais lenta (SCHULTZ, 1999).

Se o sólido não é poroso, a água removida neste período é principalmente a água superficial. E, se tratando de sólido poroso, o período de velocidade constante continua durante um tempo maior, com a água que é removida da superfície sendo substituída pela água do interior do sólido. O mecanismo através do qual o líquido é levado até a superfície e, conseqüentemente, a velocidade deste mecanismo varia fortemente com a estrutura do sólido. Em sólidos fibrosos ou de estrutura amorfa, o movimento do líquido através do sólido é devido à difusão (FOUST, 1982). Como a velocidade de difusão é muito menor que a velocidade decorrente do mecanismo de capilaridade ou de gravidade, os sólidos em que o movimento do líquido é controlado por difusão têm um período de velocidade constante menor, ou mesmo podem secar-se sem passar pelo período de velocidade constante. O período de velocidade constante pode não existir se o sólido a ser secado contiver um teor de umidade inferior à velocidade crítica (AGUIRRE, 2000).

Para ocorrer uma secagem bem-sucedida neste período de taxa constante, três características do ar são necessárias (FELLOWS, 1988):

- Temperatura de bulbo seco relativamente alta,
- Baixa umidade relativa,
- Alta velocidade do ar.

A extensão do período de secagem depende principalmente da estrutura do alimento que está sendo seco e das condições do ar de secagem. Alimentos não-higroscópicos, em que o movimento de líquido é provavelmente controlado por forças de capilaridade e gravidade, costumam apresentar um período de taxa constante durante o processo de secagem. Já aqueles, onde o movimento do líquido se dá pelo mecanismo de difusão, que são chamados de

higroscópicos, são secos sem apresentarem o período de taxa constante (FELLOWS, 1982).

O período de taxa constante termina quando o conteúdo de umidade crítica (X_c) é atingido (ponto C na figura 2.8 e 2.9), ou seja, o conteúdo de umidade do alimento não é suficiente para saturar a superfície inteira. Segundo McCABE & SMITH (1976), a umidade crítica não é uma propriedade intrínseca do material, e geralmente varia com a espessura do alimento e com a taxa de secagem.

2.2.1.3. Primeiro período de taxa decrescente

O início do período de taxa decrescente ocorre quando a taxa de transporte de líquido para a superfície é menor do que a taxa de evaporação, reduzindo assim 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. A temperatura do produto aumenta, atingindo a temperatura do ar de secagem.

RIZVI (1986), citado em SCHULTZ (1999), relata que neste período a taxa de secagem diminui até que se aproxime de zero, quando a umidade do produto produz uma pressão de vapor próxima a de equilíbrio com o ar externo. Quando o produto atinge o ponto de umidade de equilíbrio (X_0) em relação ao ar de secagem, ou seja, quando a pressão de vapor do alimento se iguala a pressão parcial de vapor do ar seco, o processo é encerrado.

Durante este período, tem-se dois mecanismos: o mecanismo que existia no período de velocidade constante continua a existir enquanto houver líquido saturando regiões da superfície. Ao mesmo tempo, o vapor proveniente dos níveis mais baixos se difunde através do sólido para as regiões da superfície que não estão saturadas, tendo em seguida, que se difundir no seio da corrente gasosa. Este mecanismo de difusão é muito lento, em comparação com o mecanismo de evaporação de água num

reservatório. Por esta razão, a velocidade de secagem diminui rapidamente à medida que a umidade diminui, tornando menores as regiões saturadas (AGUIRRE, 2000).

No período de secagem decrescente, geralmente o único observado para os produtos biológicos, o comportamento da secagem é fixado pela migração interna de umidade. Os diferentes mecanismos de secagem que governam o deslocamento da água são (SANTIN, 1996):

- deslocamento do líquido sobre o efeito da força da gravidade;
- migração capilar da água líquida por ação da tensão superficial;
- difusão da água adsorvida sobre a superfície interna dos poros vazios;
- difusão de líquido sob o efeito de um gradiente de umidade, descrito normalmente pela lei de Fick: é uma difusão molecular;
- difusão do vapor sob o efeito de um gradiente de pressão parcial de vapor d'água;
- escoamento de água sob o efeito de um gradiente de pressão total entre o interior e exterior do produto;
- migração de água líquida ou vapor devido ao efeito de um gradiente de temperatura.

Estas transferências internas de massa são influenciadas por dois fenômenos importantes para os produtos biológicos:

- migração de solutos;
- deformação do produto: os produtos biológicos freqüentemente se retraem no decorrer da secagem.

Em sólidos amorfos, as curvas de secagem mostram o primeiro período de taxa decrescente muito reduzido, e a maior parte do processo é controlada pela difusão do líquido em razão de terminarem em valores elevados do teor crítico de umidade (FOUST, 1982).

2.2.1.4. Segundo período de taxa decrescente

A maior parte da secagem ocorre no segundo período de taxa decrescente. Segundo AGUIRRE (2000), no segundo período decrescente, todo o vapor que é retirado do sólido deve difundir-se através do sólido até a superfície e, em seguida, através da corrente gasosa. Isto faz com que a velocidade de secagem diminua ainda mais. Os períodos de velocidade decrescente podem ser maiores que o período de velocidade constante, apesar da umidade que deve ser removida ser, na maioria das vezes, menor.

Quando se atinge a umidade de equilíbrio, não se tem mais a secagem, e a velocidade de secagem cai a zero. A umidade de equilíbrio é alcançada quando a pressão parcial do vapor na superfície do sólido for igual à pressão do vapor na fase gasosa.

2.2.2 Descrição matemática do processo de secagem

O período de taxa de secagem decrescente é quase sempre o único observado para a secagem de produtos agrícolas e alimentícios. A complexidade dos fenômenos que ocorrem durante a secagem leva os pesquisadores a proporem numerosas teorias e modelos para prever a taxa de secagem: Teoria difusional; Teoria capilar; Teoria de Luikov; Teoria de Phillip & de Vries; teoria de Krisher-Berger & Pel; Teoria da condensação - evaporação.

Quando se observa um sólido poroso, verifica-se que ele apresenta distribuição (ou não) de poros e geometrias internas e externas peculiares que determinam a mobilidade do difundente (CREMASCO, 1998). Devido a isso, a difusão de gases, vapores e líquidos em um sólido poroso tornam-se um processo complexo em função da estrutura heterogênea do material poder interagir com os compostos que estão difundindo. Como resultado, a

difusividade de moléculas pequenas em sólidos é muito menor do que em líquidos, e isto deve afetar a taxa de vários processos químicos e físicos envolvendo a transferência de massa, como a secagem (SCHULTZ, 1999).

Segundo SARAVACOS (1986), a difusão de umidade em alimentos sólidos durante a secagem envolve a difusão molecular, o fluxo capilar, a difusão de Knudsen, o fluxo hidrodinâmico, ou ainda, a difusão superficial.

Pela teoria da difusão, um coeficiente efetivo pode ser estimado durante a secagem, a partir de dados experimentais, a temperaturas específicas, geralmente através da taxa de secagem. A teoria difusional se apóia exclusivamente sobre a lei de Fick, a qual expressa que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água. Considera-se que a temperatura no alimento nesse período de secagem é constante, o que torna o coeficiente de difusão da água no alimento também constante, pois este depende da temperatura (SARAVACOS, 1986). Para o caso de secagem em sistemas de coordenadas cartesianas, unidirecional, a 2ª Lei de Fick da Difusão é dada por:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{ef} \cdot \frac{\partial^2 X}{\partial z^2} \quad (2.2)$$

Onde: X = Teor de umidade da amostra [kg água/kg matéria seca].

t = tempo de secagem [s]

D_{ef} = Coeficiente de difusão efetivo da água no alimento
[m²/s]

z = Direção na qual ocorre a transferência de massa
[m].

As condições iniciais e de contorno para uma placa semi-infinita são:

$$\text{C.I.: } t = 0, X(z, 0) = X_0 \quad (2.2.a)$$

$$\text{C.C.: } z = L_0, X(L, t) = X_e \text{ (na superfície)} \quad (2.2.b)$$

$$z = 0, \frac{\partial X}{\partial t} = 0 \quad (\text{umidade máxima no centro}) \quad (2.2.c)$$

Onde:

X_0 = Teor de umidade inicial [kg água/kg matéria seca]

X_e = Umidade de equilíbrio [kg água/kg matéria seca]

L = Metade da espessura da amostra [m]

L_0 = Metade da espessura inicial da amostra [m]

Supondo que a umidade se distribui uniformemente e, que a resistência externa seja desprezível, a solução analítica da lei de Fick é dada na forma de uma série infinita (CRANK, 1975):

$$\frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n + 1)^2} \exp\left[-\frac{(2n + 1)^2 \pi^2 D_{ef} \cdot t}{4 L_0^2}\right] \quad (2.3)$$

Para altos valores do número de Fourier de massa, $F_0 = D_{ef} \cdot t / L_0^2$ (LUIKOV, 1961) a equação (2.3) converge rapidamente e somente o primeiro termo é usado, resultando em :

$$\frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left[-\frac{\pi^2 D_{ef} \cdot t}{4 L_0^2}\right] \quad (2.4)$$

Assim, para o período de taxa decrescente, obtém-se uma relação linear, em coordenadas semi-logarítmicas, entre a razão de umidade $(X - X_e)/(X_0 - X_e)$ e o tempo de secagem. Isso permite o cálculo do coeficiente de difusão efetivo. O coeficiente de difusão tem sido calculado, através desse método, para a secagem de cebola, bananas pré-tratadas osmoticamente, maçãs, amoras (SCHULTZ, 1999).

Apesar de inúmeros esforços no sentido de se obter um modelo teórico para o processo de secagem, os dados experimentais ainda têm um papel importante no estudo da desidratação de alimentos (MAZZA, 1980).

Para a escolha de um processo ideal de secagem deve-se analisar vários fatores como: propriedades organolépticas (sabor e aroma), tempo e energia gasta. O tempo de processo, ou seja, a velocidade de troca de calor entre a matéria-prima e o ar pode ser analisado através da difusividade efetiva nas diversas temperaturas de processo (PARK, 2001).

3. Materiais e Métodos

Neste capítulo descrevem-se o planejamento experimental realizado, os procedimentos e equipamentos utilizados para o estudo da secagem de erva-mate sapecada, bem como as características da matéria-prima e os métodos analíticos para determinação de umidade e coeficiente de difusão efetivo.

3.1) Obtenção e preparo da matéria-prima

Erva-mate de erval nativo e plantado foi obtida de duas procedências: de um pequeno produtor da região de Chapecó (SC), que forneceu parte da erva crua (Figura 3.1 parte superior) e outro produtor da região da Lapa (PR) que forneceu a erva branqueada (Figura 3.1 parte inferior). A erva branqueada (denominada sapecada, no campo) é aquela que sofreu um processo de pré-secagem (sapeco) na fazenda, a aproximadamente 300°C por 5 segundos e utilizada como parte do material de estudo para este trabalho.



Figura 3.1: Erva-mate in natura (parte superior) e erva-mate com pré-tratamento a 300°C por 5 segundos (sapeco, parte inferior).

O preparo da erva-mate foi realizado cuidadosamente, respeitando todas as etapas precedentes ao processo de secagem, desde corte até armazenamento (Figura 3.2), adotando-se desta maneira uma metodologia de trabalho que visa uma uniformidade nas amostras.

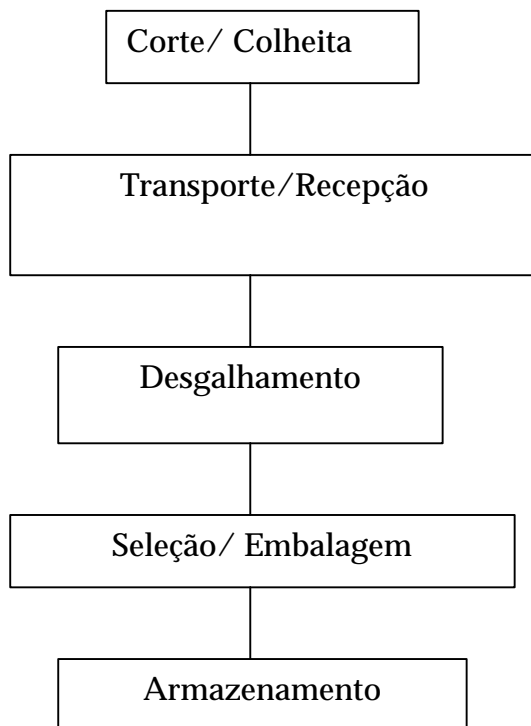


Figura 3.2: Fluxograma da preparação da erva-mate.

3.1.1) Corte e Colheita: o corte dos ramos foi realizado manual com facão, em erval nativo e a erva-mate colhida foi branqueada no mesmo dia. O período de colheita para o estudo foi de março a novembro.

3.1.2) Transporte e Recepção: a erva-mate foi enviada para estudo em sacos de ráfia. O período de transporte foi de 1 a 2 dias. Esta etapa foi realizada tão logo possível (36 a 48 h) para que fossem mantidas as características do produto. Chegando ao laboratório foram feitos os desgalhamentos dos ramos.

3.1.3) Seleção e Embalagem: a seleção foi feita com a finalidade de homogeneizar a qualidade das folhas, ou seja, foram eliminadas aquelas que apresentavam manchas pretas, ataque de pragas, enfim, alguma falta de uniformidade. As amostras foram embaladas em sacos plásticos de polipropileno a fim de manter suas características por um período mais prolongado. Cada embalagem continha aproximadamente 25 g de erva-mate.

3.1.4) Armazenamento: devido à impossibilidade de processamento imediato, as amostras embaladas foram armazenadas em geladeira (cerca de 4°C), até serem processadas.

3.2) Processo de Secagem

Para a realização dos experimentos de secagem com erva-mate foram utilizados dois métodos de secagem:

3.2.1) Secagem em desidratador com controle de velocidade de ar - Ensaios foram feitos no desidratador, de acordo com planejamento experimental, cujo esquema é mostrado na Figura 3.3. As seguintes condições de operação foram usadas: temperatura 50 e 90°C; altura de leito 2 e 4 cm; e velocidade do ar de secagem foi de 0 e 0,18 m/s, respectivamente.

3.2.2) Secagem convencional em estufa com circulação de ar - foi utilizado o processo de secagem convencional em estufa ventilada, por ser o que mais se assemelha do processo utilizado nas fazendas.

Ensaios de secagem com folhas de erva-mate in natura e branqueada foram realizados em estufa ventilada, camada delgada (1 mm) e espessa (20 mm) nas temperaturas de 50, 70 e 90°C. As bandejas de aço inox e com formato quadrado, foram feitas com tela com abertura de 3 mm; a bandeja possuía uma área de seção

transversal 100 cm² e altura 3 cm, rodeadas com papel alumínio, gradeadas na parte inferior e abertas na parte superior. A temperatura do ar de secagem foi controlada através de um termômetro acoplado na estufa.

3.3) Equipamentos utilizados na secagem

No estudo da secagem de erva-mate m in natura e branqueada foram utilizados os seguintes equipamentos:

a) Desidratador MS: 220 volts, com isolamento térmico turbo para ventilação e controlador de temperatura microprocessado sensor PT 100 automático, o qual lhe confere exatidão no processamento dos sinais.

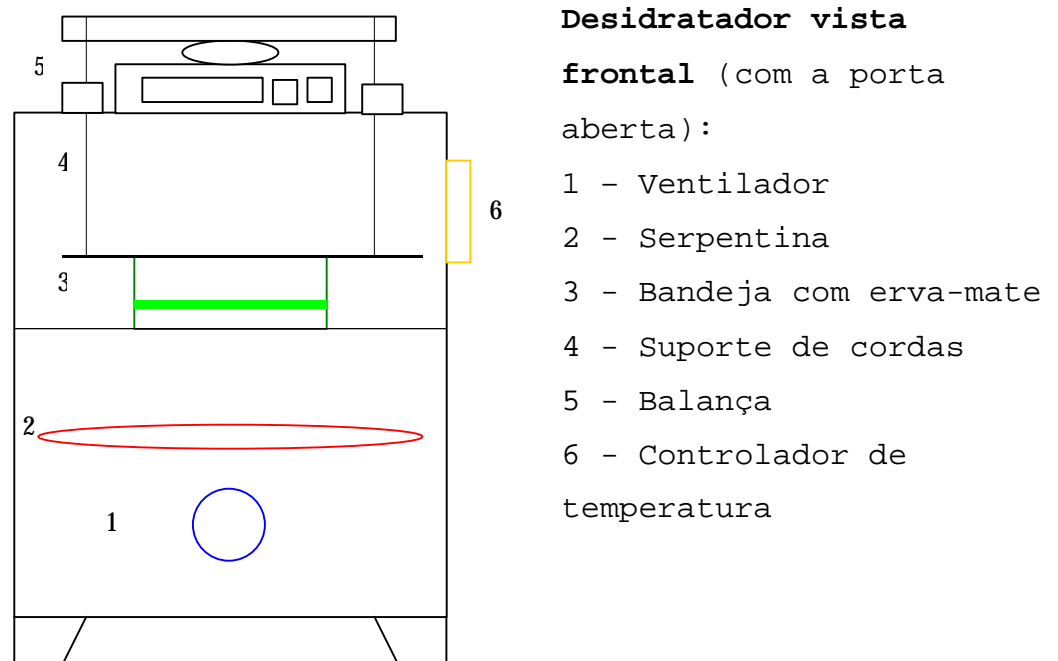


Figura 3.3: Desenho esquemático do sistema para secagem de erva-mate no desidratador.

b) Estufas:

- Secagem e esterilização - Fanem, modelo 320 SE Circulação mecânica.

- Estufa de Secagem e esterilização - Fanem, modelo 315 SE.

c) **Anemômetro:** medidor de velocidade do ar de secagem marca Minipa.

d) **Balanças:**

- Sartorius BP 1200, máx: 1200g, d= 0,01 g e,

- Gehaka BG 1000

e) **Selador Impulso Sulpack:** Alimentado por uma tensão, de aproximadamente 24 V, a resistência fecha contato negativo com positivo, fazendo com que o plástico (que não tem isolamento suficiente) derreta através do contato com a resistência aquecida.

3.4) Planejamento experimental

O planejamento experimental é uma técnica através da qual se podem avaliar os fatores que influem significativamente sobre uma determinada resposta (BARROS NETO et al., 2001).

Foi realizado um planejamento experimental considerando as seguintes variáveis: tipo de erva-mate, tratamento, idade da folha, idade da planta, temperatura, espessura do leito e velocidade do ar de secagem, a fim de determinar quais variáveis influem no processo de secagem de erva mate. A variável idade da folha foi definida de acordo com o tamanho e rigidez da folha.

O planejamento saturado 2_{III}^{7-4} foi feito utilizando as variáveis selecionadas apresentadas na Tabela 3.1. Para as sete variáveis selecionadas, foram realizados oito ensaios. O planejamento foi construído usando as relações geradoras **I=124**, **I=135**, **I=236** e **I=1237** (Tabela 3.2).

Tabela 3.1: Variáveis codificadas.

Variáveis	Nível -	Nível +
(1) Tipo	Nativa	Plantada
(2) Branqueamento	Não	Sim
(3) Idade da folha	Nova	Velha
(4) Idade da planta	Nova	Velha
(5) Temperatura (°C)	50	90
(6) Espessura (cm)	2	4
(7) Velocidade (m/s)	0	0,18

Tabela 3.2: Planejamento saturado para avaliar as variáveis que afetam a secagem de erva-mate.

Ensaio	1	2	3	4	5	6	7
1	-	-	-	+	+	+	-
2	+	-	-	-	-	+	+
3	-	+	-	-	+	-	+
4	+	+	-	+	-	-	-
5	-	-	+	+	-	-	+
6	+	-	+	-	+	-	-
7	-	+	+	-	-	+	-
8	+	+	+	+	+	+	+

O planejamento 2_{III}^{7-4} corresponde a 1/16 do planejamento completo 2^7 , e por isso produz 2^3 observações independentes, que são as respostas dos oito ensaios. Cada efeito principal estará confundido com quinze outros efeitos. Como os resultados destes ensaios são misturados com efeitos de 2ª ordem, para separá-los (ou desconfundí-los) foi realizado um planejamento espelho (Tabela 3.3) de forma a separar o valor dos efeitos principais. Essa característica nos permite isolar os efeitos principais, combinando os resultados dos dois planejamentos.

O erro experimental só pode ser calculado a partir da repetição de todas as etapas do processo. Para assegurar um

resultado mais significativo, os experimentos foram realizados em triplicata e em ordem aleatória para evitar distorções, resultando em dois planejamentos experimentais com 24 ensaios cada. Foram feitas medidas de umidade inicial de cada condição, a 30 minutos do tempo inicial de secagem. Este tempo foi determinado a partir de estudos preliminares.

Tabela 3.3: Espelho do planejamento experimental.

Ensaio	1	2	3	4	5	6	7
1	+	+	+	-	-	-	+
2	-	+	+	+	+	-	-
3	+	-	+	+	-	+	-
4	-	-	+	-	+	+	+
5	+	+	-	-	+	+	-
6	-	+	-	+	-	+	+
7	+	-	-	+	+	-	+
8	-	-	-	-	-	-	-

Os ensaios do planejamento experimental foram também realizados no desidratador por necessitar do controle de velocidade de ar de secagem.

3.5) Curvas e Cinéticas de secagem

As curvas de secagem adimensional são as mais empregadas para descrever o processo de secagem e as curvas de cinética de secagem para descrever a velocidade de secagem em função do teor de umidade. Estas curvas são obtidas derivando os dados de teor de umidade e tempo (FOUST *et al.*, 1982). O programa Excel foi utilizado para gerar as planilhas de pontos e para a construção dos gráficos.

Secagem em estufa: A erva-mate utilizada para determinação das curvas de secagem foi preparada e processada como descrito nos itens 3.1 e 3.2, colocadas em bandejas com altura de leito pré-determinado e levadas à câmara de secagem. (Após intervalos de tempo previamente estipulados, a bandeja é rapidamente retirada e pesada em uma balança, com precisão 0,01g num tempo de aproximadamente 25 segundos. A medida do teor de umidade foi feita comparativamente ao teor de umidade inicial, feito de acordo com o item 3.6.1.

3.6) Análises

A fim de avaliar as modificações de umidade sofridas pela erva-mate durante o processo de secagem foram realizadas análises de teor de umidade.

3.6.1) Teor de Umidade:

Em uma balança semi-analítica digital com precisão de 0,001g, pesou-se cerca de cinco gramas de erva-mate em placa de petri previamente tarada, para análise de umidade. Deixou-se a amostra durante 24 h, ou até peso constante em estufa a 105°C. As amostras foram retiradas da estufa e colocadas em dessecadores mantidos à temperatura ambiente para resfriar e foram pesadas novamente. As análises do teor de umidade foram feitas em triplicatas e o resultado foi calculado a partir da média aritméticas das massas iniciais e finais. O teor de umidade pode ser dado em base úmida, conforme a equação (3.2).

$$X_{bu} = \frac{m_{total} - m_{seca}}{m_{total}} \quad (3.2)$$

Onde: X_{bu} = teor de umidade em base úmida

m_{total} = massa total

m_{seca} = massa seca

3.7) Modelagem

O coeficiente de difusão efetivo foi estimado para um sistema de coordenadas cartesianas, unidirecionais, a partir da segunda Lei de Fick com teor de umidade em base seca, que é dada por:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{\text{ef}} \cdot \frac{\partial^2 X}{\partial z^2} \quad (3.3)$$

Onde: X = Teor de umidade da amostra [kg água/kg matéria seca]

t = Tempo de secagem [s]

D_{ef} = Coeficiente de difusão efetivo da água no alimento
[m²/s]

z = Direção na qual ocorre a transferência de massa [m].

Considerando-se uma placa semi-infinita, as condições iniciais e de contorno são:

$$\text{C.I.: } t = 0, X(z, 0) = X_0 \quad (3.4.a)$$

$$\text{C.C.: } z = L_0, X(L, t) = X_e \text{ (na superfície)} \quad (3.4.b)$$

$$z = 0, \frac{\partial X}{\partial z} = 0 \text{ (umidade máxima no centro)} \quad (3.4.c)$$

Onde:

X_0 = Teor de umidade inicial [kg água/kg matéria seca]

X_e = Umidade de equilíbrio [kg água/kg matéria seca]

L = Metade da espessura da amostra [m]

L_0 = Metade da espessura inicial da amostra [m]

Supondo que a umidade se distribui uniformemente e, que a resistência externa seja desprezível, a solução analítica da lei de Fick é dada na forma de uma série infinita (CRANK, 1975):

$$\frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n + 1)^2} \exp\left[-\frac{(2n + 1)^2 \pi^2 D_{ef} \cdot t}{4 L_0^2}\right] \quad (3.5)$$

Para altos valores do número de Fourier de massa, $F_0 = D_{ef} \cdot t / L_0^2$ (LUIKOV, 1961) a equação (3.6) converge rapidamente e somente o primeiro termo é usado, resultando em :

$$\frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp\left[-\frac{\pi^2 D_{ef} \cdot t}{4 L_0^2}\right] \quad (3.6)$$

Assim, para o período de taxa decrescente, obtém-se uma relação linear, em coordenadas semi-logarítmicas, entre a razão de umidade $(X - X_e) / (X_0 - X_e)$ e o tempo de secagem. Isso permite o cálculo do coeficiente de difusão efetivo. O coeficiente de difusão foi calculado, através desse método. SCHULTZ (1999) também utilizou este método para calcular o coeficiente de difusão para maçãs.

O logaritmo natural da razão X/X_0 foi calculado a partir dos dados da curva de secagem. O coeficiente de difusão efetivo foi calculado a partir da inclinação das curvas de $\ln(X/X_0)$ em função do tempo, de acordo com a equação (3.7), a qual foi obtida da equação (3.6) e admitindo umidade de equilíbrio igual a zero.

$$\ln\left(\frac{X}{X_0}\right) = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \frac{\pi^2 D_{ef} \cdot t}{4 L_0^2} \quad (3.7)$$

O critério utilizado para aceitar a adequação linear sobre os pontos experimentais, foi à obtenção de um coeficiente de determinação $R^2 > 0,9$.

Um exemplo de curva de $\ln(X/X_0)$ versus tempo é apresentado na Figura 3.1. Onde a difusividade de água "D_{ef} 1", é determinada para a primeira inclinação e a difusividade "D_{ef} 2" para a segunda inclinação.

A equação (3.7) (Cranck, 1986) pode ser rearranjada resultando na equação (3.8).

$$-\ln\left(\frac{X}{X_0} \frac{\pi^2}{8}\right) = \frac{\pi^2 \cdot D_{ef} \cdot t}{4 \cdot L_0^2} \quad (3.8)$$

A equação (3.7) é uma equação linear com intersecção no ponto $y=0$, e com coeficiente angular igual a $(\pi^2 D_{ef} / 4 L_0^2)$.

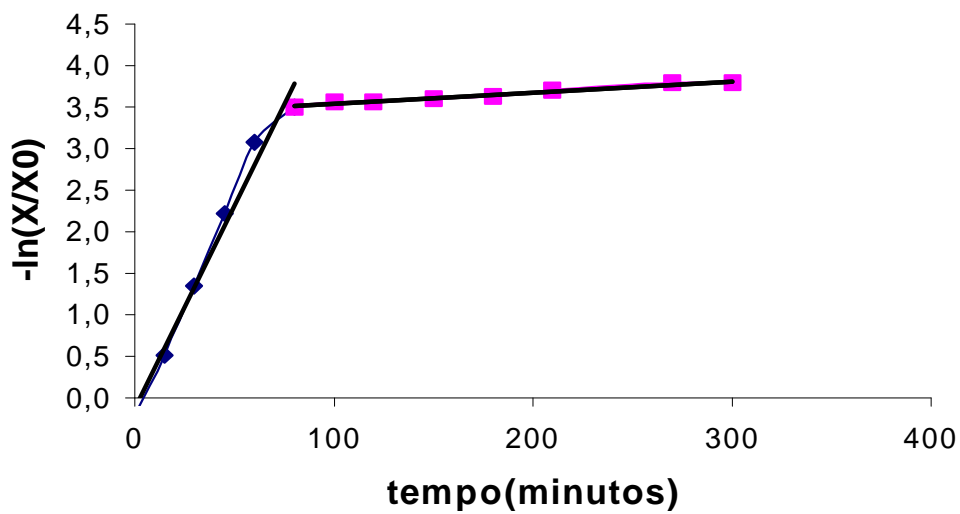


Figura 3.4: Curva de secagem de erva-mate, ilustrando os dois períodos de D_{ef} , um corresponde ao início do processo de secagem e o outro ao término da secagem.

4. Resultados e discussões

Neste capítulo são apresentadas as influências da espessura, da temperatura e do teor de umidade inicial sobre a secagem de erva-mate in natura e branqueada. O sistema utilizado foi testado por meio de ensaios preliminares determinando todas as variáveis que influenciam no processo de secagem. Para evidenciar as variáveis que mais influem no processo de secagem de erva-mate sapecada, foi realizado um planejamento experimental saturado 2^{7-4}_{III} . A partir dos resultados do planejamento experimental, curvas de secagem e difusividades efetivas de vapor de água são apresentadas.

4.1) Considerações iniciais

O estudo da secagem de erva-mate foi realizado admitindo as variáveis: temperatura, umidade inicial e espessura do leito no processo de secagem. As amostras foram armazenadas em geladeira até o processamento, tendo sido observado um pequeno aumento no teor de umidade no período de um mês de armazenamento. Para que este fato não interferisse no processo de secagem passou-se a embrulhar as folhas em jornal e depois em sacos plásticos. Quanto aos demais aspectos como coloração e rigidez das folhas não foram observadas diferenças entre as amostras. Além disso, a época de colheita determina a qualidade da erva-mate, bem como o rendimento após o processo de secagem. Folhas colhidas em novembro apresentaram muitos brotos (folhas novas) que continham mais umidade e que perdiam a rigidez após o sapeco e durante o armazenamento em geladeira. Estas foram descartadas. Outra consideração é que folhas de ervais nativos de aproximadamente 40 anos, apresentaram tamanhos menores quando comparados com

folhas de ervais nativos mais novos (4 a 5 anos). Quanto à coloração, as oriundas de ervais nativos velhos apresentaram uma coloração verde musgo, sendo que após a secagem se tornam um pouco amarelado, já as ervas de ervais nativos mais novos, após secagem apresentaram uma coloração verde oliva, um tom mais amarelado do verde. Quanto à deformação a erva-mate após o processo de secagem, apresenta uma deformação aleatória das folhas, ocasionando um aumento do leito de secagem, independente da temperatura do ar adotada, sendo maior para temperaturas mais elevadas.

4.2) Planejamento experimental

A Tabela 4.1 traz, novamente, as variáveis codificadas estudadas. As Tabelas 4.2 e 4.3 mostram os resultados obtidos em triplicata, no planejamento saturado e espelho, com as respectivas respostas. O teor de umidade médio inicial, base úmida (erva nova e velha, planta nova e velha), para erva crua foi de $0,36 \pm 0,046$ e para erva sapecada foi de $0,47 \pm 0,012$. O teor de umidade a cada 30 minutos do tempo inicial de secagem foi à resposta obtida (Tabela 4.2 e 4.3).

Para calcular o erro experimental os experimentos foram realizados em triplicata, em ordem aleatória.

Tabela 4.1: Variáveis codificadas.

Variáveis	Nível -	Nível +
(1) Tipo	Nativa	Plantada
(2) Branqueamento	Não	Sim
(3) Idade da folha	Nova	Velha
(4) Idade da planta	Nova	Velha
(5) Temperatura (°C)	50	90
(6) Espessura (cm)	2	4
(7) Velocidade (m/s)	0	0,18

Foram feitas medidas de umidade inicial de cada condição de secagem, e a 30 minutos do tempo inicial de secagem. O tempo de 30 minutos foi tomado a partir de dados experimentais obtidos de ensaios realizados anteriormente.

Tabela 4.2: Planejamento saturado para avaliar as variáveis que afetam a secagem de erva mate branqueada.

Ensaio	1	2	3	4	5	6	7	Resposta
1	-	-	-	+	+	+	-	0,44
2	-	-	-	+	+	+	-	0,60
3	-	-	-	+	+	+	-	0,58
4	+	-	-	-	-	+	+	0,56
5	+	-	-	-	-	+	+	0,58
6	+	-	-	-	-	+	+	0,57
7	-	+	-	-	+	-	+	0,48
8	-	+	-	-	+	-	+	0,57
9	-	+	-	-	+	-	+	0,33
10	+	+	-	+	-	-	-	0,61
11	+	+	-	+	-	-	-	0,70
12	+	+	-	+	-	-	-	0,75
13	-	-	+	+	-	-	+	0,69
14	-	-	+	+	-	-	+	0,78
15	-	-	+	+	-	-	+	0,80
16	+	-	+	-	+	-	-	0,67
17	+	-	+	-	+	-	-	0,69
18	+	-	+	-	+	-	-	0,87
19	-	+	+	-	-	+	-	0,80
20	-	+	+	-	-	+	-	0,79
21	-	+	+	-	-	+	-	0,88
22	+	+	+	+	+	+	+	0,53
23	+	+	+	+	+	+	+	0,48
24	+	+	+	+	+	+	+	0,47

Tabela 4.3: Planejamento espelho.

Ensaio	1	2	3	4	5	6	7	Resposta
1	+	+	+	-	-	-	+	0,56
2	+	+	+	-	-	-	+	0,49
3	+	+	+	-	-	-	+	0,42
4	-	+	+	+	+	-	-	0,47
5	-	+	+	+	+	-	-	0,51
6	-	+	+	+	+	-	-	0,44
7	-	-	+	-	+	+	+	0,87
8	-	-	+	-	+	+	+	0,94
9	-	-	+	-	+	+	+	0,90
10	-	-	+	-	+	+	+	0,47
11	-	-	+	-	+	+	+	0,68
12	-	-	+	-	+	+	+	0,73
13	+	+	-	-	+	+	-	0,64
14	+	+	-	-	+	+	-	0,53
15	+	+	-	-	+	+	-	0,63
16	-	+	-	+	-	+	+	0,84
17	-	+	-	+	-	+	+	0,82
18	-	+	-	+	-	+	+	0,87
19	+	-	-	+	+	-	+	0,49
20	+	-	-	+	+	-	+	0,46
21	+	-	-	+	+	-	+	0,53
22	-	-	-	-	-	-	-	0,95
23	-	-	-	-	-	-	-	0,93
24	-	-	-	-	-	-	-	0,95

O cálculo dos efeitos de cada fator foi calculado usando o programa "Statística"®. Seus respectivos índices estatísticos também são apresentados nas Tabelas 4.4 e 4.5.

Tabela 4.4: Cálculos dos efeitos.

Efeitos estimados sobre $X/X_0 - R^2 = 0,91072$						
	Efeitos	Desvio-padrão	t(16)	p	Limite de Confiança -95 %	Limite de Confiança +95 %
Média das interações	0,500417	0,019908	25,13598	2,75E-14	0,458213	0,542621
(1) TIPO	-0,13367	0,039817	-3,35704	0,004007	-0,21807	-0,04926
(2) BRANQUEAMENTO	0,0775	0,039817	1,946416	0,069383	-0,00691	0,161908
(3) IDADE FOLHA	0,0765	0,039817	1,921301	0,072692	-0,00791	0,160908
(4) IDADE PLANTA	-0,24333	0,039817	-6,11133	1,50E-05	-0,32774	-0,15893
(5) TEMPERATURA	0,371667	0,039817	9,334426	7,10E-08	0,287259	0,456074
(6) ESPESSURA	0,166167	0,039817	4,173284	0,000717	0,081759	0,250574
(7) VELOCIDADE	-0,06367	0,039817	-1,59899	0,129381	-0,14807	0,020741

Tabela 4.5: Cálculos dos efeitos para o planejamento espelho.

Efeitos estimados sobre $X/X_0 - R^2 = 0,92929$						
	Efeitos	Desvio-padrão	t(16)	p	Limite de Confiança -95 %	Limite de Confiança +95 %
Média das interações	0,675583	0,012588	53,66815	1,71E-19	0,648898	0,702269
(1) TIPO	0,0965	0,025176	3,832966	0,001467	0,043129	0,149871
(2) BRANQUEAMENTO	0,133333	0,025176	5,295981	7,24E-05	0,079962	0,186705
(3) IDADE FOLHA	0,101167	0,025176	4,018326	0,000993	0,047795	0,154538
(4) IDADE PLANTA	0,013	0,025176	0,516358	0,612667	-0,04037	0,066371
(5) TEMPERATURA	-0,2455	0,025176	-9,75123	3,90E-08	-0,29887	-0,19213
(6) ESPESSURA	0,148	0,025176	5,878539	2,33E-05	0,094629	0,201371
(7) VELOCIDADE	0,116667	0,025176	4,633984	0,000276	0,063295	0,170038

Tabela 4.6: Efeitos puros erva-mate.

	Saturado Efeito	Espelho Efeito	Efeitos principais puros $(1+1')/2$
Interações	0,500417	0,675583	0,588
(1) TIPO	-0,13367	0,0965	-0,01858
(2) BRANQUEAMENTO	0,0775	0,133333	0,105417
(3) IDADE FOLHA	0,0765	0,101167	0,088833
(4) IDADE PLANTA	-0,24333	0,013	-0,11517
(5) TEMPERATURA	0,371667	-0,2455	0,063083
(6) ESPESSURA	0,166167	0,148	0,157083
(7) VELOCIDADE	-0,06367	0,116667	0,0265

Os resultados obtidos forneceram as bases estatísticas para análise das variáveis que mais influenciam na secagem de erva-mate (Tabela 4.6), evidenciando-se que:

- o tipo de erva, nativa ou plantada não influi no teor de umidade (X);
- a aplicação do branqueamento (sapeco) afeta a diminuição do teor de umidade a 30 minutos de secagem;
- a idade da folha com a seleção estabelecida neste trabalho, não demonstrou influência significativa no processo;
- a idade da planta diminui significativamente a umidade. Quanto mais velha menor a capacidade de reter umidade, secando mais rapidamente;
- a faixa de temperatura estudada (50 a 90°C) não possui uma influência média significativa no processo de secagem, o motivo deste resultado é explicado a seguir;
- o aumento da espessura do leito dificulta a secagem fazendo com que um leito com a espessura de 4 cm tenha, a 30 minutos de processo, quase 17% de umidade a mais que o leito de 2 cm,
- a variação da velocidade de escoamento do ar entre 0 e 0,18m/s não influi significativamente na secagem, devido ao fato de serem muito próximas.

Com isso novos ensaios foram feitos em estufa com ventilação de ar, considerando que este equipamento mais se assemelhe da secagem realizada no barbaquá.

A Tabela 4.7 mostra os efeitos secundários confundidos, obtidos a partir dos dois planejamentos saturados anteriores.

O primeiro efeito significativo é resultado da confusão dos efeitos secundários 24 + 35 + 67. A significância deste efeito provavelmente é devido à interação entre o branqueamento (sapeco) e a idade da planta (24), dois efeitos significativos em interação. As demais interações possuem pouca probabilidade de influenciar este efeito de segunda ordem, visto que 3,5 e 7 não são significativos.

O segundo efeito confundido significativo é dado por 12 + 37 + 56, dos quais somente 56 tem a possibilidade de ter

importância sobre este efeito. Isto porque a espessura (fator 6) possui o maior efeito sobre o processo (0,157, conforme Tabela 4.6) e a temperatura, embora de magnitude menor, é a variável de maior importância em processos de secagem operados a temperatura maior que 50°C, como observado experimentalmente.

O terceiro efeito significativo é a mistura de 13 + 27 + 46. Destes, a idade da planta (4) e espessura (6) são os de maior valor e suspeita-se que sejam os responsáveis pela importância desta interação. Os demais são pequenos em relação a eles.

Então, os efeitos apontados pelo planejamento experimental como mais significativos são: o branqueamento, a idade da planta, a espessura. A influência da idade da planta não foi estudada pela dificuldade encontrada em obterem-se folhas de erva-mate velhas (40 anos).

Tabela 4.7: Efeitos secundários confundidos da erva-mate.

Legenda das Variáveis	Efeito Saturado	Efeito Espelho	$(1-1'')/2$
Média	0,500417	0,675583	-0,08758
24+35+67	-0,13367	0,0965	-0,11508
14+36+57	0,0775	0,133333	-0,02792
15+26+47	0,0765	0,101167	-0,01233
12+37+56	-0,24333	0,013	-0,12817
13+27+46	0,371667	-0,2455	0,308583
23+17+45	0,166167	0,148	0,009083
34+25+16	-0,06367	0,116667	-0,09017

4.3) Estudo do processo de secagem

4.3.1 Curvas de secagem

Neste item serão analisados, em detalhe, o efeito das variáveis estatisticamente significativas, com exceção da idade da planta, pois não foi possível obter amostras das mesmas. Apesar da temperatura não ser significativa, ela foi estudada

para mostrar porque um fator tão importante neste processo, não tem influência média nos ensaios realizados.

A Figuras 4.1 mostra curvas de secagem adimensional X/X_0 em função do tempo, nas temperaturas de 50, 70 e 90°C para erva-mate in natura em camada delgada (1 folha, 1 mm) e leito de 20 mm. Os pontos experimentais trazem seus respectivos desvios padrão. O estudo em camada delgada foi realizado com a intenção de simular o afastamento entre as folhas devido ao fato destas serem secas em galhos. O teor de umidade inicial médio para 4 horas de ensaio a 50°C, em camada delgada é de aproximadamente 0,2 e para camada espessa é de 0,64. Pode-se ver que com o aumento da espessura, o teor de umidade é maior para um mesmo tempo de secagem. Esta análise comparativa entre as curvas só é possível para teor de umidade adimensional, sendo o início da curva em $X/X_0=1$ para todos os ensaios, pois há uma variação grande do teor de umidade inicial do produto devido à falta de homogeneidade do produto.

Na Figura 4.1 pode-se observar também que as curvas de secagem a 50°C, mostram um distanciamento grande quando comparadas com 70°C; esta diferença se reduz quando comparado com a curva a 90°C, indicando que o efeito da temperatura, é maior a temperaturas inferiores a 70°C.

A não sobreposição dos desvios padrão mostra que a temperatura (Figura 4.1) é uma variável que produz resultados significativamente diferentes, para uma mesma condição de espessura.

Levando em consideração apenas a temperatura, e desconsiderando o parâmetro da espessura, poderíamos dizer que as curvas a 50°C para camada delgada, e a 70°C para camada espessa, seguem um mesmo comportamento, uma vez que os resultados da primeira se incluem na magnitude abrangida pelos desvios padrão da segunda.

A Figura 4.2 apresenta os resultados dos ensaios realizados com erva-mate branqueada, que possuem um teor de umidade inicial

médio $X_{bu} = 42\% \pm 0,007$. Verifica-se que em 50, 70 e 90°C as curvas de secagem apresentam praticamente o mesmo comportamento. Os tempos para atingir 5% de umidade foram de 40 minutos para 50°C e 30 minutos para 70°C e 90°C, em camada delgada, e de 80 minutos para 50°C, 60 minutos para 70°C e 40 minutos para 90°C, com erva em camada espessa. O pouco distanciamento entre as curvas de secagem para erva branqueada é influenciado pela menor quantidade de água que esta possui (Figura 4.1).

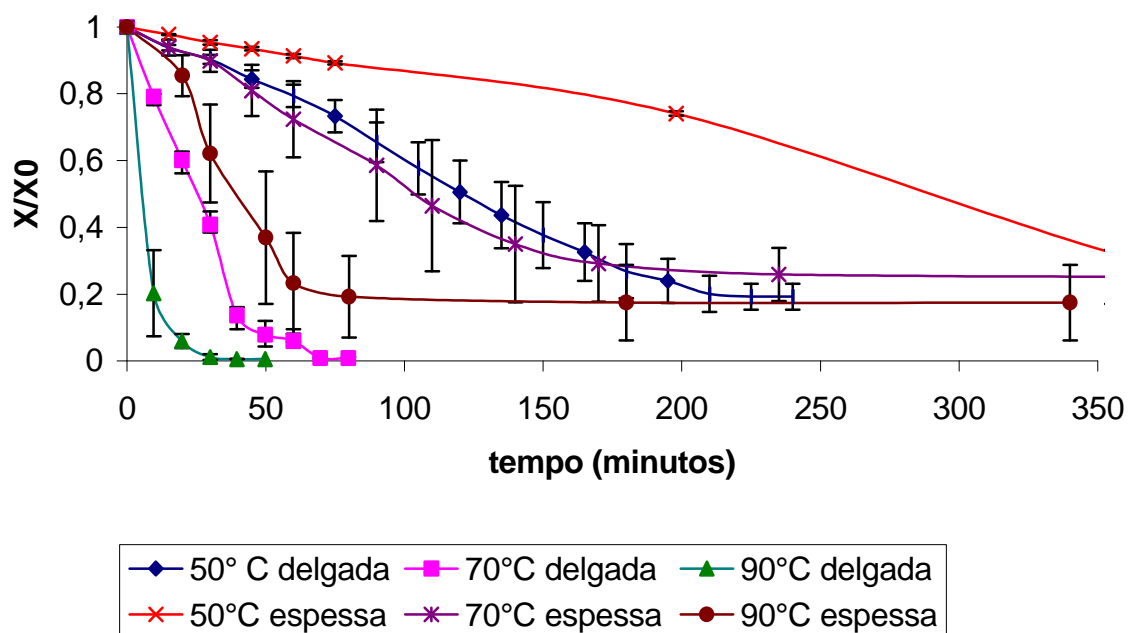


Figura 4.1: Curva Secagem Adimensional, erva-mate in natura.

A altura do leito de secagem (camada delgada x camada espessa) demonstrou considerável influência no processo de secagem de folhas branqueadas para temperatura de 50°C, embora as curvas de secagem apresentem um comportamento muito semelhante.

As Figuras 4.3 e 4.4 ilustram as curvas de secagem de erva-mate, in natura e branqueada, em camadas delgada e espessa, com seus respectivos desvio-padrão. Para a secagem de erva-mate in natura em camada delgada, observou-se uma grande distância entre as curvas de 50°C e 70°C (Figura 4.3). O mesmo não foi evidenciado comparando o processo a 70°C e 90°C, ou seja, a

influência da temperatura foi significativa para erva in natura apenas em valores inferiores a 70°C. Já na secagem de erva-mate branqueada, a diferença de temperatura não foi significativa no processo como observado na Figura 4.3.

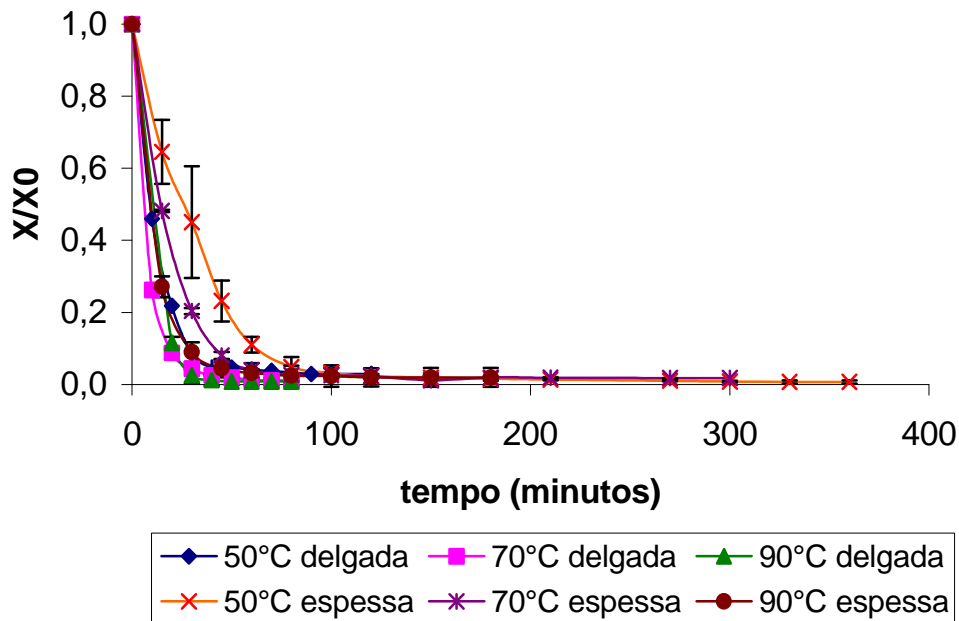


Figura 4.2: Curva Secagem Adimensional, erva-mate branqueada.

Conforme a Figura 4.4, para camada espessa o fator temperatura parece ter maior impacto na secagem de erva-mate in natura do que erva-mate branqueada, tendo em vista que, o tempo de secagem é maior para a camada espessa, exceto, a 90°C. Além disso, a X de equilíbrio atingido, nas condições de operação para a erva in natura é mais alto que para a erva branqueada. Isto indica uma resistência à perda de umidade do produto ao final da secagem, provavelmente devido à convecção deficiente do leito.

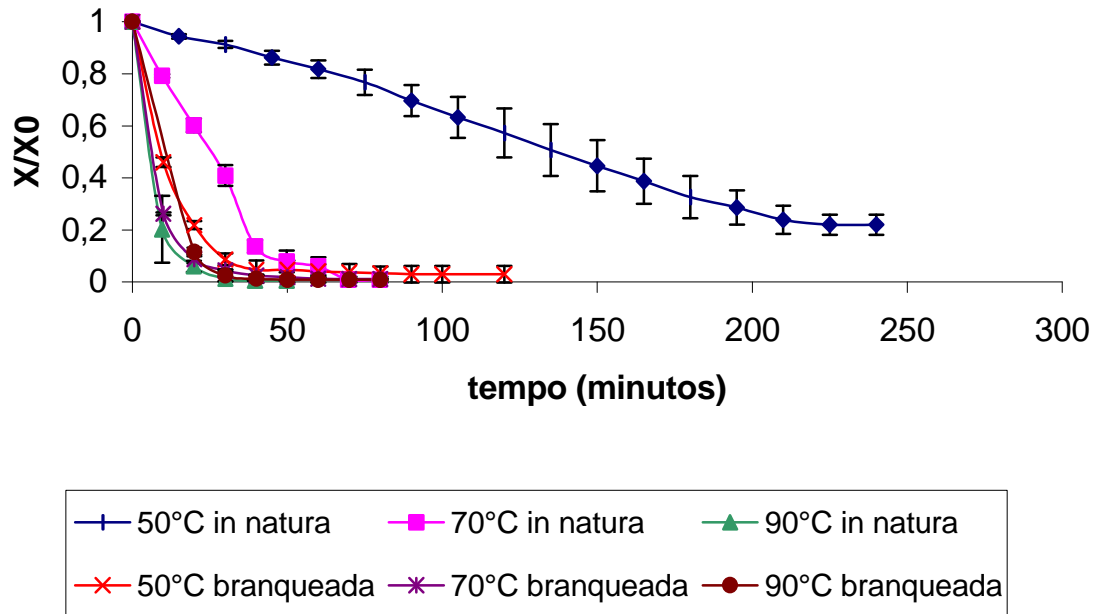


Figura 4.3: Curva de Secagem Adimensional, erva-mate in natura e branqueada em camada delgada.

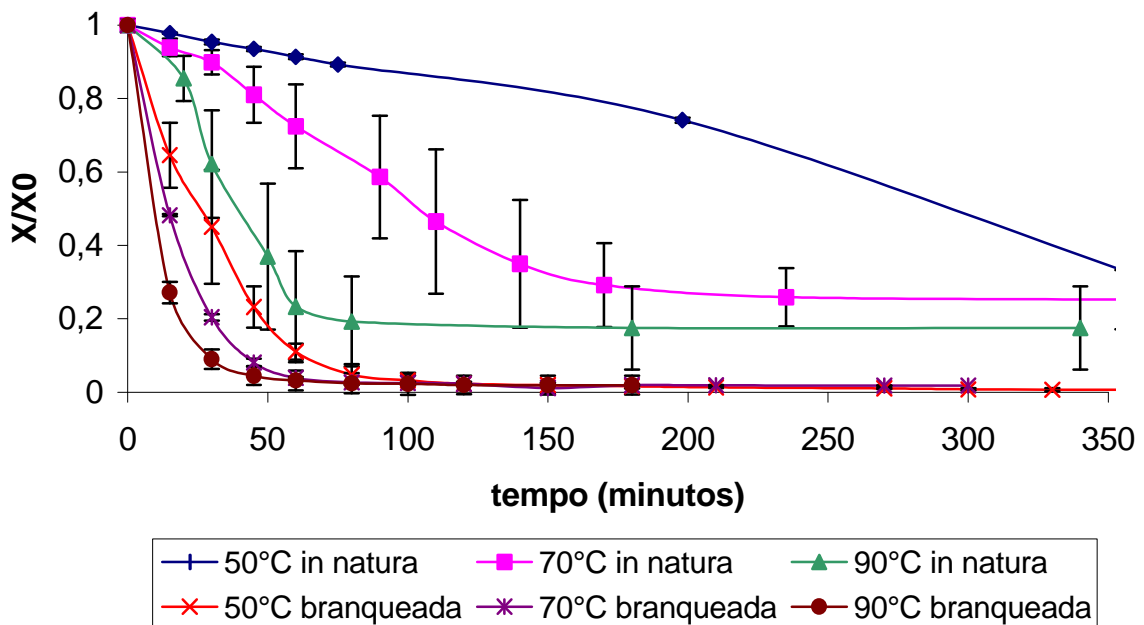


Figura 4.4: Curva Secagem Adimensional, erva-mate in natura e branqueada em camada espessa.

4.3.2) Cinética de secagem

As curvas de cinética descrevem a velocidade de secagem em função do teor de umidade, e foram obtidas derivando-se os dados X em função do tempo.

As cinéticas de secagem para erva in natura e branqueada (Figuras 4.5 e 4.6) apresentam um longo período decrescente, a 90°C em camada delgada e para quase todos os casos de erva branqueada, não mostrando período de aquecimento, nem período de taxa constante. A velocidade de secagem é maior a temperaturas mais altas, em todos os casos, assim como, para maiores espessuras de erva-mate, porque as variações de teor de umidade adimensional para um mesmo intervalo de tempo são maiores. Este comportamento é típico de um sólido poroso-capilar com grande superfície de evaporação específica. Isto pode ser mais facilmente compreendido quando se focaliza a atenção no pré-tratamento, o sapeco, que é feito a alta temperatura e por curto intervalo de tempo, o qual tende a evaporar rapidamente parte da água da folha.

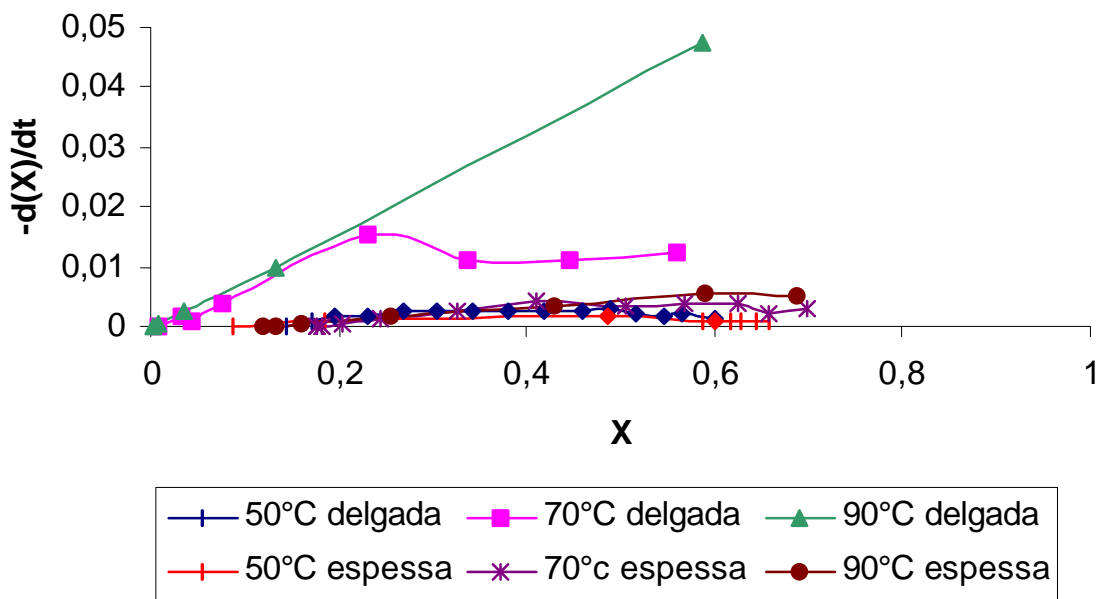


Figura 4.5: Curva Cinética de secagem de erva-mate in natura.

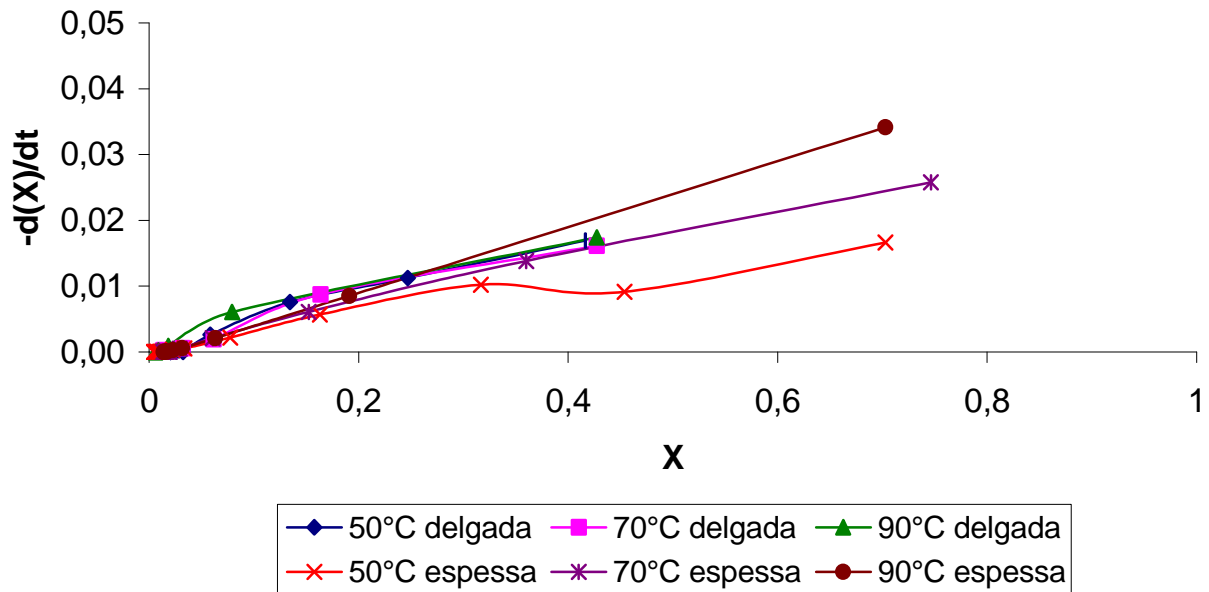


Figura 4.6: Curva Cinética de Secagem de erva-mate branqueada.

4.4) Coeficiente de difusão efetivo

O coeficiente de difusão efetivo foi calculado a partir da solução analítica da 2ª Lei de Fick para placa plana, considerando apenas um termo da série. Desta solução, quando linearizada, pode-se obter a inclinação das curvas de $\ln(X/X_0)$ em função do tempo de secagem. O critério utilizado para aceitar a adequação linear sobre os pontos experimentais, foi a obtenção de um coeficiente linear de determinação $R^2 > 0,90$ para o primeiro período de secagem.

Na Tabela 4.8 são apresentados os valores de difusividade efetiva média e os desvios-padrão, para erva-mate in natura e branqueada em camada delgada e espessa, respectivamente. Os valores calculados de difusividade efetiva consideram a existência de duas retas que forneceram valores de $D_{ef 1}$ e $D_{ef 2}$. Admitiu-se que a primeira reta intercepta o ponto zero.

Verifica-se que os valores de difusividade para a erva in natura foram maiores do que os valores para a erva branqueada, devido a um teor de umidade inicial da folha ser maior.

Para erva in natura D_{ef} varia de 10^{-4} a 10^{-7} m^2/s , enquanto que para a branqueada de 10^{-8} a 10^{-10} m^2/s . Em camada espessa aumenta D_{ef} pelo menos 10 vezes o valor encontrado para camada delgada. Como já observado anteriormente, o valor de D_{ef} é muito menos afetado na erva branqueada que na in natura.

Tabela 4.8: Valores de difusividade efetiva (m/s^2) para erva-mate in natura e branqueada em camada delgada e espessa.

Erva nativa	Camada	T(°C)	Difusão	Amostra 1	Amostra 2	Def médio	Desvio-padrão
In natura	Delgada	50°C	Def 1	1,32E-07	1,83E-07	1,58E-07	3,58E-08
			Def 2	8,97E-08	3,29E-08	6,13E-08	4,02E-08
		70°C	Def 1	1,11E-06	1,49E-06	1,30E-06	2,66E-07
			Def 2	4,06E-20	0	2,03E-20	2,87E-20
		90°C	Def 1	3,45E-06	3,80E-06	3,63E-06	2,41E-07
			Def 2	8,10E-07	0	4,05E-07	5,73E-07
	Espessa	50°C	Def 1	3,00E-05	3,33E-05	3,17E-05	2,38E-06
			Def 2	7,01E-06	8,1E-06	7,56E-06	7,69E-07
		70°C	Def 1	5,64E-05	1,06E-04	8,12E-05	3,53E-05
			Def 2	9,41E-07	3,18E-06	2,06E-06	1,58E-06
		90°C	Def 1	1,77E-04	3,51E-04	2,64E-04	1,23E-04
			Def 2	3,03E-06	3,68E-06	3,36E-06	4,59E-07
Branqueada	Delgada	50°C	Def 1	1,40E-10	1,06E-10	5,10E-10	2,40E-11
			Def 2	3,04E-11	1,04E-11	8,70E-11	1,41E-11
		70°C	Def 1	1,78E-10	1,68E-10	7,08E-10	7,07E-12
			Def 2	4,61E-11	4,47E-11	1,79E-10	9,89E-13
		90°C	Def 1	6,57E-11	3,92E-10	7,15E-10	2,30E-10
			Def 2	2,18E-11	3,38E-25	1,83E-11	1,54E-11
	Espessa	50°C	Def 1	2,00E-08	2,40E-08	9,91E-08	2,82E-09
			Def 2	6,20E-09	1,75E-09	1,60E-08	3,14E-09
		70°C	Def 1	3,12E-08	3,15E-08	1,30E-07	2,12E-10
			Def 2	1,48E-09	9,46E-10	4,87E-09	3,77E-10
		90°C	Def 1	4,15E-08	4,62E-08	1,80E-07	3,32E-09
			Def 2	2,23E-09	8,11E-09	2,07E-08	4,15E-09

Comparando os valores encontrados para as diferentes espessuras de camada, pode-se observar que a camada delgada possui um D_{ef} menor que a camada espessa, certamente devido à sua maior quantidade de produto. Além disso, observa-se que, em todos os casos houve um aumento do D_{ef} com o aumento da

temperatura, devido à maior energia fornecida pelo sistema, o que favorece a evaporação da água.

Analisando os desvios padrões encontrados, os valores mostram-se, no geral, uma ordem de 10 abaixo do valor de D_{ef} , valores estes bastantes satisfatórios para considerar os resultados como sendo de boa precisão. Exceções são encontradas nos casos de secagem de erva in natura, camada delgada a 70°C e 90°C, onde os desvios padrão são de 100%. Esta diferença de valores se deve, principalmente, à grande variabilidade da amostra, mesmo dentro do mesmo lote. Como se desejava trabalhar com a folha inteira, foi praticamente impossível, obter a homogeneização do produto.

Ainda na Tabela 4.8, com relação ao desvio-padrão calculado tem-se que os valores apresentados para erva-mate in natura, secagem em camada delgada, são menores no início do processo D_{ef1} . Para camada espessa observa-se que os valores são maiores para o início do processo. A erva-mate branqueada seca em camada delgada apresentou valores maiores para o início da secagem. Observa-se que para camada espessa o comportamento é o inverso, ou seja, menores no D_{ef1} quando comparado com o D_{ef2} .

Comparando-se os valores de desvio-padrão para secagem de erva-mate in natura e branqueada, observou-se um aumento nos valores de desvio-padrão para uma mesma temperatura e alturas de leito diferentes (camada delgada e espessa).

4.5) Avaliação visual qualitativa da erva-mate

O sapeco é um branqueamento feito como pré-tratamento da erva, sendo uma prática realizada pelas indústrias que beneficiam a erva-mate. Este tem como princípio inativar o complexo enzimático e eliminar parte da umidade das folhas, que tem como consequência a fixação da cor verde oliva, que é uma característica qualitativa das "boas ervas".

A Figura 4.7 apresenta erva-mate in natura, seca sem branqueamento a 90°C e seca com branqueamento a 90°C, respectivamente. Observa-se que a erva-mate seca sem branqueamento (B) apresenta uma coloração mais acinzentada, mostrando uma clara perda da cor, tendo ainda um maior envergamento das folhas após a secagem, ou seja, a taxa de encolhimento das células é uniforme em todo o alimento, promovendo maior redução de tamanho. Na erva-mate branqueada (sapecada) e seca a 90°C (C), uma camada externa rígida é formada, resistindo às deformações, limitando o encolhimento total e formando espaços intercelulares. Deste modo, a remoção de umidade continua a ocorrer sem maiores deformações, por isso que as deformações são menores (JEN *et al.*, 1989). Além disso, as folhas mantêm-se mais verdes e com melhor aparência.



Figura 4.7: Folhas de erva-mate in natura (A); folhas secas a 90°C (B) e folhas secas a 90°C após pré-tratamento com sapeco (C).

5. Conclusões e Sugestões

5.1. Conclusões

Por se tratar de uma matéria-prima que se deteriora com certa facilidade, foram realizados ensaios de secagem com erva-mate in natura (verde) e branqueada (sapecada).

A erva-mate branqueada apresenta um teor de umidade menor devido à perda de água sofrida na exposição dos galhos a altas temperaturas, permitindo que o processo de secagem ocorra nas 24 horas posteriores ao sapeco. Contudo caso esse tratamento não ocorra de maneira uniforme pode causar deformações na folha ou mesmo perde do material.

No planejamento experimental realizado, foram consideradas todas as possíveis variáveis que de alguma forma, poderiam influenciar no processo de secagem: tipo, sapeco, idade da folha, idade da planta, temperatura, espessura e velocidade do ar. Os ensaios de secagem foram realizados em estufa e no desidratador num período de cinco dias consecutivos. Com os dados analisados através do programa "Statística"®, concluiu-se que o branqueamento, a idade da planta e a espessura do leito de secagem são os fatores que influem significativamente no processo de secagem de erva-mate. Apesar da temperatura não ser significativa, ela foi estudada para mostrar porque um fator tão importante neste processo, não tem influência "média" nos ensaios realizados.

Nos estudos aqui apresentados (curvas de secagem), as cinéticas de secagem não apresentaram período de taxa constante, demonstrando o caráter higroscópico do material. Os parâmetros que foram levados em consideração para a avaliação da velocidade de secagem foram; espessura do leito e temperatura do ar.

O tempo de secagem é menor para maiores temperaturas, como se é esperado. Assim como, para maiores espessuras do leito de erva-mate, porque as variações de teor de umidade adimensional para um mesmo intervalo de tempo são maiores. Quanto a forma, as cinéticas de secagem apresentaram somente o período de taxa decrescente.

No presente estudo os valores adotados para velocidade do ar não foram significativos, devido a pouca diferença em valores absolutos.

Quanto à coloração, erva branqueada apresenta após a secagem uma cor verde oliva (característica do produto comercial), enquanto que a erva in natura mostra uma coloração acinzentada e descorada.

Foram encontrados dois coeficientes de difusão efetivos para cada processo de secagem. Estes são maiores para erva in natura do que para a erva branqueada, devido à diferença do teor de umidade inicial da folha. Observou-se ainda que o coeficiente de difusão é maior no início da secagem, quando o conteúdo de umidade é maior.

Comparando-se os valores de desvio-padrão para secagem de erva-mate in natura e branqueada, observou-se um aumento nos valores de desvio-padrão para uma mesma temperatura e alturas de leito diferentes (camada delgada e espessa).

5.2. Sugestões

Como o setor ervateiro precisa acompanhar as tendências que vem ocorrendo tanto no mercado alimentício (bebidas) como farmacêutico (extratos secos), segue as seguintes sugestões:

- 1) Realizar experimentos com erva-mate mais uniformemente sapecada (sapecador mecânico).

- 2) Testar experimentos com espessuras maiores que as estudadas neste trabalho e com temperaturas do ar de secagem maiores.
- 3) Fazer experimentos com diferentes velocidades do ar de secagem, tanto para erva in natura como para branqueada, verificando a influência desta no coeficiente de difusão efetivo.
- 4) Avaliar a relação entre perda de aroma versus temperatura do processo.
- 5) Realizar uma análise sensorial da erva-mate seca in natura e branqueada, verificando parâmetros como amargor e coloração.
- 6) Caracterizar a erva seca com relação a outros componentes tais como: flavonóides, alcalóides, taninos, vitaminas e clorofila, entre outros.
- 7) Implantar programa de Boas Práticas de Fabricação.

6. Referências Bibliográficas

AGUIRRE, J. M., FILHO, J. G. Desidratação de frutas e hortaliças. **Manual técnico**. CIAL/ITAL, Campinas, 2000.

ALENCAR, F. R. Erva-mate. **Produtos rurais**, n. 12, p.25-35, 1960.

ANUÁRIO BRASILEIRO DA ERVA-MATE 2000. Santa Cruz do Sul: Gazeta Grupo de Comunicações, 80 p., 2000.

BARROS NETO, B., SCARMINO, I., S., BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Campinas SP: Editora da Unicamp, 2001.

BRAGAGNOLO, N., PAN, W., FILHO, L. K. O manual de erva-mate. **Emater/Pr**, p. 22-33, Curitiba, 1980.

CAMPOS, M. A. A. **Balanço de Biomassa e nutrientes em povoamentos de *Ilex paraguariensis* St. Hill, avaliação na safra e safrinha**. Tese de Mestrado Setor Ciências Agrárias, UFPR, Curitiba, 1991.

COSTA, F. L. A. **O mate, exploração, indústria e exportação**. Ministério da Agricultura, Rio de Janeiro, 1935.

CONTO, A. J. A estrutura da produção de erva-mate na Região Sul. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, Encantado. **Anais...**, p. 149-152, 2000.

CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 1986.

CREMASCO, M. A., **Fundamentos de transferência de massa**. Editora UNICAMP, p. 110-119, 1998.

DA CROCE, D. M., FLOSS, P. A. **Cultura da erva-mate no Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 1999, n. 100, 81p, 1999.

DA CROCE, D. M. Características físico-químicas da erva-mate no Estado de Santa Catarina. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, 2000, Encantado. **Anais...**, p. 77-79, 2000.

DA CROCE, D. M. Cadeias produtivas do Estado de Santa Catarina: Erva-mate. **Epagri**, n. 112, p. 9-39, 2000.

ESMELINDRO, M. C., TONIAZZO, G., WACZUK, A., DARIVA, C., OLIVEIRA, D. Caracterização físico-química da erva-mate: influência das etapas do processamento industrial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, vol. 22(2), p.193-204, maio-agosto, 2002.

FERREIRA, J. C.F. **Cultura e preparo da erva-mate**. p. 64, 1957.

FELLOWS, P. **Food processing technology: principles and practice**. Published jointly by Ellis Horwood Ltd., Chichester, England and VCA Verlagsgesellschaft GmbH, Weinheim, Federal Republic of Germany; 1988.

FOX, Robert W; MCDONALD, Alan T. **Introdução a mecânica dos fluídos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 562 p., 1981.

FILHO, V.C. Ervais do Brasil e Ervateiros. **Documentário da Vida Rural**, p. 30-38, 1957.

FOUST, A. S. Princípios de operações unitárias. 2ªed, Rio de Janeiro, p.401-434, 1982.

GAVA, A. J. **Princípios de Tecnologia de Alimentos**. São Paulo, 7ª ed. 1984.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL - IBDF
Departamento de Erva Mate. **Monografia para uso escolar**, 1972.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. 3.ed., vol. 1, São Paulo, 1985.

INSTITUTO PLANTARUM DE ESTUDOS DA FLORA LTDA. Um pé de quê? Disponível em: www.plantarum.com.br/ervamate.html. Acesso em 17/01/03.

JEN, J.J., MUDAHAR, G.S., TOLEDO, R.T. **Chemistry and processing of high quality dehydrated vegetable products**. In: Quality factors of fruits and vegetables, Cap.19, p 239-249; Symposium n. 405, American Chemical Society, Washington, DC, 1989.

KROKIDA, M. K., KARATHANOS, V. T., MAROULIS, Z. B. Effect of freeze-drying conditions on shrinkage and porosity of dehydrated agricultural products. **Journal of food engineering**, vol. 35, p. 369-380, 1998.

KROKIDA, M. K., MAROULIS, Z. B., SARACAVOS G. D. The effect of the method of drying on the colour of dehydration products. **Journal of food science and technology**, vol.36, p.53-59, 2001.

LEPREVOST, A. Química e Tecnologia da Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St.Hill). **Instituto de Tecnologia do Paraná**, n. 53, p. 19-30, 1987.

LINHARES, T. História Econômica do Mate. **Coleção Documentos Brasileiros**, p.522, 1969.

LUIKOV, A. V. **Heat and mass transfer in capillary-porous bodies**. Pergamon Press, 1961.

MACCABE, W. L., SMITH, J. C. **Unit operations of chemical engineering**. McGraw-Hill, Inc., 1976.

MACCARI, A. J., SANTOS, A. P. R. **Produtos alternativos e desenvolvimento da tecnologia industrial na cadeia produtiva da erva-mate**. MCT / CNPq, Curitiba, Pr, 2000.

MARTINEZ, M. N. **Portaria nº 234, de 25 de março de 1998. Ministério da Saúde**. Diário Oficial da União, seção 1-E, p.7.

MAZZA, G., LEMAUGUER, M. Dehydration of onion: some theoretical and practical considerations. **Journal of food technology**, volume 15, n.2, p. 181-194, 1980.

MAZUCHOWSKI, J. Z. Manual da Erva-Mate (*Ilex paraguariensis*) **Empresa Paranaense de Assistência técnica e extensão rural**, 2ª ed., p. 81-99, 1991.

MAZUCHOWSKI, J. Z. Controle de qualidade da erva-mate com vistas a certificação. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, n. 33, Curitiba. **Embrapa, n.33, Anais...**, P. 99-119, 1997.

MAZUCHOWSKI, J. Z. Perspectivas mercadológicas e estratégias para a erva-mate. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, Encantado. **Anais...** P.149-152, 2000.

MAZZAFERA, P. Maté drinking: caffeine and phenolic acid intake. **Food Chemistry**, volume 60, n.1, p. 67-71, 1997.

MENNA, A. B. Proposta para ação extensionista na cultura da erva-mate. **Biologia e Cultura no Cone Sul**, p.235-239, 1995.

NUÑEZ, J. C., KÄNZIG, R.G. Secanza de Yerba Mate. **Biologia e Cultura no Cone Sul**, p. 175-179, 1995.

OLIVEIRA, Y. M., ROTTA, E. Área de distribuição natural de Erva-Mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill), In: **X Seminário sobre atualidades e perspectivas florestais**. Embrapa CNPF. p. 17-36, 1985.

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

QUEIROZ, M. R., NEBRA, S. A. Theoretical and experimental Analysis of the drying kinetics of bananas. **Journal of food engineering**, volume 47, p. 127-132, 2001.

RIZVI, S. S. H. Thermodynamic properties of foods in dehydration. In: RAO, M. A., RIZVI, S. S. H. **Engineering Properties of foods**. New York: Marcel Dekker, Inc., p. 133-214, 1986.

SANTIN, A. P. **Estudo da secagem e da inativação de leveduras saccharomyces cerevisiae**. Florianópolis, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Depto. Engenharia Química, UFSC, 1996.

SARAVACOS, G. D. Mass transfer properties of foods. In: RAO, M. A., RIZVI, S. S. H. **Engineering properties of foods**. New York: Marcel Dekker, Inc., 1986, p. 89-132.

SARAVACOS, G. D. Technological Developments in fruit and vegetable dehydration. In: Food flavour, ingredients and composition. **Elsevier Science Publishers**, p. 389-404, 1993.

SCHULTZ, E. L. **Influência das condições de secagem sobre o encolhimento e propriedades de transporte em fatias de maçã.** Dissertação de Mestrado (Engenharia Química), UFSC, Florianópolis, 113 p., 1999.

SCHIFFL, C. F. Industrialização da erva-mate no Brasil. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, Curitiba. **Embrapa, n.33, Anais...**, p.89-97, 1997.

SOUZA, T. L. Tecnologia da Erva-Mate. **Secretaria de Estado dos Negócios da Agricultura, Indústria e Comércio.** Porto Alegre, 1937.

SOUZA, A. M. **Dos ervais ao mate: possibilidades de revalorização dos tradicionais processos de produção e de transformação da erva-mate no Planalto Norte Catarinense.** Tese de Mestrado, 1998.

STRUMILLO, C., KUDRA, T. Drying: principles, applications and design. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1986.

TRAVAGLINI, D. A., AGUIRRE, J.M., SILVEIRA, E.F. Processamento de alimentos desidratados. In: **Curso de alimentos desidratados.** Campinas: ITAL. 1981.

UNICAMP, Aspectos Químicos da Erva-mate. Disponível em: www.unicamp.br/nipe/rbma/erv_aspq.htm. Acesso em 23/01/03a.

UNICAMP, Exploração de Erva-mate. Diagnóstico e Alternativas para a Erva-mate. Disponível em: www.unicamp.br/nipe/rbma/erv_exp.htm. Acesso em 18/01/03b.

VALDUGA, E. **Caracterização química e anatômica da folha de (*Ilex paraguariensis* St. Hill.) e de algumas espécies utilizadas na adulteração do Mate.** Curitiba, Dissertação de Mestrado (Mestre em Tecnologia Química), UFPR, 1995.

ANEXO A - COMPONENTES DA ERVA-MATE.

Tabela A.1: Composição média em 100 gramas de erva-mate.

Composição Média (100 gramas)	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Médio
Umidade	5,36	9,80	8,17
Proteínas	8,30	13,45	10,89
Carboidratos	9,70	14,18	12,04
Amido	2,56	6,63	4,55
Glicose	1,30	6,14	3,84
Fibras	14,96	19,95	16,96

Fonte: VALDUGA, 1995.

Tabela A.2: Composição mineral em 100 gramas de erva-mate.

Composição Mineral (100 gramas)	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Médio
Cinzas	6,310	7,780	6,910
Cloro (g)	0,082	0,160	0,116
Enxofre	0,082	0,168	0,125
Fósforo (g)	0,074	0,214	0,120
Cálcio	0,597	0,824	0,668
Magnésio (g)	0,134	0,484	0,337
Potássio (g)	1,181	1,554	1,350
Sódio (g)	0,000	0,003	0,002
Ferro (mgs) %	---	94,000	59,900
Cobre (mgs)	0,600	1,600	1,260
Manganês (mgs)	30,200	183,000	133,180

Fonte: VALDUGA, 1995.

Tabela A.3: Composição vitamínica em 100 gramas de erva-mate.

Valor Vitamínico (100 gramas)	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Médio
Carofina (mgs)	0,639	2,267	1,234
Carofina (em U.I. de vitamina A)	1,065	3,779	2,095
Tiamina (gramas)(Vitamina grupo B)	62,300	313,100	222,700
Riboflavina (Vitamina grupo B)	246,000	573,900	404,300
Ácido ascórbico	8,200	20,700	11,900

Fonte: VALDUGA, 1995.

Tabela A.4: Influência dos componentes nas características organolépticas da erva-mate.

Componente	Características
Flavonóides	Conferem o gosto adstringente ao mate
Alcalóides	Propriedades estimulantes do mate
Aminoácidos	Responsáveis pelo aroma (adstringência do mate)
Vitaminas	Valores nutritivos
Componentes voláteis	Responsáveis pelo aroma do mate
Componentes minerais	Valores nutritivos
Saponinas	Responsável pelo índice de amargor e espuma do produto
Clorofila	Responsável pela coloração da erva-mate
Carotenóides	Importantes na geração do aroma da erva-mate
Lipídios	Importantes na geração do aroma da erva-mate
Ácidos orgânicos	Importantes na geração do aroma da erva-mate

Componente	Características
Proteínas	Valores nutritivos
Celulose	Não apresenta característica organoléptica
Lignina	Não apresenta característica organoléptica
Enzimas	Catalisadores durante o processamento

Fonte: UNICAMP, 2003 a.