



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



**PROCESSAMENTO DE FOLHAS DE NIM:
INATIVAÇÃO ENZIMÁTICA E SECAGEM**

UBERLÂNDIA – MG

2009



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



**PROCESSAMENTO DE FOLHAS DE NIM:
INATIVAÇÃO ENZIMÁTICA E SECAGEM**

EVELY DEGRAFF TERRA PARCKERT

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Química, área de concentração em Pesquisa e Desenvolvimento de Processos Químicos.

UBERLÂNDIA – MG

2009

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG - Brasil

P225p Parckert, Evely Degraf Terra, 1983-
Processamento de folhas de nim [manuscrito] : inativação enzimática e
secagem / Evely Degraf Terra Parckert. - 2010.
67 f. : il.

Orientador: José Roberto Delalibera Finzer.

Co-orientador: José Romário Limaverde.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química.

Inclui bibliografia.

1. Processos químicos - Teses. 2. Neem - Teses. 3. Neem - Secagem - Teses. I. Finzer, José Roberto Delalibera. II. Limaverde, José Romário. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. IV. Título.

CDU: 66.09

Dissertação de mestrado submetida ao corpo docente do Programa de Pós Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Engenharia Química em 22 de Setembro de 2009.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Roberto Delalibera Finzer

Orientador – PPG – FEQUI/UFU

Prof. Dr. José Romário Limaverde

Co-orientador - PPG – FEQUI/UFU

Prof. Dr. Ubirajara Coutinho Filho

PPG – FEQUI/UFU

Prof. Dr. Marcelo Bacci Silva

FACULDADES ASSOCIADAS DE UBERABA - FAZU

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida.

Aos meus pais Geise e Italo pelos infinitos atos de amor que me deram, preservam e dignificam a vida.

Aos meus irmãos Amely e Italo Hely pela oportunidade de compartilhar o berço familiar.

Ao meu esposo Leandro, pela nossa história de amor e o sentido de construirmos nossa família.

Aos meus familiares, representados pelo tio Jarbas Degraf, pela disponibilidade em me ajudar e motivar a continuar aprendendo.

Ao meu orientador Prof. Dr. José Roberto Delalibera Finzer por ter me proporcionado crescer profissionalmente e como ser humano através da crença em meu potencial.

Aos professores Dr. Eloizio Julio Ribeiro, Dr. Ubirajara Coutinho Filho, Dr. José Romário Limaverde e Dr. Marcelo Bacci Silva pelos ensinamentos que me acompanharão durante a carreira profissional.

À Universidade Federal de Uberlândia, pela oportunidade concedida.

Aos funcionários da Faculdade de Engenharia Química, Silvino e José Henrique, pela contribuição.

À Fazu pela oportunidade de realizar este trabalho, cedendo suas instalações para a realização da pesquisa e aos seus funcionários pela colaboração voluntária.

À Marta Costa Santos Anjo Montes, proprietária da empresa Natural Néctar Usina de Saúde, pelo apoio e cessão de recursos utilizados nesta pesquisa.

A todas as pessoas que durante este período cruzaram o meu caminho de estudo colaborando, invisivelmente, conspirando a favor do meu êxito.

SUMÁRIO

Lista de Figuras.....	iv
Lista de Tabelas.....	v
Resumo.....	vi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 A Árvore Nim.....	4
2.2.1 Características Botânicas.....	6
2.1.2 Ecologia da Planta.....	7
2.1.3 Composição do Nim.....	8
2.2 Métodos de Conservação.....	10
2.2.1 Conservação por secagem.....	13
2.2.1.1 Secagem Natural (ou ao sol).....	17
2.2.1.2 Secagem Artificial (desidratação).....	18
2.2.2 Secagem de Espécies Vegetais.....	19
2.3 Alterações de alimentos que resultam em perda de qualidade.....	23
2.3.1 Reações de Escurecimento Enzimático.....	24
2.3.1.1 Inativação Enzimática (sapeco).....	24
2.4 Psicrometria.....	29
2.4.1 Propriedades do ar.....	29
2.4.1.1 Composição do ar.....	30
2.4.1.2 Volume específico do ar.....	30
2.4.1.3 Calor específico do ar.....	30
2.4.1.4 Entalpia do ar.....	30
2.4.1.5 Temperatura de bulbo.....	31

2.4.2	Propriedades do ar úmido.....	31
2.4.2.1	Volume específico do ar úmido.....	31
2.4.2.2	Calor específico do ar úmido.....	31
2.4.2.3	Entalpia do ar úmido.....	32
2.4.2.4	Temperatura de bulbo úmido.....	33
2.4.3	Umidade absoluta.....	33
2.4.4	Umidade relativa.....	34
2.4.5	Cartas Psicrométricas.....	34
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
3.1	Material.....	35
3.1.1	Matéria Prima.....	35
3.1.2	Equipamentos.....	36
3.2	Método Experimental.....	38
3.2.1	Análise de umidade das folhas <i>in natura</i>	39
3.2.2	Preparo da amostra a ser submetida à inativação enzimática e secagem.....	40
3.2.3	Inativação Enzimática.....	40
3.2.3.1	Teste para peroxidase.....	41
3.2.4	Secagem.....	41
3.2.5	Trituração e Envase.....	42
3.2.6	Contração das folhas de Nim.....	42
3.2.7	Transferência de calor no sapeco.....	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4.1	Análise de umidade das folhas <i>in natura</i>	45
4.2	Testes Preliminares.....	46
4.3	Inativação Enzimática.....	48
4.4	Secagem.....	52
4.5	Trituração.....	54
4.6	Contração das folhas de Nim.....	54
4.7	Transferência de calor no sapeco.....	55
4.8	Condições psicrométricas.....	58

5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES.....	60
5.1 Conclusões.....	60
5.2 Sugestões.....	61
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	 62

LISTA DE FIGURAS

2.1	Partes da planta Nim.....	7
2.2	Estrutura da molécula de azadiractina.....	9
2.3	Curvas típicas de secagem.....	14
2.4	Curva teórica de secagem de plantas medicinais.....	21
2.5	Remoção de H ₂ O ₂ em nível celular.....	26
2.6	Oxidação de compostos fenólicos na presença de H ₂ O ₂	27
3.1	Vista de bosque de Nim da Fazenda Santa Marta – Uberaba – MG.....	35
3.2	Desenho ilustrativo do sapecador experimental.....	37
3.3	Vista do sapecador experimental.....	37
3.4	Vista do secador e das bandejas.....	38
3.5	Diagrama de blocos do processamento de folhas de Nim.....	39
3.6	Vista interna do cilindro rotativo utilizado para a etapa de inativação enzimática....	40
4.1	Curva de inativação enzimática operando a 200,1 rpm	51
4.2	Curvas de inativação enzimática operando a 200,1 e 250,2 rpm.....	52
4.3	Curva de secagem das folhas previamente sapecadas.....	53
4.4	Adimensional de área em função da umidade das folhas de Nim em base seca.....	55
4.5	Temperatura das folhas de Nim no sapeco.....	57

LISTA DE TABELAS

4.1	Valores das massas do conjunto recipiente – amostra em função do tempo.....	45
4.2	Resultados do teste para peroxidase em amostras submetidas ao sapeco.....	47
4.3	Desempenho do inativador enzimático.....	50
4.4	Resultados do sapeco realizado à 200,1 rpm.....	51
4.5	Valores das massas de sólido úmido em função do tempo de secagem.....	53
4.6	Distribuição percentual do tamanho das partículas do pó de folhas de Nim.....	54
4.7	Fluxo de água durante o sapeco.....	56
4.8	Parâmetros e valores do coeficiente convectivo de transferência de calor.....	58
4.9	Temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido.....	58

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi desenvolver tecnologia de processamento de folhas de Nim (*Azadirachta indica*) utilizando inativador enzimático (sapecador) em escala piloto seguido de secagem em desidratador utilizando ar aquecido. A melhor condição operacional consistiu no sapeco por 5 min, operando o sapecador na condição de 200,1 rpm, obtendo-se produto final com coloração verde oliva, aspecto quebradiço e teste negativo para a enzima peroxidase. A umidade inicial das folhas, de 88,33% (bu) reduziu-se após 5 min de sapeco, a 24,81% (bu). Seguiu-se a secagem das folhas, utilizando-se de um secador de bandeja e escoamento de ar quente (60°C) a velocidade de 0,55 m/s. Após 120 minutos de secagem, o conteúdo de umidade das folhas, em base úmida, apresentou valor próximo de 5%, adequado ao armazenamento do produto. Após trituração das folhas secas, obteve-se 80,45% de partículas com tamanho inferior a 0,149 mm (100 mesh Tyler). No conteúdo de umidade de 5,86% em base úmida ocorreu contração superficial de 19,6% nas faces da folha.

Palavras chave: inativação enzimática, secagem, Nim

ABSTRACT

The purpose of the present study was to develop a Neem (*Azadirachta indica*) leaves processing technology an enzymatic inactivator (fast pre-heating device, “sapecador”) as a pilot project following by drying process in a tray dryer with heating air. The best operational condition consisted on fast pre-heating (“sapeco”) for 5 min running the device in 200.1 rpm. The final product resulted in olive green coloration, brittle aspect and absence of peroxidase enzyme. The initial moisture of leaves was reduced from 88.33% (wet base) to 24.81% (wb) after 5 min of fast pre-heating process (“sapeco”). Using a tray drier with hot air stream (60°C) at 0.55 m/s. After 120 min of drying process the leaves moisture content, in wet base, was 5% approximately, that is an appropriate value for storage. After grinding of dried leaves, 80.45% of particles has size less than 0.149 mm (100 mesh Tyler). In the moisture content of 5.86%, in wet base, superficial contraction of 19.6% on leaf surface has occurred.

Keywords: enzymatic inactivation, drying, neem.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A utilização de plantas medicinais com finalidade terapêutica é uma prática que vem sendo utilizada há milhares de anos. Durante muito tempo, os medicamentos naturais foram o principal recurso disponível para a medicina. Isso impulsionou a realização de pesquisas sobre as propriedades de algumas espécies vegetais e também de estudos aprofundados sobre o processamento e emprego dos extratos dessas plantas.

No ano 2006, o Governo Federal, com a publicação da Portaria 971, datada de 3 de maio, ampliou a oferta de tratamentos fitoterápicos, homeopáticos e outros relacionados à medicina alternativa. Este fato foi motivado, principalmente, pelo menor custo de tratamento quando comparado ao uso de produtos sintéticos (BRASIL, 2006).

Segundo dados da Organização Mundial de Saúde (OMS, 2000), a proporção dos derivados de plantas utilizadas no preparo de produtos farmacêuticos chega à terça parte das substâncias empregadas na terapia alopática tradicional. Estima-se que das cerca de 250.000 espécies existentes no globo terrestre, apenas a quantidade de 35.000 a 70.000 têm sido utilizadas com intuito medicinal em algum país.

O mercado mundial de medicamentos movimenta aproximadamente 300 bilhões de dólares por ano, onde desse valor estima-se que 20 bilhões sejam derivados de plantas medicinais (SOUSA e MIRANDA, 2008).

O Brasil está numa posição privilegiada, pois se constitui em um dos países com a maior biodiversidade do planeta, podendo tornar-se um importante provedor de recurso farmacológico derivado da flora (SILVA, et al. 2008).

As plantas são riquíssimas em substâncias químicas, formando os fitocomplexos, que são misturas responsáveis pelas atividades biológicas. Elas produzem as substâncias químicas a partir dos nutrientes, da água e da luz que recebem, sintetizam os metabólitos primários para as próprias necessidades e os metabólitos secundários, para a adaptação ao meio, como defesa e proteção contra radiação ultravioleta. Do resultado do metabolismo primário, um açúcar, inicia-se o metabolismo secundário, dessa forma este se encontra fortemente influenciado pelo primeiro (MARQUES, 2008).

Os metabólitos secundários que apresentam atividade biológica são conhecidos como princípios ativos e têm despertado o interesse para um mercado promissor pela descoberta das atividades terapêuticas. As alterações no estado nutricional, variações sazonais, luz e a umidade têm influência na produção dos compostos secundários. Além desses fatores, a qualidade e a quantidade de princípios ativos são influenciadas pelo sistema de cultivo ou coleta (extrativismo) e, pelas atividades pós-colheita, como a secagem, o transporte, a manipulação e o armazenamento da planta (SIMÕES et al., 2004).

O interesse por plantas medicinais tem aumentado tanto em países desenvolvidos como nos países em desenvolvimento. O motivo se deve aos seguintes fatores: retorno dos hábitos de vida saudável e natural; efeitos colaterais que os medicamentos sintéticos normalmente apresentam; pesquisas crescentes na área de plantas medicinais com descobertas de novos princípios ativos e o preço, que na maioria dos casos é mais baixo que os medicamentos convencionais (SILVA et al., 2008).

Os produtos naturais podem ser tão eficientes quanto aos produzidos sinteticamente, contudo a transformação de uma planta em um medicamento deve visar a preservação da integridade química e farmacológica do vegetal, garantindo a constância de sua ação biológica e a sua segurança de utilização, além de valorizar seu potencial terapêutico. Para atingir esses objetivos, a produção de fitoterápicos requer, necessariamente, estudos prévios relativos a aspectos botânicos, agrônômicos, fotoquímicos, farmacológicos, toxicológicos, e desenvolvimento de metodologias analíticas e tecnológicas (MIGUEL e MIGUEL, 1999).

Com relação ao processamento das espécies medicinais, a secagem é a operação unitária considerada mais importante para se manter a qualidade do material durante a estocagem, processamento industrial e comercialização. O material vegetal depois da colheita apresenta, em sua maioria, altos valores de umidade e elevados níveis de contaminação microbiana, que devem ser minimizados com a secagem e condições seguras de armazenamento.

A remoção da água durante o processo de secagem apresenta algumas vantagens, notadamente econômicas, sobre os demais processos de conservação (conservação pelo frio, liofilização, entre outros), uma vez que os produtos secos levam a um menor custo com armazenamento e distribuição, em virtude da redução de massa e volume (STRINGHETA, 1984).

No sentido de diminuir o tempo de secagem, retirar a umidade superficial e inativar o complexo enzimático das folhas, indica-se ainda a realização do procedimento denominado “sapeco” preliminarmente à secagem (VALDUGA et al., 2001).

Alguns vegetais para serem preservados por enlatamento, congelamento ou desidratação devem ser submetidos ao sapeco visando preservar o produto da deterioração em razão da atuação de certas enzimas (ARAÚJO, 1999).

No entanto, segundo Rehder e colaboradores (1998) são poucos os dados disponíveis na literatura sobre o controle de processos durante as etapas de processamento e armazenamento de plantas medicinais, necessitando-se de estudos científicos mais aprofundados sobre a influência de variáveis de processo na alteração qualitativa e quantitativa da composição química das espécies em geral.

De acordo com Sharapin (2000), apesar das plantas medicinais, preparações fitoterápicas e produtos naturais isolados participarem de maneira significativa do arsenal terapêutico, a indústria de fitoterápicos na América Latina não apresenta elevado nível de desenvolvimento e, em geral, seus produtos têm qualidade questionável. As causas para isso encontram-se na falta da tecnologia apropriada, na dificuldade de obtenção de plantas medicinais com a qualidade desejada, no desconhecimento ou inexistência de métodos aplicáveis a processos de controle de qualidade e na falta de pesquisa e desenvolvimento em agrotecnologia, em tecnologia farmacêutica, e na validação e uso terapêutico.

Dentro deste contexto, cientistas de todo o mundo têm realizado inúmeros trabalhos sobre a botânica, usos industriais e agrícolas da planta conhecida internacionalmente como Neem, que há séculos vem sendo empregada no controle de insetos, pragas, nematóides, alguns fungos, bactérias e vírus, na medicina humana e animal, na fabricação de cosméticos, como madeira de lei, adubo e também aplicado às práticas de paisagismo (PURI, 1999).

O objetivo deste trabalho é analisar as operações de inativação enzimática e secagem de folhas de Nim utilizando-se de um sapecador e de um secador de bandejas.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A Árvore Nim

O Nim, *Azadirachta indica* A. Jussieu, pertence à família *meliaceae*, como a santa bárbara ou cinamomo, cedro, cedrilho, mogno e outros. Origina-se de Burna, na Índia. Nesse país, ele é usado há séculos de diversas formas, principalmente como planta medicinal, em especial como anti-séptico curativo ou como vermífugo na forma de xarope, sabão, pastas, cremes entre outros.

São sinônimos da planta: *Melia azadirachta* L., *Melia indica* (A. Juss) Brandis e *Antelaea azadirachta* (L.) Adelb. (JACOBS, 1961 citado por MARTINEZ, 2002).

Há muitos nomes comuns para o Nim, principalmente nos países onde existe tradição de cultivo. Possui mais de 100 nomes na Índia, e é mais conhecido internacionalmente como *Neem*. Em português a planta recebe o nome de margosa, devido ao sabor amargo. No Brasil se tem adotado os nomes Nim e Nime, oriundos do espanhol e do inglês. Neste trabalho será utilizada a denominação Nim.

Partes da planta têm sido usadas na Índia há vários milênios com propósitos medicinais. A *Ayurveda* considera a árvore como uma *Sarva Roga Nivarini* (cura de todos os males), tendo a mesma recebido outras denominações como “Árvore Divina” e “Farmácia Natural”.

Na atualidade o Nim está sendo cultivado em mais de 80 países, com estimativa global de 91 milhões de árvores.

Os produtos do Nim possuem propriedades medicinais valiosas e uma infinidade de usos tradicionais, como medicamento, pesticida, repelente de insetos, fertilizante, alimento para diabéticos e na produção de pasta de dentes.

Do Nim utilizam-se as folhas, frutos, sementes, óleo, torta, casca e também a madeira.

Ayurveda é o conhecimento ou a ciência da vida e possui uma evolução e desenvolvimento de milhares de anos no subcontinente indiano. O termo ayus é a combinação de corpo, órgãos dos sentidos, mente e alma (CARAKA SAMHITA, TRAD. DASH E SHARMA, 2007).

Segundo pesquisadores de todo o mundo derivados de Nim são indicados para tratamento de uma variedade de doenças que acometem os homens. Entre elas destacam-se artrite, diabetes, reumatismo, úlceras gástricas, problemas cardíacos, desordens dermatológicas causadas por stress emocional como vitiligo e psoríase, e ainda, doenças odontológicas (SINGH et al., 2009).

De acordo com Martinez (2002), os primeiros estudos com a planta foram feitos na Índia e sua importância como planta inseticida ou repelente foi revelada para o mundo ocidental pelos trabalhos do professor Dr. Heinrich Schmutterer, Universidade de Giessen, na Alemanha, que constatou que, durante as migrações destruidoras dos gafanhotos nas regiões africanas, apenas restavam intocadas árvores de Nim. Seguiram-se estudos sobre a composição química da planta, descrição das moléculas e a identificação do principal composto, a Azadiractina, conduzidos principalmente pelas equipes de W. Kraus, na Alemanha, E.D.Morgan e S.V.Ley, na Inglaterra, e P.R.Zanno, no Japão. O conhecimento da composição química da planta impulsionou fortemente as pesquisas biológicas, com avaliações principalmente da ação da Azadiractina sobre insetos e, em menor escala, sobre fungos, bactérias e na saúde humana.

A Azadiractina foi uma das primeiras substâncias ativas isoladas do Nim e provou ser responsável por 90% do efeito ocasionado pelo uso da planta na agricultura e pecuária. Tornou-se importante no controle de pragas pelo largo espectro de ação, pela compatibilidade com outras formas de manejo, por não ter ação fitotóxica e por não agredir o meio ambiente. Os mecanismos de ação, por sua vez, se diferenciam principalmente quanto ao organismo que se pretende combater (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1992).

Devido à sua rusticidade e adaptação a regiões áridas, o Nim disseminou-se por todos os países da África e outras regiões tropicais e subtropicais do mundo, onde é bastante cultivado, como: Filipinas, Ilhas do Pacífico, Austrália e Américas. Na América Central e Caribe, os maiores plantios encontram-se no Haiti, onde foi levado para uso em reflorestamento, visando recuperação de áreas degradadas e sombreamento. Também é bastante explorado na República Dominicana, Cuba e Nicarágua. Nos Estados Unidos existem alguns plantios nas regiões subtropicais.

No Brasil, a primeira introdução da planta foi feita em 1982, pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). Outra instituição de pesquisa, como o Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) a introduziu em 1986, procedente das Filipinas. Atualmente, o Nim tem sido cultivado em inúmeras regiões do país (AMBROSANO e GUIRADO, 2004).

2.1.1 Características Botânicas

O Nim é uma árvore cujo porte varia de 15 a 20 metros de altura, com tronco semi reto a reto, de 30 a 80 centímetros de diâmetro, relativamente curto e duro, com fissuras e escamas, de coloração marrom avermelhada.

O diâmetro da copa varia de 8 a 12 metros, podendo atingir 15 metros em árvores isoladas. O sistema radicular da planta é composto por uma raiz pivotante, que é sua principal sustentação e que possibilita a retirada de água e nutrientes de profundidades consideráveis, e de raízes laterais auxiliares. As folhas são do tipo imparipinadas, alternadas, com folíolos de coloração verde clara intensa. Contém 12,4% a 18,3% de proteínas, 11,4% a 23,1% de fibras, 43,3% a 66,6% de extrato, 2,3% a 6,3% de extrato etéreo, 7,7% a 18,4% de cinzas totais, 0,9% a 4% de cálcio e 0,1% a 0,3% de fósforo. A árvore só perde suas folhas em condições extremas (HEDGE, 1993 citado por MARTINEZ, 2002).

As flores são brancas ou de cor creme, encontrando-se tanto flores masculinas como hermafroditas na mesma planta, o que permite que plantas cultivadas isoladas também produzam frutos. As flores arranjam-se em inflorescências de cerca de 25 centímetros de comprimento, nas extremidades dos ramos. Sua fecundidade é determinada pela quantidade de luz e umidade, cuja ausência causa o abortamento floral. O fruto é glabro, elipsóide, com 1,5 cm x 2,0 cm de comprimento. É verde claro enquanto se desenvolve, tornando-se amarelado à medida que amadurece. A polpa é macia, amarga e doce e rompe-se quando o fruto amadurece, deixando cair a semente ao solo. Esta apresenta um invólucro (endocarpo) duro, porém fino, de coloração creme esbranquiçada, medindo 1,5 centímetros de comprimento. Contém no seu interior uma semente de cor marrom, “*seed kernel*”.

O Nim não perde suas folhas, a não ser em condições extremamente secas. Em condições ideais, cresce de 4 a 7 m durante os primeiros cinco anos, de 5 a 11 m durante os cinco anos seguintes. De modo geral, a floração se inicia a partir do segundo ano de idade da planta, e a produção de frutos começa a ser significativa após três anos, com 2,4 kg por árvore, podendo atingir cerca de 8 kg por planta no terceiro ano, superando 25 kg por planta a partir do quinto ano (GRUBER, 1992 citado por MARTINEZ, 2002).

A época de floração e a de produção de frutos varia de região para região. Nas condições climáticas do Caribe (Haiti, República Dominicana e Cuba), as flores aparecem a partir do final de fevereiro, e início de março e permanecem até a primeira quinzena de maio. Os frutos são produzidos principalmente de julho a setembro, podendo haver outra produção menor de novembro a janeiro. No Brasil, dada a grande amplitude de condições climáticas, as

floradas ocorrem em diversas épocas. Na região Sudeste, por exemplo, a produção de frutos predomina entre fevereiro e abril.

A Figura 2.1 ilustra partes da planta Nim, apresentando suas folhas, flores, frutos, sementes e sementes nuas.



Figura 2.1. Partes da planta Nim: folhas; flores; frutos; sementes e sementes nuas.

2.1.2 Ecologia da Planta

O Nim é resistente à seca, podendo se desenvolver sob condições pluviométricas de cerca de 400 milímetros anuais, porém o ideal está entre os 800 a 1800 milímetros. Pode crescer em diferentes solos, mas desenvolve-se melhor em solos arenosos profundos e bem drenados. Quanto ao pH do solo o ideal para o desenvolvimento da planta é entre 6,2 e 7,0. Em regiões de solos muitos pobres ou muito áridos, pode haver competição por água ou nutrientes entre as plantas. A luz é bastante importante para o crescimento da planta. Apesar das mudas serem desenvolvidas em áreas sombreadas, as árvores solitárias normalmente se desenvolvem melhor e produzem mais frutos (MARTINEZ, 2002).

O cultivo é efetuado, principalmente em terrenos planos ou levemente ondulados. Altitudes acima de 700 a 800 metros começam a retardar seu desenvolvimento e a reduzir a produção de frutos.

A planta jovem compete bastante com as ervas daninhas, sendo importante que a mesma seja mantida no limpo até que desenvolva raízes profundas.

O Nim é uma planta tipicamente de clima tropical, podendo se adaptar ao clima subtropical. A temperatura é o principal fator limitante ao seu desenvolvimento, principalmente à produção de frutos, e é o que limita sua distribuição geográfica.

O Brasil possui vastas áreas com condições climáticas adequadas para o plantio de Nim, principalmente nas regiões Centro, Norte e Nordeste, onde as plantas podem atingir ótimo desenvolvimento e produção plena de frutos. O Sudeste apresenta algumas regiões menos propícias, principalmente em maiores altitudes, onde as temperaturas no inverno caem abaixo de cinco graus Celsius.

Como uma típica planta tropical ou subtropical, tem-se desenvolvido bem em regiões com temperaturas anuais médias entre 21°C e 32°C. Toleram altas temperaturas, até 50°C, como no Noroeste e Centro da África. Entretanto, temperaturas abaixo de 4°C podem levar plantas jovens à perda de folhas e mesmo à morte.

As principais limitações para seu desenvolvimento são temperaturas baixas e solos mal drenados. Nas condições ideais, pode iniciar a produção de frutos em cerca de dois anos, podendo atingir acima de 25 kg por planta a partir do quinto ano.

Não há registro de toxicidade de Nim para humanos. Na África e no Caribe, as pessoas, principalmente crianças, comem frutos maduros de Nim. Na Índia, extratos de folhas são utilizados no preparo de chás desde tempos imemoriais. As folhas também são consumidas como alimento na Índia, tanto para humanos como para animais.

A árvore Nim apresenta diversas das mais importantes características desejáveis em uma planta tóxica: é rústica, não invasora, perene, não necessita ser destruída para a obtenção dos compostos, tem alto teor dos compostos ativos e uma infinidade de usos.

2.1.3 Composição do Nim

Nim contém vários ingredientes ativos, e que agem de maneiras diferentes em circunstâncias diferentes. Esses compostos não têm qualquer semelhança com os produtos químicos produzidos sinteticamente.

Dos compostos ativos isolados destacam-se a salanina, azadiractina, meliantról, azadirona, gedunina, nimbolina, entre outros, sendo que a **Azadiractina** é considerada um dos compostos mais potentes.

Por sua natureza, os extratos de Nim são mundialmente aprovados para uso em cultivos orgânicos. A planta possui mais de cinquenta compostos terpenóides, a maioria com ação sobre os insetos. Todas as partes da planta possuem esses compostos, porém é no fruto que se encontra a maior concentração. Os compostos são solúveis em água e podem ser preparados de maneira simples e barata o que favorece sua utilização em grande escala.

A Azadiractina, por exemplo, encontrada em sua maioria nas sementes do Nim, é solúvel em água, mas pode ser eficientemente obtida por extração metanólica (SCHNEIDER e ERMEL, 1897 citado por MARTINEZ, 2002). É especialmente instável em meios ácidos e alcalinos, em altas temperaturas, em presença de luz e de umidade. Desta forma, faz-se necessário processar adequadamente os derivados da planta, no sentido de preservar esta substância.

Segundo Martinez (2002) a estrutura da molécula de Azadiractina, apresentada na Figura 2.2, é muito complexa e, até o ano 2002 não havia sido sintetizada. No entanto, há poucos anos a mesma foi obtida sinteticamente, porém com custos muito mais altos que a obtenção dos compostos a partir da planta.

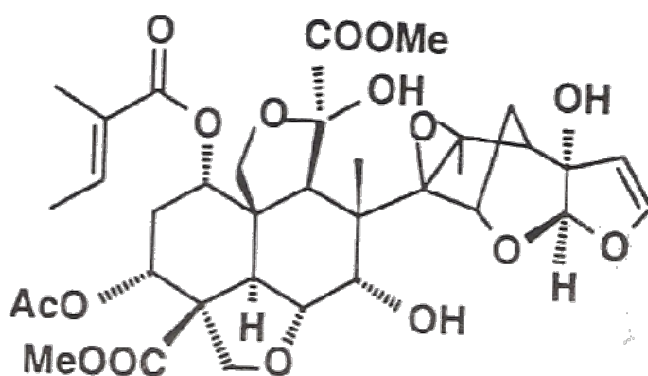


Figura 2.2. Estrutura da molécula de azadiractina (MARTINEZ, 2002)

O Nim é uma árvore com imenso potencial se relacionado à proteção do meio ambiente e desenvolvimento sustentável da agricultura nacional. Existe, portanto, a necessidade de popularizar seu cultivo e conscientizar as comunidades sobre os benefícios e vantagens econômicas de sua utilização.

Tem sido amplamente empregado na agricultura orgânica, no controle de pragas residenciais, na pecuária e na veterinária e como planta medicinal. Na Índia já existem medicamentos no mercado, para uso do Nim como adstringente, febrífugo, diurético, sedativo, purgativo, tônicos, entre outros. Derivados da planta encontram-se também incorporados em numerosos produtos farmacêuticos e de toalete.

Há um crescente interesse por parte da indústria, das instituições de pesquisa e das áreas relacionadas à saúde em plantas medicinais e aromáticas. Ao passar da produção vegetal para um eventual produto utilizado pela população, muita tecnologia está envolvida. Desta forma, inúmeros estudos têm sido realizados na tentativa de reunir informações dispersas numa infinidade de revistas, jornais e periódicos.

2.2 Métodos de Conservação

Segundo Evangelista (2001), após os vegetais, as frutas, o leite e os ovos serem obtidos, a carne ser retirada do animal abatido, os pescados do seu ambiente natural e após os alimentos serem elaborados, neles se iniciam processos físicos, químicos e biológicos que alteram sua qualidade sensorial e de sanidade.

O grau dessa alteração está condicionado a inúmeras causas, ligadas à composição dos alimentos, à presença de enzimas e de microrganismos e a outros fatores, capazes de desencadear, neutralizar ou refrear o processo de deterioração.

Por estas condições, a preservação e conservação dos alimentos se impõem em todas as fases que precedem o seu consumo, o que se consegue através de vários processos, baseados na eliminação parcial ou total dos microrganismos e enzimas deteriorantes e da anulação dos fatores predisponentes da alteração.

Visando manter as características do alimento são efetuados métodos de controle de temperatura (calor e frio), de supressão de elementos (água e oxigênio), de adição de açúcar, de substâncias químicas (aditivos) e de gases, de defumação, de agentes fermentativos (fermentação alcoólica e láctica), em processos de liofilização, de irradiações, entre outros.

O emprego desses métodos de conservação se propõe a atender a necessidade específica dos alimentos. Porém, alguns deles não respondem a essa condição e, para que a conservação se torne eficiente, há necessidade de aplicação de mais de um processo, numa ação combinada de complementação. É o que acontece com verduras (branqueamento seguido de desidratação ou congelamento), com o leite (pasteurização seguido de resfriamento), entre outros.

Na combinação de dois ou mais processos de conservação há uma ação menos energética de cada um deles, ao contrário do que ocorre quando são empregados isoladamente.

Os métodos de conservação de alimentos, quanto à sua ação antimicrobiana e antienzimática são classificados como:

a-) Processos para destruir microrganismos e enzimas:

- baseados na alta temperatura;
- baseados em conservantes;
- baseados em antibióticos e
- baseados na radiação ionizante.

b-) Processos para paralisar ou dificultar a ação de microrganismos e enzimas:

- atuantes sobre microrganismos e enzimas: baseados em diferentes valores de temperatura e
- atuantes sobre o meio, baseados em processos físicos, químicos, físicoquímicos e biológicos.

Considerando os produtos em seus múltiplos aspectos, a extensa faixa de ação de microrganismos e enzimas e o complexo desencadeamento de transformações físicas e químicas, se torna fácil compreender a necessidade de aplicação de diferentes processos de conservação.

Os processos de conservação possuem características próprias segundo seu modo de agir, sendo classificados em dois grupos:

a-) Por ação direta sobre o microrganismo:

- por calor:
 - branqueamento;
 - tindalização;
 - pasteurização;
 - esterilização e
 - defumação.
- por radiação:
 - radurização;
 - radicidação e
 - radapertização.

b-) Por ação indireta sobre o microrganismos, modificando o substrato:

- por frio:
 - refrigeração;
 - congelamento;
 - supercongelamento e
 - liofilização.
- por secagem:
 - natural;
 - artificial;
 - concentração (evaporação).
- por adição de conservantes:
 - aditivos;
 - salga e cura;
 - açúcar;
 - revestimentos graxos e
 - gases.
- por fermentação:
 - acética;
 - alcoólica e
 - lática.
- por osmose;
- por ação de embalagens.

Dentro da classificação apresentada, a secagem é a operação unitária mais empregada no preparo de plantas medicinais para atender às necessidades da indústria de chás e farmacêutica, que não têm estrutura para usar as plantas frescas nas quantidades exigidas para a produção industrial (LORENZI, MATOS, 2002).

Segundo Evangelista (2001) a operação de secagem, se bem realizada, inibe o desenvolvimento de microrganismos, as reações de hidrólise e oxidação de lipídios. No entanto, não impede que reações enzimáticas aconteçam, levando ao escurecimento e sabor desagradável das folhas. Sendo assim, muito se tem discutido sobre a inativação enzimática aplicada à algumas espécies vegetais. Detalhes desta operação também serão apresentados neste trabalho.

2.2.1 Conservação por Secagem

A secagem é uma das técnicas tradicionais de conservação de alimentos mais utilizadas. Consiste na redução da disponibilidade de água para o desenvolvimento de microrganismos e para reações bioquímicas deteriorativas. Apresenta a vantagem de ser simples e permitir a obtenção de produtos com maior vida de prateleira. Além disso, o processo envolve custos e volumes menores de acondicionamento, armazenagem e transporte. Em alguns casos, a desidratação apresenta a vantagem adicional de colocar ao alcance do consumidor uma maior variedade de produtos alimentícios que podem ser disponibilizados fora da safra, como é o caso das frutas secas (PARK et al., 2002).

A secagem ocupa uma posição muito representativa na área da desidratação de alimentos e, em especial, no processamento de espécies vegetais. É uma prática muito antiga, que se iniciou com a secagem ao sol, com a finalidade de preservar os excedentes das colheitas para serem consumidos nos períodos de escassez (ROMERO et al., 1997).

A operação de secagem se efetua de dois tipos, quanto ao modo de sua realização: secagem natural (ao sol ou vento) e secagem artificial (desidratação) por meio de calor, umidade relativa e velocidade de ar controlada (FERRETTI et al., 1995).

Durante a secagem é necessário o fornecimento de calor para evaporar a umidade do material. Ao ser colocado no secador, devido à diferença de temperatura (ambiente mais quente que material) ocorre uma transferência de calor da fonte quente para o material úmido, e também a evaporação da água. A diferença de pressão parcial de vapor d'água entre o ambiente quente (ar quente) e a superfície do produto ocasionará uma transferência de massa do produto para o ar, e assim o vapor de água será transferido do material.

De acordo com Brooker e colaboradores (1992), a secagem pode ser definida como o processo no qual ocorrem transferências simultâneas de calor e de massa entre o produto e o meio utilizado para secá-lo, que geralmente é o ar. Outros pesquisadores definem como sendo a operação unitária que leva à redução do teor de água do produto até que seja atingido um nível seguro para o seu armazenamento. Nessa condição, o produto se comporta como se sua superfície estivesse coberta por uma fina camada de água. Nesse caso, a pressão de vapor d'água na superfície é igual à pressão de vapor da água livre, à temperatura de bulbo úmido. Se durante a secagem as condições psicrométricas do ar são constantes, a taxa de secagem também será constante. Este fenômeno pode ser observado em produtos para os quais a resistência interna ao transporte de umidade é muito menor que a resistência externa à remoção de vapor d'água da superfície do produto.

Se a água não estiver ligada (ligação física ou química) nas estruturas dos sólidos é caracterizada como água livre, e a energia envolvida no processo será correspondente ao calor latente de vaporização. E, se a água estiver ligada, a energia necessária para sua evaporação será maior (BROD, et al., 1999).

Durante a secagem, é na superfície do material que ocorre a evaporação da água, a qual foi transportada do interior do sólido. Os mecanismos desse transporte, mais importantes, são: difusão de líquido, difusão de vapor e fluxo de líquido e de vapor.

O conhecimento do conteúdo inicial e final 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 possibilitam fundamentar o fenômeno da secagem. O fenômeno da secagem não pode ser generalizado para materiais biológicos, pois possuem características próprias e propriedades que podem sofrer importantes alterações durante a secagem. As características específicas de cada produto, associadas às propriedades do ar de secagem e ao meio de transferência de calor adotado, determinam diversas condições de secagem. Entretanto, a transferência de calor e de massa entre o ar de secagem e o material úmido é fenômeno comum a qualquer condição de secagem (PARK et al., 2001).

O processo, baseado na transferência de calor e de massa, pode ser dividido em três períodos, conforme Figura 2.3 (BROD et al., 1999).

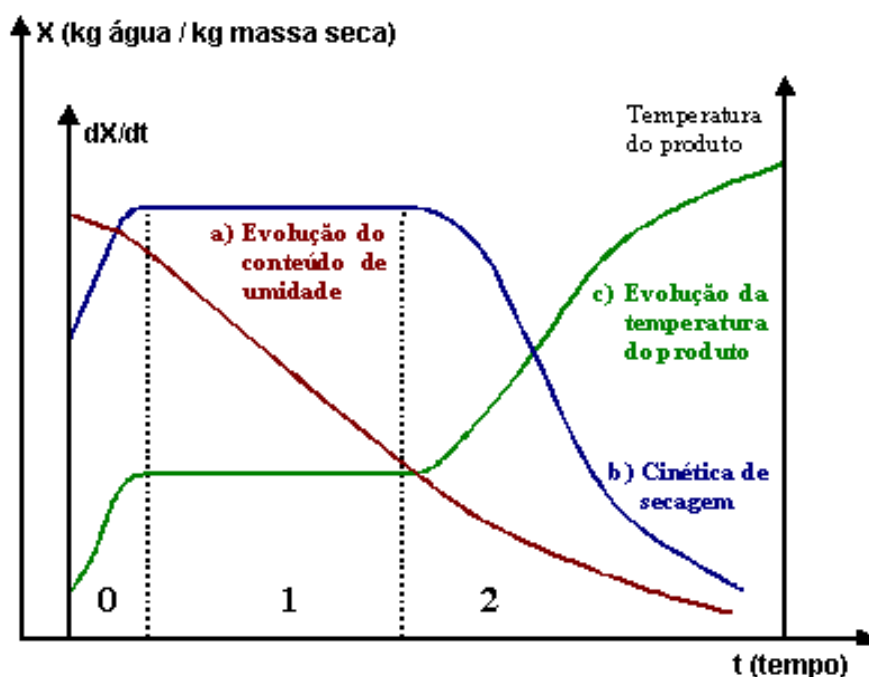


Figura 2.3. Curvas típicas de secagem (BROD et al., 1999).

A curva de secagem representa a diminuição do teor de água do produto durante a secagem, conteúdo de umidade do produto em base seca (X), em relação ao tempo de secagem (t). Os dados são obtidos monitorando a massa de material durante a secagem numa determinada condição de operação. A curva (b) representa a taxa de secagem do produto, variação do conteúdo de umidade do produto por tempo, dX/dt em relação ao tempo (t), isto é, é a curva obtida derivando a curva de secagem.

A curva (c) representa a evolução da temperatura do material durante a secagem (temperatura do material (T) em relação ao tempo t), isto é, é a curva obtida medindo a temperatura do material durante a secagem.

Analisando os períodos, tem-se:

- o primeiro período representa o início da secagem. Nesse período ocorre uma elevação gradual da temperatura do material e da pressão de vapor de água. Essas elevações têm prosseguimento até o início da taxa de secagem constante.
- o segundo período caracteriza-se pela taxa constante de secagem. A água evaporada é a água livre. A transferência de massa e de calor é equivalente ao calor usado para evaporar a água e, portanto, a velocidade de secagem é constante. Enquanto houver quantidade de água na superfície do produto suficiente para utilizar o calor suprido para evaporação, a taxa de secagem será constante. Nos sólidos que têm espaços vazios e poros relativamente grandes, o movimento será, possivelmente, controlado, pela tensão superficial, pelas forças geradas no interior do sólido e pela força gravitacional. Nos sólidos com estruturas fibrosas, ou amorfas, o movimento do líquido ocorre por difusão através do sólido. Desde que as taxas de difusão sejam menores que o escoamento por gravidade ou por capilaridade, os sólidos nos quais a difusão controla o movimento líquido tendem a ter períodos a taxa constante mais curtos, ou mesmo a secarem sem que haja um período de taxa constante perceptível. À medida que o teor de umidade continua a decrescer, a distância a ser coberta na difusão do calor e da massa aumenta até que o teor de umidade de equilíbrio seja alcançado. O teor de umidade de equilíbrio é atingido quando a pressão de vapor de água na superfície do sólido for igual à pressão parcial do vapor de água no gás de secagem afluente. Este período é denominado o segundo período de taxa decrescente (FOUST et al.,1982);
- no terceiro período, a taxa de secagem é decrescente. A quantidade de água presente na superfície do sólido é menor, reduzindo-se, portanto, a transferência de massa. A transferência de calor não é compensada pela transferência de massa. O fator limitante

nessa 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. Quando a umidade do sólido atinge o ponto de umidade de equilíbrio em relação ao ar de secagem, o processo é encerrado. O terceiro período é quase sempre observado apenas na secagem de produtos agrícolas e alimentícios.

A complexidade dos fenômenos, durante a secagem, conduz os pesquisadores a proporem numerosas teorias para explicação fenomenológica.

Quando o ar aquecido é forçado a passar através de uma camada do alimento granular úmido, o processo de secagem pode ser descrito na carta psicrométrica como um processo de saturação adiabática. O calor de evaporação requerido para secar o produto é fornecido somente pelo ar de secagem. Assim, enquanto o ar passa através da massa granular, uma parte do calor sensível do ar é convertida a calor latente (SINGH; HELDMAN, 2001).

A água é um dos fatores que geram condições para o crescimento e desenvolvimento, nos alimentos, de numerosa faixa de microrganismos. Por essa razão, os cereais, que têm pequeno teor de líquido, são conservados com maior facilidade.

A redução de água livre do alimento eleva a pressão osmótica de seu meio e consequentemente, a proliferação de microrganismos é contida.

Os vários processos de desidratação têm como objetivo comum a redução da atividade de água (Aa) para níveis inferiores a 0,6, pois nestes níveis a maioria das reações de deterioração é desacelerada. Como exceção, a reação de oxidação de lipídeos que em valores muito baixos de atividade de água parece sofrer nova aceleração (VICENZI et al., 2001).

A atividade de água (Aa) é definida como o grau de disponibilidade da água no vegetal, representando a relação entre a pressão de vapor da água no material (P_v) e a pressão de vapor da água pura (P_{v0}) a uma mesma temperatura, sendo que em ambiente fechado e em equilíbrio pode ser medida como umidade relativa de equilíbrio percentual (URE), onde esta é 100 vezes o valor de Aa (SANTOS et al., 2005).

O valor máximo de Aa é igual a 1, neste caso para água pura. Quando Aa é maior que 0,9 podem ocorrer crescimento de microrganismos, porém as reações químicas e enzimáticas podem ter sua velocidade diminuída pela baixa concentração de reagentes. Para Aa entre 0,4 e 0,8 podem ocorrer reações químicas e enzimáticas, enquanto que abaixo de 0,6 pouco ou nenhum crescimento microbiano ocorre (DITCHFIELD, 2004).

Em atividade de água menor que 0,3 ocorre a condição de adsorção e moléculas de água poderão estar ligadas a pontos específicos, por exemplo, grupos COOH e por pontes de hidrogênio. Em alimentos, a água nesta região está fortemente ligada formando uma

monocamada (pode ser mais de uma camada), que são finas camadas de água recobrendo macromoléculas e não participam de reações ou desenvolvimento microbiano (BOBBIO e BOBBIO, 2001).

Em Aa menor ou igual a 0,2 as reações são inibidas.

Operações como a secagem podem ser utilizadas no sentido de obter produtos dentro da faixa de atividade de água recomendada.

O processo de secagem proporciona inúmeras vantagens:

- a-) conserva o produto;
- b-) proporciona a concentração de nutrientes no caso dos alimentos como leite (maior teor protéico e cálcico) e carnes (porcentagem mais elevada de proteína) e
- c-) redução de massa e volume (redução de custos de embalagens em tamanho e quantidade, transporte e estocagem).

2.2.1.1 Secagem Natural (ou ao sol)

No Brasil, a secagem natural, em escala comercial, ainda não alcançou situação técnica e econômica de repercussão, a não ser a que se refere à carne bovina (charque). Várias razões contribuem para que isso ocorra: a própria natureza de processos, que impede o maior rendimento de produção, a escassez da matéria prima, proporcional ao consumo geral, à falta de hábito aos produtos e principalmente pela deficiente tecnologia de elaboração (EVANGELISTA, 2001).

A secagem ao sol, principalmente com objetivo industrial, não pode ser feita em qualquer local. A operação deve ser realizada em regiões de clima quente, de pouca umidade e não expostas a instabilidades meteorológicas. A ocorrência de chuvas nos períodos anterior, durante e posterior ao processamento é condição extremamente negativa para a secagem natural.

Os Estados Unidos, a Grécia, a Espanha e outros países do Mediterrâneo possuem zonas de condições ideais para a secagem de frutas ao sol. Na África do Sul, no Brasil e em outros países da América do Sul, a secagem natural da carne e de pescados é efetuada em quantidade apreciável.

A secagem ao sol, com uso de vento aquecido, para ter êxito, necessita ser devidamente planejada e sujeita a certos cuidados, visando a excelência do produto.

A aplicação dos processos de secagem natural e artificial mostra desvantagens e vantagens, de um e de outro. Assim, certos produtos submetidos à secagem natural são conseguidos em melhores condições do que os que provêm da secagem artificial. A cor, por

exemplo, das frutas é favorecida, quando secadas ao sol, isto porque, na secagem natural, a evolução da cor da fruta não inteiramente madura prossegue vagarosamente durante a exposição solar, fato que não ocorre durante a desidratação.

Como inconveniências da secagem ao sol, ocorre: a perda de açúcar do produto, pela respiração e fermentação no transcorrer do processo, a contaminação por resíduos trazidos pelos ventos e o ataque por insetos.

2.2.1.2 Secagem Artificial (desidratação)

A desidratação é uma técnica milenar utilizada para conservação de alimentos. Na atualidade continua sendo tema de pesquisas científicas que têm contribuído para o desenvolvimento de novas tecnologias, produtos e ingredientes para a indústria de alimentos. Atualmente, são consumidos diversos produtos desidratados e de alguns anos pra cá, encontra-se uma grande diversificação e aplicação dos mesmos. Sopas instantâneas com vegetais desidratados, sucos de frutas em pó, maçã, abacaxi, manga, banana e cogumelos desidratados e o tomate seco em conserva são alguns exemplos. Para se produzir um alimento desidratado, diversas operações são realizadas e para isso, além de equipamentos apropriados, é necessário que essas operações sejam realizadas em ambientes adequados e com pessoal treinado (SANTOS et al., 2005).

A operação de desidratação merece destaque pela influência que tem nos aspectos técnicos e econômicos. A qualidade do produto final depende diretamente da forma que o processo de desidratação é conduzido, sendo os principais parâmetros utilizados na avaliação do produto a cor, o sabor, o aroma, a textura e os aspectos microbiológicos. A desidratação, além de ser utilizada como um método de conservação, impedindo a deterioração e perda do valor comercial, objetiva também o refinamento do alimento, e pode possibilitar a introdução de um novo produto no mercado (SANTOS et al., 2005).

A denominação desidratação baseia-se na extração de água, por aquecimento, evaporação e sublimação, sob condições controladas. Certos métodos, porém, apesar de terem em comum com a secagem artificial a eliminação de água, dela se diferenciam por outras particularidades, como a secagem ao sol com vento aquecido, uso de extrusor e extração por solventes e a evaporação.

A secagem de alimentos é executada através de diversos métodos: usando ar aquecido (calor transferido por convecção); por contato com superfície aquecida (calor transferido por condução); calor de fonte radiante de microondas e dielétrica; congelamento, sublimação e calor sob vácuo, como na liofilização.

Sob aspecto econômico, o alimento seco apresenta maior custo, porém a melhoria de sua qualidade compensa as despesas, pelo aumento do valor comercial do produto e ampliação da vida de prateleira. Em contraposição à vantagem do menor preço do alimento seco ao sol em relação ao artificial, está ainda, o fato de que na secagem o alimento torna-se mais barato, pelo menor tempo que leva para ficar seco, sendo ainda ampliada a qualidade. Outra vantagem da secagem artificial é a de conferir ao produto melhor proteção contra a contaminação por poeira e do ataque de insetos.

2.2.2 Secagem de Espécies Vegetais

As partes das plantas apresentam diferentes quantidades de água: sementes e frutos de 5 a 10%, folhas de 60 a 90%, raízes e rizomas de 70 a 85% e as flores e frutos carnosos de 80 a 90% (BORSATO, 2003).

Algumas atividades metabólicas (processos enzimáticos, auto-oxidação, escurecimento não-enzimático), atividade bacteriana e fúngica não cessam quando são separadas partes da planta durante a colheita, sendo dependentes do conteúdo de água na planta. Por isso, é importante que a inativação enzimática e a secagem se iniciem o mais rápido possível após a colheita, prevenindo a deterioração do material coletado (HORNOK, 1992).

A secagem de plantas medicinais, aromáticas e condimentares tem por objetivo retirar uma porcentagem elevada de água das células e dos tecidos, impedindo os processos de degradação enzimática e proporcionando a sua conservação, com manutenção da qualidade em composição química, pelo período de tempo necessário a um armazenamento seguro. A questão da alta sensibilidade do princípio biologicamente ativo e sua preservação no produto final é, sem dúvida, o maior problema na secagem e no armazenamento de plantas medicinais e aromáticas (HERTWIG, 1986).

De acordo com Sharapin (2000), o processamento pós-colheita inadequado resulta em matéria-prima de baixa qualidade, com perda de princípios ativos, aumento da carga microbiana e má apresentação comercial. As plantas medicinais e aromáticas geralmente contêm, por ocasião da colheita, alto teor de água e elevada contaminação por microrganismos. O material deve ser seco imediatamente depois da colheita para prevenir a multiplicação de microrganismos e a perda dos componentes químicos. As condições de secagem são extremamente importantes para a manutenção do odor, da cor e do teor dos óleos essenciais (SOYSAL, OZTEKIN, 1999).

Entre os aspectos que limitam a utilização de fitoterápicos, destaca-se a grande variação que ocorre em suas composições. Aspectos relacionados ao cultivo e época de colheita da planta, fatores climáticos, umidade, luminosidade, parte da planta utilizada, método de transporte, armazenamento, secagem e processo de extração, podem modificar a composição desses produtos, afetando diretamente sua segurança e eficácia (FERREIRA, 1998).

De acordo com Corrêa e colaboradores (1994), durante a secagem alguns parâmetros são considerados importantes:

- o processo de secagem deve ser iniciado no mesmo dia da colheita;
- a temperatura de secagem deverá ser entre 20 e 40°C no caso de flores e folhas;
- as bandejas devem estar sobrepostas com 30 centímetros de intervalo para facilitar a circulação do ar;
- as camadas de folhas devem ser finas de modo a permitir a circulação de ar entre as partes vegetais;
- partes suculentas devem ser separadas das mais finas por apresentarem tempos de secagem diferentes, e
- finalizar o processo quando o material apresentar umidade entre 5 e 8% de umidade.

A Figura 2.4 apresenta as duas etapas distintas da curva de secagem de plantas medicinais relacionando o teor de água remanescente com o decorrer do tempo. Sendo elas:

- **I - Secagem a taxa (velocidade) constante:** previamente, ocorre um equilíbrio de condições entre o ar aquecido e o sólido que começa a absorver calor sem a eliminação da umidade. Na sequência, durante a secagem à velocidade constante, a superfície do sólido encontra-se coberta com uma película de água que é transformada em vapor pelo calor latente de vaporização. A água evaporada na superfície do sólido é substituída pela difusão interna numa taxa igual à evaporação e a temperatura mantém-se constante.
- **II - Secagem a velocidade decrescente:** o ponto final da velocidade constante é denominado umidade crítica, onde a velocidade começa a decrescer.

No início da secagem o teor de umidade interna é elevado e o gradiente de concentração é alto, assim, a quantidade de líquido difundido para a superfície é igual ao

evaporado, mantendo a velocidade constante. No decorrer da secagem, o gradiente de concentração vai diminuindo até que a velocidade de secagem torna-se controlada inteiramente pela difusão da água no interior da planta (LIMA, 1971).

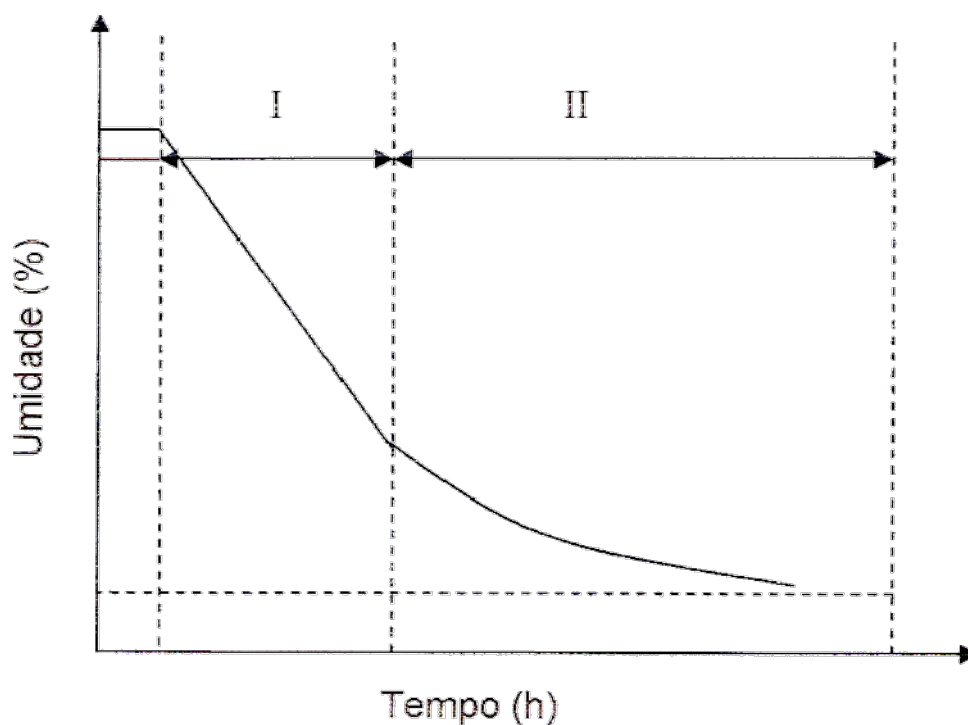


Figura 2.4. Curva teórica de secagem de plantas medicinais (HORNOK, 1992)

Notas: I - Elimina água ligada mecanicamente e parte da água ligada osmoticamente

II - Elimina água ligada osmoticamente até equilíbrio com a umidade relativa do ar (ponto final de secagem).

A taxa de secagem depende da temperatura e do fluxo de ar no secador, sendo que quanto maiores, mais rápida se processa a secagem. Se a temperatura e o fluxo de ar forem muito altos, a taxa de secagem supera a taxa de migração da água e os capilares podem ser fechados, impedindo a saída de água do material, o que pode provocar degradação do mesmo (HORNOK, 1992).

O conteúdo de água no material pode ser classificado de acordo com o modo como a água se encontra ligada e sua retirada pela secagem (HORNOK, 1992), sendo:

- **Água ligada quimicamente:** possui uma alta energia de ligação com as macromoléculas (proteínas, carboidratos) formando a monocamada e mantendo a sua

integridade estrutural. A remoção acontece somente com a destruição do material, portanto, não é removida pela secagem.

- **Água ligada físico-quimicamente:** pode estar ligada por adsorção e osmoticamente. A primeira possui energia de ligação mais alta e não pode ser retirada com a secagem. A água ligada osmoticamente apresenta propriedade similar a uma solução concentrada, ocupa poros e capilares, não interage diretamente com a superfície das macromoléculas e pode ser retirada parcialmente.
- **Água ligada mecanicamente:** a água apresenta propriedade similar à solução diluída e é considerada água livre. Encontra-se situada superficialmente e nos macrocapilares e é removida facilmente. A remoção acontece em diferença de concentração e de temperatura (a água migra de locais de maior quantidade para os de menor quantidade de água e de locais mais aquecidos para os mais frios, por movimento térmico das moléculas).

Quando ocorre a evaporação na superfície do material, a umidade se desloca das camadas internas para a superfície por difusão. O movimento da umidade é causado pelo gradiente de concentração entre o interior e a superfície da planta (LIVI, 2004).

A secagem ao sol, em muitas plantas medicinais e aromáticas, é totalmente desaconselhada, visto que o processo de fotodecomposição ocorre intensamente, degradando os componentes químicos e ocasionando alterações de cor, sabor e odor na erva.

Segundo Borsato (2003), a secagem é mais eficiente em maior temperatura, maior velocidade e menor umidade relativa do ar, porém altas temperaturas promovem o rompimento das estruturas celulares, levando à morte ou desencadeamento de reações enzimáticas e não enzimáticas alterando a cor, o sabor e o odor da planta. O efeito térmico pode hidrolisar e degradar carboidratos causando escurecimento.

As espécies medicinais ou aromáticas, onde as substâncias ativas estão concentradas nas folhas devem ser secas imediatamente após colheita a fim de manter suas propriedades medicinais e de estabilidade. O material deve ser distribuído em camadas finas, sem compactação permitindo boa circulação do ar. Recomenda-se que a secagem seja rápida, com calor moderado, circulação de ar e ausência de luz solar. Nas secagens empregando temperaturas abaixo de 80° C não ocorre degradação de enzimas, mas inibição, podendo ser reativadas (BORSATO, 2003).

A desidratação aumenta o teor de princípios ativos em relação à massa da espécie vegetal. As plantas medicinais devem ter o conteúdo de umidade mais baixo possível para evitar mofo e contaminação microbiana.

Como a qualidade de um medicamento começa com a qualidade da matéria-prima usada para fabricá-lo, pode-se dizer que a qualidade de um fitoterápico começa no campo e só se mantém quando a matéria-prima é adequadamente processada e armazenada.

2.3 Alterações de alimentos que resultam em perda de qualidade

Os alimentos, quer industrializados ou não, mantêm-se em constante atividade biológica, manifestada por alterações de natureza química, física, microbiológica ou enzimática, que levam a deterioração da qualidade. A perda de qualidade, por sua vez, leva a um limite de aceitabilidade do produto, que está associado à sua vida de prateleira.

O termo vida de prateleira é definido como o tempo o qual o produto é seguro para ser consumido, mantendo atributos de qualidade desejáveis, sensoriais, químicos, físicos e microbiológicos (VISOTO, 2000).

Os principais fatores ambientais que devem ser controlados para prolongar a vida útil de um alimento são temperatura, umidade e oxigênio. O ambiente natural ao redor do produto e no interior da própria embalagem pode ser prejudicial, considerando-se longos períodos de estocagem.

O controle de temperatura é importante para a preservação da qualidade dos alimentos, uma vez que seu aumento está diretamente relacionado com o aumento da velocidade das reações de deterioração, principalmente atividade enzimática, escurecimento não enzimático e reações de oxidação. O aumento no teor de umidade do alimento leva a alterações de textura, além de facilitar a movimentação de substâncias nos substratos, acelerando as reações de escurecimento e o desenvolvimento de microrganismos. A elevada concentração de oxigênio em contato com o alimento pode levar à oxidação de lipídios, vitaminas e pigmentos, além de favorecer o crescimento de microrganismos aeróbios. Isto está relacionado com as transformações que acontecem envolvendo: cristalização, temperatura de transição vítrea e comportamento amorfo dos alimentos (COLLARES, 2001).

A aceitação de um alimento pelo consumidor, é normalmente, avaliada pela sua aparência estética no ponto de venda e por suas características sensoriais. Outros aspectos de qualidade como valor nutricional, contaminação microbiológica e aspectos toxicológicos também são de extrema importância, mas o consumidor nem sempre tem capacidade para avaliá-los (PASSY e MANNHEIM, 1977 citado por SARANTÓPOULOS et al., 2001).

2.3.1 Reações de Escurecimento Enzimático

Determinadas frutas e hortaliças destinadas ao processamento industrial, maçãs, bananas, batatas, alface e outros vegetais, quando injuriados, os tecidos vegetais são rompidos e as enzimas são colocadas em contato com os substratos fenólicos, desenvolvendo nos alimentos zonas escuras que identificam o fenômeno de escurecimento enzimático. Em tecidos vegetais intactos, os substratos não se encontram em contato com as enzimas oxidantes e o escurecimento não ocorre.

A peroxidase, classificada como uma enzima oxirredutora, participa de numerosos processos fisiológicos nas plantas, entre eles, perda de coloração, sabor, textura e nutrientes da fruta. No entanto, sua função não se restringe a aspectos negativos, sendo fundamental no desenvolvimento de sabor e cor de alimentos como o chá preto, diminuição do amargor e adstringência dos produtos do cacau e formação de aldeídos e aminoácidos (LIMA e PASTORE; LIMA, 2001).

Sabe-se que a peroxidase não existe nos frutos como uma enzima isolada, e sim como grupos de isoenzimas, cuja versatilidade e quantidade de reações associadas a ela é superior a qualquer outra conhecida.

Enzimas oxidantes, como as peroxidases, quando expostas ao ar, atuam nas substâncias com grupos fenólicos (taninos e tirosina), produzindo as quinonas (compostos que possuem grupos carbonilas). Da oxidação das quinonas formam-se as melanoidinas, que conferem uma coloração marrom escura ao produto. Na presença de ácido ascórbico, as quinonas voltam à sua forma antiga de compostos fenólicos e o ácido ascórbico é oxidado. Quando todo o ácido ascórbico é consumido, o escurecimento pode reaparecer.

Visando impedir a formação da coloração marrom, vários métodos são utilizados para inibir o escurecimento enzimático. Dentre eles está a inibição desse sistema enzimático pelo calor, pela aplicação de SO₂ ou sulfitos, pela adição de acidulantes, como ácido cítrico, ácido málico e ascórbico, fazendo com que o pH seja inferior a 3,0.

O escurecimento pode ser considerado prejudicial e os compostos resultantes das reações conferem cor e sabor indesejáveis aos produtos (FENNEMA, 1985).

2.3.1.1 Inativação Enzimática por sapeco

O sapeco consiste em um contato rápido dos ramos e folhas com chama direta. O efeito é similar ao branqueamento efetuado no processamento de alimentos, geralmente realizado com vapor d'água ou água em ebulição (DAVIES et al., 1976 citado por VALDUGA et al., 2003).

No processamento de erva mate para chimarrão a inativação enzimática precede a etapa de secagem. Na prática industrial é composta por quatro etapas distintas: o sapeco realizado pelo contato direto da chama e gases de combustão de uma fornalha, a secagem convectiva com gases de combustão, a trituração de galhos e folhas para gerar menores partículas e o resfriamento do material à temperatura ambiente (VALDUGA, 2002).

No processo industrial, no sapeco, os ramos deslocam-se em queda livre de uma altura de cerca de um metro, em escoamento cruzado com as labaredas da fornalha, o que acontece em cerca de dois segundos. Segue-se o contato das folhas com os gases quentes da fornalha em um cilindro rotativo e a umidade das folhas na descarga varia entre as indústrias, tendo sido relatado por Junior e Santos (2000) citado por Valduga (2002), o valor de 25%, em base úmida.

Quando o sapeco é bem executado, as folhas adquirem coloração uniforme, verde amarelada desprende-se um aroma agradável. Se o processamento não for adequado, apresentam cor verde escura, algumas folhas amareladas, outras pretas e muito queimadas (SOUZA, 1937 citado por VALDUGA, 2002).

Na indústria ervateira após a realização do sapeco a umidade das folhas situa-se em torno de 55% em base úmida, seguindo-se a secagem de folhas até que a umidade final esteja na faixa de 3 a 5%. No caso da indústria ervateira, a temperatura do ar de secagem e consequentemente o tempo de secagem variam entre os fabricantes. O menor tempo de secagem relaciona-se com as indústrias que prolongam a etapa de sapeco. Como na operação de sapeco o efeito térmico é por contato com chama direta e por gases de combustão, a força motriz propicia uma elevada capacidade de eliminação de umidade. Assim, o tempo de secagem pode ser diminuído se o sapeco for prolongado com um controle adequado para não inviabilizar a formação de folhas de qualidade, por efeitos térmicos, para produção de seus derivados.

No processamento de *Camellia sinensis*, a qual é consumida na Ásia e Europa sob a forma de chá verde e preto, efetua-se a inativação enzimática com ar seco quente ou com vapor de água, para produção de chá verde, o que consiste no processo realizado no Japão, China, Vietnã e Indonésia.

Entre as plantas, a enzima peroxidase das uvas, das maçãs e das batatas vem sendo intensamente estudada em consequência dos problemas causados no processamento do vinho, suco e alimentos processados com batata, respectivamente. Estes estudos mostram que, embora dependendo da forma como a enzima se apresenta, ela pode ser considerada uma enzima de baixa termoestabilidade. Tratamentos térmicos entre 70 e 90°C com relativamente

curta duração, podem ser usados para reduzir ou eliminar completamente a atividade da enzima. Em contraste, a atividade da enzima é relativamente estável e continua presente mesmo a temperaturas abaixo de zero (ZAWISTOWSKI et al., 1991).

As enzimas catalase e peroxidase ocorrem em plantas, animais e microrganismos e são utilizadas para testar a eficiência do tratamento utilizado antes de seu congelamento ou armazenamento. Ambas possuem o grupo prostético ferriprotoporfirina: um grupo prostético em peroxidase e quatro em catalase, os quais influenciam as reações químicas catalisadas por estas enzimas (ARAÚJO, 1999).

Acredita-se que a função da catalase e das peroxidases, bem como da superóxido dismutase, é proteger os tecidos animal e vegetal contra os efeitos tóxicos da água oxigenada formada durante o metabolismo celular. A remoção da água oxigenada, em nível celular, evita a formação do oxigênio singlete pela reação com o oxigênio e pode ser vista pela Figura 2.5. A lactoperoxidase em leite, por exemplo, tem ação antibacteriana.

Essa enzima é importante, dos pontos de vista nutricional, de coloração e flavor. Por exemplo, a atividade da peroxidase pode levar à destruição da vitamina C e descoloração de carotenóides e antocianinas, além de catalisar a degradação não enzimática de ácidos graxos insaturados, com a consequente formação de compostos voláteis provocando o sabor oxidado.

A atividade da peroxidase está associada ao aparecimento de sabores estranhos em alimentos termicamente processados de maneira inadequada, sem que ocorra a inativação enzimática.

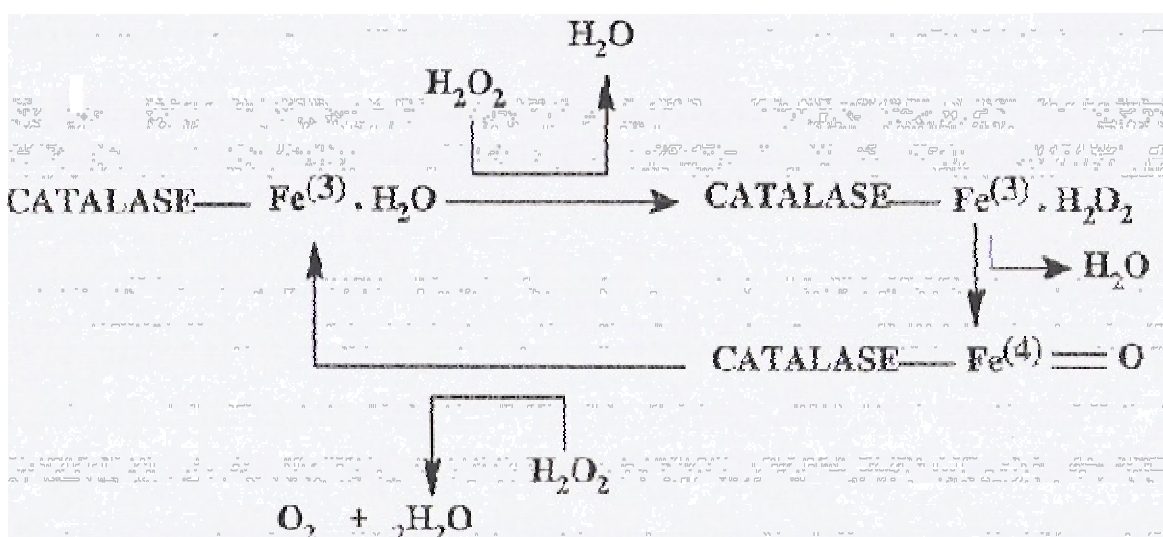


Figura 2.5. Remoção de H_2O_2 em nível celular (ARAÚJO, 1999).

É capaz de oxidar compostos fenólicos somente na presença de água oxigenada. Sua detecção é baseada no desenvolvimento da cor na presença do substrato: guaiacol-água oxigenada. O complexo peroxidase-peróxido formado oxida o guaiacol (incolor) transformando-o em um produto final colorido, conforme mostrado na Figura 2.6 (ARAÚJO, 1999).

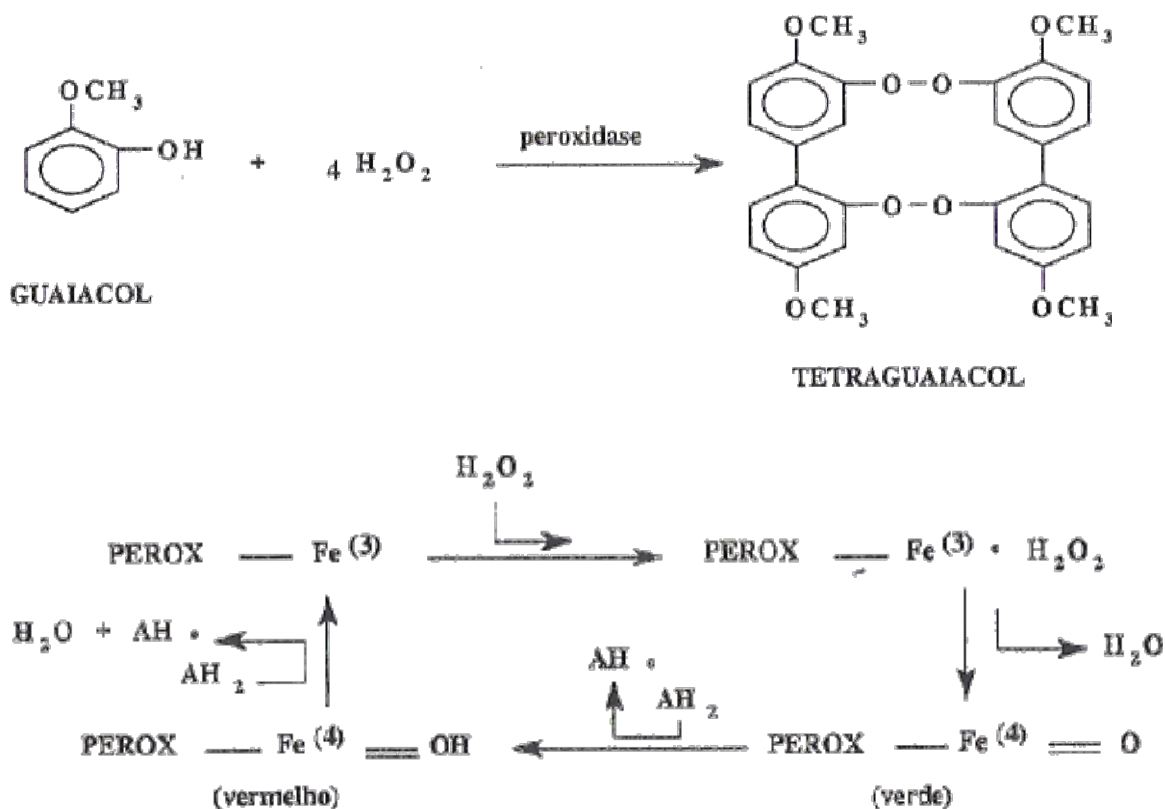


Figura 2.6. Oxidação de compostos fenólicos na presença de H_2O_2 (ARAÚJO, 1999).

A peroxidase é considerada uma das enzimas mais termorresistentes, de forma que, quando inativada, certamente as demais enzimas e os microrganismos patogênicos serão destruídos. Na maioria dos casos, o branqueamento entre 90-100°C por três minutos é suficiente para proceder à inativação.

No processamento de frutas e vegetais, a peroxidase é a principal responsável pela formação de sabor estranho durante o armazenamento de produtos enlatados, principalmente em vegetais não ácidos. Sua atividade diminui em pH baixo e pH elevado. A perda da atividade observada com acidificação é atribuída a mudanças do estado nativo para a condição desnaturada, ocasionada pela liberação do grupo heme da proteína. Portanto a alteração do pH está relacionada com a mudança estrutural na molécula da enzima. A regeneração da enzima

após tratamento térmico é dependente do pH, e valores entre 5,0 e 8,0 recuperam sua atividade, enquanto em pH abaixo de 5,0 ocorre adicional perda.

Os procedimentos mais utilizados no controle da peroxidase na indústria é a utilização de dióxido de carbono ou sulfitos. O controle da eficiência do processo, normalmente baseia-se no teste para peroxidase.

Calvette (2007) estudou a utilização de alta pressão hidrostática para inativação das enzimas deteriorantes de água de côco. A partir da pesquisa, concluiu-se que as enzimas peroxidase e polifenoloxidase são inativadas pelo processamento por alta pressão hidrostática empregando 800 MPa e temperatura superior a 50°C. A polifenoloxidase foi mais sensível às condições máximas de processamento, porém mais resistente às pressões intermediárias.

Shintani, e colaboradores (2006) avaliaram a atividade das enzimas peroxidase e polifenoloxidase, antes e depois do processamento do purê de manga em trocador de calor a placas e duplo tubo, para determinação da melhor condição de tempo e temperatura para produção de um purê estável do ponto de vista fisioquímico e microbiológico. Os resultados obtidos para a enzima peroxidase mostraram que o processamento do purê de manga realizado a 80°C foi suficiente para que a enzima não apresentasse atividade residual. Já o processamento realizado a 74°C não foi suficiente, sendo que numa das condições testadas a atividade residual da peroxidase foi de 24,4%. Dos resultados obtidos no trabalho, concluiu-se que no tratamento térmico a 75°C, houve a maior redução da atividade enzimática: 4,3%.

Cunha e colaboradores (2005) estudaram a cinética de inativação térmica da peroxidase presente na polpa de goiaba. As amostras de polpa foram submetidas aos testes de inativação térmica a temperaturas entre 50 e 60°C. Foram utilizados tubos TDT (*thermal death time*) não selados, em banho de água quente, com controle de temperatura. Os conteúdos dos tubos foram resfriados em banho de gelo e analisados quanto à atividade de peroxidase. Os tempos de amostragem foram em duplicata, com três repetições para cada temperatura estudada. Em seguida, foi feita a diluição da polpa em erlenmeyer de 50 mL. Adicionou-se 20 mL de solução tampão fosfato 0,2 M, pH 6,0 e 1 mL do extrato enzimático, 1 mL de água oxigenada como oxidante à 0,5% e 1 mL de solução de guaiacol à 1% em etanol. A seguir procedeu-se à leitura em espectrofotômetro de amostras efetuando-se dez leituras sucessivas com intervalos de um minuto. Como controle para a reação enzimática, utilizou-se um tubo do espectrofotômetro contendo a mistura reativa com exceção do peróxido de hidrogênio. A pesquisa realizada indicou resultados satisfatórios à inativação enzimática da peroxidase, em especial, à temperatura de 60°C, tendo sido esta considerada adequada para processamento da polpa.

No estudo realizado por Valduga (2008), com folhas de *Ilex paraguariensis*, utilizando sapecador experimental, após quatro minutos de sapeco, sob ação dos gases de combustão, escoando na temperatura média de 181°C, reduziu-se a umidade das folhas, em base úmida de 61,9% a 14,6%. Após cerca de cinco minutos de processamento as folhas de erva mate sapecadas apresentaram as características de qualidade desejadas, contudo algumas tiveram as bordas sapecadas. Experimentos de sapeco, por quatro minutos, possibilitaram a obtenção de folhas sapecadas, sem ocorrência de chamuscamento. As condições operacionais possibilitaram a obtenção de erva mate com características de cor e homogeneidade de alto padrão, quando comparado com produtos industriais. A partir dos resultados obtidos, concluiu-se que durante a operação de sapeco, o fluxo de água eliminada pela superfície das folhas de erva mate é de cinco a vinte e duas vezes maior do que a transpiração foliar das espécies vegetais lenhosas de sombra.

Cunha (2005) avaliou a inativação enzimática e secagem de folhas de *Mentha*, nas espécies *spicata* e *arvensis*. Para cada unidade de hortelã adquirida, com massa média de 120g composta por talos e folhas, utilizou-se aproximadamente 50g, descartando talos e sujidades encontradas. De 50,11g de massa inicial, após sapeco, por onze min, e secagem, por 40 min à 50°C, restaram 5,68g, com umidade de 8,8% em base úmida. Como resultado do estudo, conclui-se que o processamento de hortelã poderia ser otimizado prolongando-se a etapa de sapeco, fazendo com que as folhas atinjam o conteúdo de umidade adequado ao armazenamento eliminando a etapa de secagem no processo convencional de produção de hortelã em pó.

2.4 Psicrometria

A psicrometria relaciona-se com a determinação das propriedades termodinâmicas de um gás úmido e com a utilização das mesmas na análise de condições e processos envolvendo gases úmidos. O ar é bastante empregado para promover a secagem de materiais. O mesmo é selecionado para exercer a função de fornecedor de calor requerido para evaporação de água de um material e para promover a retirada de água evaporada de materiais processados em secadores. O ar atmosférico é uma mistura de gases contendo vapor de água e diversos poluentes (ASHRAE, 1985, citado por FINZER, 1998).

2.4.1 Propriedades do ar seco

De acordo com ASHRAE (1985), citado por Finzer (1998), o ar é denominado seco quando todo vapor de água e contaminantes foram removidos.

2.4.1.1 Composição do ar seco

A composição do ar seco é aproximadamente constante, contudo pequenas variações, nas quantidades dos componentes individuais, ocorrem com o tempo, localização geográfica e altitude. A composição percentual em volume (ou molar) do ar seco é: nitrogênio 78,084; oxigênio 20,9476; argônio 0,934; dióxido de carbono 0,0314; neônio 0,001818; hélio 0,000524; metano 0,0002; dióxido de enxofre 0 a 0,0001; hidrogênio o ozônio 0,0002. O peso molecular médio do ar é 28,9645 (ASHRAE, 1985, citado por FINZER, 1998).

2.4.1.2 Volume específico do ar seco

A lei do gás ideal pode ser usada para determinar o volume específico de ar seco, conforme apresentado na Equação (1).

$$V'_a = \frac{R_a \cdot T_a}{P_a} \quad (1)$$

Sendo V'_a o volume específico do ar seco (m^3/kg); T_a a temperatura absoluta (K); P_a a pressão parcial do ar seco (kPa) e R_a a constante dos gases ($[\text{m}^3 \text{ Pa}]/[\text{kg K}]$) (SINGH; HELDMAN, 2001).

2.4.1.3 Calor específico do ar seco

À pressão de 1 atm (101,325 kPa), o calor específico do ar seco c_{pa} à faixa de temperatura de -40 a 60°C pode ser usado variando entre 0,997 e 1,022 (kJ/ kG K). Para a maioria dos cálculos um valor de 1,005 (kJ/ kG K) pode ser usado (SINGH; HELDMAN, 2001).

2.4.1.4 Entalpia do ar seco

Entalpia, conteúdo de calor do ar seco, é um termo relativo e requer a seleção de um ponto de referência. Em cálculos de psicrometria, a pressão de referência é selecionada como a pressão atmosférica e a temperatura de referência é 0°C. O uso da pressão atmosférica como referência permite o uso da Equação (2) para determinar a entalpia específica:

$$H_a = 1,005(T_a - T_0) \quad (2)$$

Sendo H_a a entalpia do ar seco (kJ/kg); T_a a temperatura de bulbo seco (°C) e T_0 a temperatura de referência, selecionada usualmente como 0°C (SINGH; HELDMAN, 2001).

2.4.1.5 Temperatura de bulbo seco

De acordo com Singh e Heldman (2001), temperatura de bulbo seco é a temperatura indicada por um sensor comum. Caso seja usado o termo temperatura sem nenhuma especificação, deve se entender como sendo a temperatura de bulbo seco.

2.4.2 Propriedades do ar úmido

Segundo ASHRAE (1985), citado por Finzer (1998), ar úmido é uma mistura binária de ar seco com vapor de água. A quantidade de água no ar úmido varia de zero (ar seco) até um máximo que depende da temperatura e da pressão. A última condição é denominada de saturação e corresponde a um estado de equilíbrio entre o ar úmido e a água em estado condensado (líquido ou sólido).

2.4.2.1 Volume específico do ar úmido

Nos cálculos de umidificação, utilizando-se conceitos de psicrometria, freqüentemente necessita-se conhecer o volume específico de misturas ar-vapor de água, usando como base de cálculo 1 kg de ar seco. Aplicando-se a lei dos gases perfeitos obtém-se a Equação (3) (TREYBAL, 1981).

$$V = \left[\frac{W}{M_v} + \frac{1}{M_a} \right] \frac{RT}{P} \quad (3)$$

Sendo M_v e M_a os pesos moleculares do vapor de água e do ar, respectivamente; T a temperatura (K); P a pressão em N/m^2 ; R a constante dos gases, sendo igual a 8314,41 J/kmol K no sistema internacional e W a umidade absoluta do ar.

2.4.2.2 Calor específico do ar úmido

O calor específico do ar úmido, conforme Equação (4), é igual à soma do calor específico do ar seco mais a parcela correspondente ao vapor de água que está misturado com o ar, ou seja (ASHRAE, 1985, citado por FINZER, 1998).

$$C = C_{pa} + C_{p_{\text{água}}} \cdot W \quad (4)$$

2.4.2.3 Entalpia do ar úmido

A entalpia é uma função termodinâmica e a Equação (5) define a expressão matemática (SMITH; VAN NESS, et al., 2000).

$$H = U + PV \quad (5)$$

Onde U é a energia interna; P é a pressão absoluta e V o volume. A entalpia possui unidades de energia e geralmente expressa em energia por unidade de massa.

Em psicrometria, a entalpia do ar úmido, aqui representada por H é relacionada à unidade de massa de ar seco, portanto à massa de (1+W) kg de gás úmido. Em uma mistura de gases perfeitos, a entalpia da mistura é igual à soma das entalpias individuais dos componentes. Assim, a entalpia do ar úmido é obtida pela entalpia do ar seco (H_a), com a entalpia da umidade contida no ar (H_v), como mostrado pela Equação (6) (ASHRAE, 1985, citado por FINZER, 1998).

$$H = H_a + W.H_v \quad (6)$$

A entalpia do ar seco (por unidade de massa), dada pela Equação (7), é obtida pelo produto do calor específico do ar seco (c_{pa}) por uma diferença de temperatura, que é igual a temperatura do ar T_g menos uma temperatura de referência, geralmente escolhida como 0°C (ASHRAE, 1985, citado por FINZER, 1998).

$$H_a = c_{pa}.T_g \quad (7)$$

Como estado de referência para o vapor de água, utiliza-se o estado líquido e a temperatura de referência de 0°C, assim na entalpia do vapor (H_v) deve-se incluir a variação de entalpia requerida para promover a mudança de estado líquido para o vapor (ΔH), ou também denominado de calor latente de vaporização. A Equação (8) permite quantificar esta entalpia (ASHRAE, 1985, citado por FINZER, 1998).

$$H_v = c_v.T_v + \Delta H \quad (8)$$

Sendo c_v o calor específico do vapor de água, no sistema internacional sendo expresso por (J/kg °C).

Substituindo as equações e os valores médios para os calores específicos do ar seco e do vapor de água, pois os mesmos apresentam uma variação com a temperatura, e substituindo a entalpia de vaporização da água na temperatura de 0°C, tem-se a Equação (9) (ASHRAE, 1985, citado por FINZER, 1998).

$$H = 1.005T + (2501 + 1.805T)W \quad (\text{KJ/Kg}_{\text{ar seco}}) \quad (9)$$

2.4.2.4 Temperatura de bulbo úmido

A temperatura de bulbo úmido é a temperatura em estado estacionário atingida por uma pequena porção de líquido, água embebida em uma mecha, que evapora em uma grande quantidade de ar úmido não saturado. A pressão do vapor de água na superfície da água líquida será maior do que a pressão parcial do vapor no interior do ar (se o mesmo não estiver saturado) e a água evapora e escoa para o interior do ar. O ar ao escoar sobre a água, tende à saturação junto à interface (ar – mecha umedecida). Para que isto aconteça, é necessário que uma quantidade de calor, correspondente ao calor latente de vaporização da água, seja transferida para a água da mecha, em forma de calor sensível do ar. Como consequência, a camada de ar, em contato com o termômetro, esfria-se até uma temperatura tanto mais baixa quanto mais intensa for a evaporação, o que depende de quanto o ar esteja afastado da saturação. A água que umedece a mecha tende a adquirir a mesma temperatura. Se a velocidade do ar for elevada e a área de contato entre o ar e a água da mecha for pequena, não haverá mudança significativa na temperatura ou na umidade da corrente gasosa. A temperatura atingida pela água retida na mecha é a temperatura de bulbo úmido do ar (T_w) (ASHRAE, 1985, citado por FINZER, 1998).

2.4.3 Umidade absoluta

A umidade absoluta, representada por W , é a razão entre a massa de vapor de água e a massa de ar seco, contidos em uma mistura de ar úmido. A massa de vapor de água pode ser expressa pelo produto do número de moles pelo peso molecular da água ($n_v.M_v$), do mesmo modo a massa de ar seco ($n_a.M_a$).

Além disso, utilizando a lei dos gases perfeitos, os números de moles podem ser expresso por:

$$n_v = \frac{P_v \cdot V}{R \cdot T} \quad (10)$$

$$n_a = \frac{P_a \cdot V}{R \cdot T} \quad (11)$$

Combinando as equações e substituindo os valores dos pesos moleculares do ar e do vapor de água, tem-se a Equação (12) (ASHRAE, 1985, citado por FINZER, 1998).

$$W = 0.62198 \left(\frac{P_v}{P - P_v} \right) \quad (12)$$

2.4.4 Umidade relativa

A umidade relativa é a relação entre a fração molar do vapor de água existente em uma amostra de ar úmido e a fração molar do vapor de água em uma amostra de ar saturado, em uma mesma temperatura e pressão (ASHRAE, 1985, citado por FINZER, 1998).

2.4.5 Cartas psicrométricas

As propriedades psicrométricas do ar, podem ser representadas em forma gráfica nas chamadas cartas psicrométricas. Uma destas cartas vale para um componente não condensável e um componente condensável (no caso atual o ar e a água respectivamente), para uma pressão total fixa. Portanto, uma carta psicrométrica para o sistema ar-água não pode ser utilizada para um sistema nitrogênio-etanol, por exemplo. A carta psicrométrica fornece informações sobre: umidade absoluta e relativa, entalpia e volume específico em função dos parâmetros que podem ser medidos com facilidade, como as temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido (ASHRAE, 1985, citado por FINZER, 1998).

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Material

3.1.1 Matéria Prima

Utilizaram-se folhas de Nim provenientes de árvores cultivadas na Fazenda Santa Marta, situada em Uberaba, Minas Gerais, localizada a 19°45'27'' latitude sul e 47°55'36'' longitude oeste. A Figura 3.1 apresenta uma vista do bosque de Nim.



Figura 3.1. Vista do bosque de Nim da Fazenda Santa Marta – Uberaba - MG

A colheita das folhas foi efetuada manualmente, com auxílio de uma tesoura de poda, selecionando ramos com diâmetro do talo inferior a um centímetro, visando adequar o material ao equipamento utilizado. A colheita foi realizada nas primeiras horas da manhã, três a quatro dias da semana, em dias de sol.

A matéria prima foi transportada, em caixas perfuradas, para a Unidade Industrial de Processamento de Vegetais (UIP Vegetais) da Faculdades Associadas de Uberaba – FAZU,

onde os testes experimentais foram realizados. A embalagem com as folhas chegava às dependências da unidade de processamento em aproximadamente duas horas após a colheita.

3.1.2 Equipamentos

Os ensaios experimentais foram realizados em um inativador enzimático-sapegador e um secador de bandejas utilizando ar aquecido.

O desenho ilustrativo 3.2 e a Figura 3.3 consistem em vistas, do sapecador experimental utilizado, o qual foi confeccionado similarmente ao utilizado por Vadulga (2001). Na Figura 3.2: **A** corresponde ao corpo do inativador enzimático; **B** consiste em uma janela de alimentação e descarga, sendo as dimensões da janela: 0,35 m x 0,12 m. O deslocamento da janela é efetuado com uma alça metálica; **C** é um cilindro rotativo, que possui diâmetro de 0,35 m e comprimento de 0,50 m, confeccionado com chapa de aço inoxidável com espessura de 0,0015 m. As perfurações possuem diâmetro de 0,011 m, formada por 27 filas de furos, contendo treze perfurações por fila e o passo quadrado entre furos de 0,04 m; **D** é o sistema de acionamento mecânico do cilindro de sapeco, formado por um moto-redutor, motor de 373W, com possibilidade de variação de velocidade por ação de um inversor de frequência; **E** é a tubulação de alimentação de gás (GLP), proveniente de seis queimadores que possuem diâmetro de descarga de gás de 10^{-2} m; **F** são suportes do sapecador.

No interior do cilindro rotativo foram fixadas aletas suspensórias com largura de 0,5 m e altura de 0,15 m, com a função de transportar os ramos à determinada altura, deslocando-se sob ação gravitacional.

Após a inativação enzimática os ramos eram retirados manualmente do interior do inativador.

A secagem, logo após a inativação enzimática, foi realizada em secador tipo Pardal, mostrado na Figura 3.4, constituído por sete bandejas de 0,5 x 0,8 m, confeccionadas em polietileno de alta densidade, com perfurações mesh 10 e bordas em aço inox. Apresenta dimensões externas de (0,78 x 0,50 x 0,90) m, e altura total com os pés de 1,54 m. Opera a 220V com potência de motor de 0,8 kW. O ar é aquecido por resistência elétrica e circula por toda a câmara de secagem, que é revestida em alumínio.

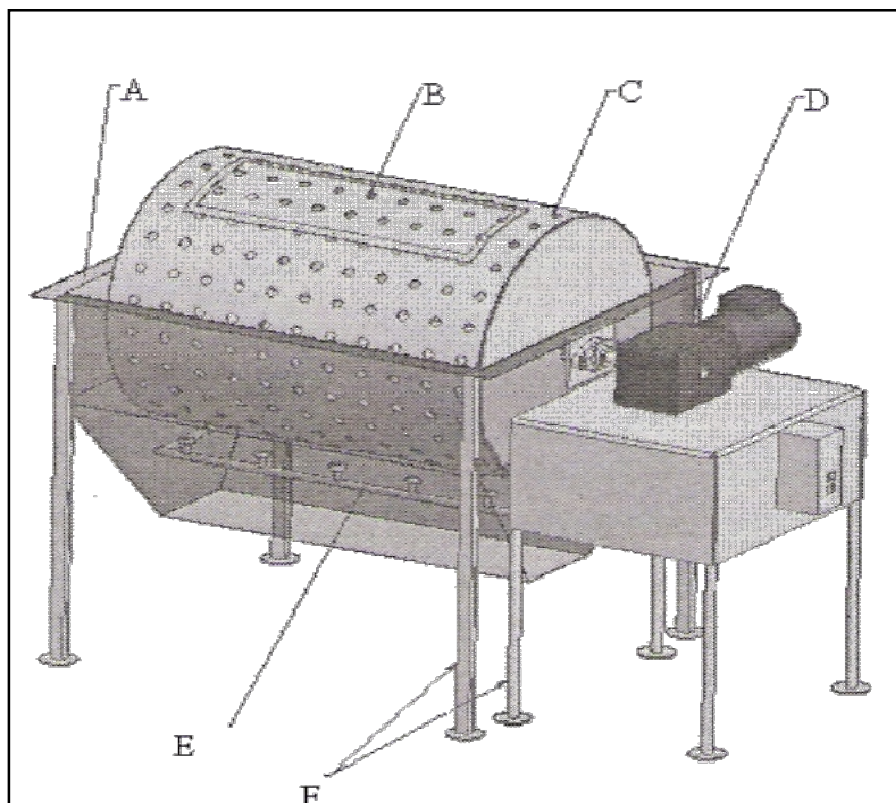


Figura 3.2. Desenho ilustrativo do sapecador experimental

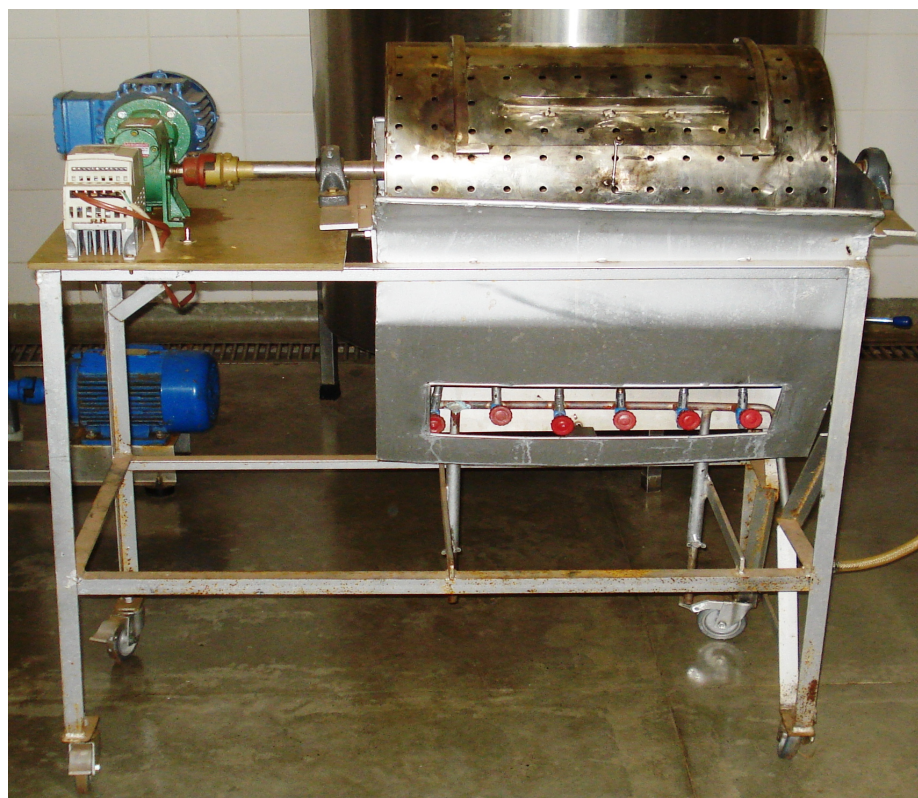


Figura 3.3. Vista do sapecador experimental



Figura 3.4. Vista do secador e das bandejas.

Para obtenção dos dados experimentais, utilizou-se uma balança da marca Marte, com resolução de 200 mg com capacidade de 5000 g, termômetros de mercúrio, marca Incoterm, com resolução de 1°C, um medidor laser de temperatura Raytec Ranger, e programa computacional para confecção das curvas de inativação enzimática e secagem.

Para quantificação da umidade das folhas *in natura* utilizou-se estufa convencional, vidro de relógio e balança Marte com resolução 0,01g. As amostras foram dispostas sobre vidro de relógio com diâmetro de 0,12 m.

3.2 Método Experimental

O procedimento experimental da pesquisa seguiu as etapas apresentadas na Figura 3.5, sendo: colheita das folhas; recepção e classificação; inativação enzimática (sapeco); secagem; trituração e embalagem.



Figura 3.5. Diagrama de blocos do processamento de folhas de Nim

3.2.1 Análise de umidade das folhas *in natura*

Utilizou-se o método gravimétrico convencional, descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (1985), para determinação da umidade inicial da folha de Nim *in natura*. O método tem como base a perda de massa da amostra, por dessecação, até massa constante.

Uma amostra, de massa conhecida, foi submetida a estufa de secagem à 105°C, até massa constante, e o teor de sólidos calculado utilizando a Equação (13).

$$\%umidade = 100 - [(m' - t)/(m - t) \cdot 100] \quad (13)$$

Sendo m a massa total do sistema (vidraria mais amostra) no início do processo, m' a massa total do sistema (vidraria mais amostra) no final do processo, t a massa da vidraria utilizada e 100 o fator percentual.

3.2.2 Preparo da amostra a ser submetida à inativação enzimática e secagem

As amostras de folhas de Nim foram classificadas separando-se as partes danificadas e materiais estranhos encontrados. As mesmas foram selecionadas segundo as características desejáveis para processamento: folhas inteiras, com ramos e de cor verde oliva, sem pontos escuros.

Os ramos com folhas apresentaram valores médios de 25 cm de comprimento, medidos da extremidade inferior do ramo até o topo, com quantidade média de treze folhas por ramo.

3.2.3 Inativação Enzimática

A inativação enzimática das folhas foi efetuada logo após a seleção e quantificação da massa, e teve como objetivos a inativação das enzimas que causam oxidação do produto e a retirada parcial da umidade. O processo foi efetuado com rapidez evitando que as folhas se tornassem escuras, inadequadas como produto.

As amostras, após serem classificadas foram adicionadas, manualmente, no interior do cilindro através da abertura da janela de alimentação apresentada na Figura 3.6.

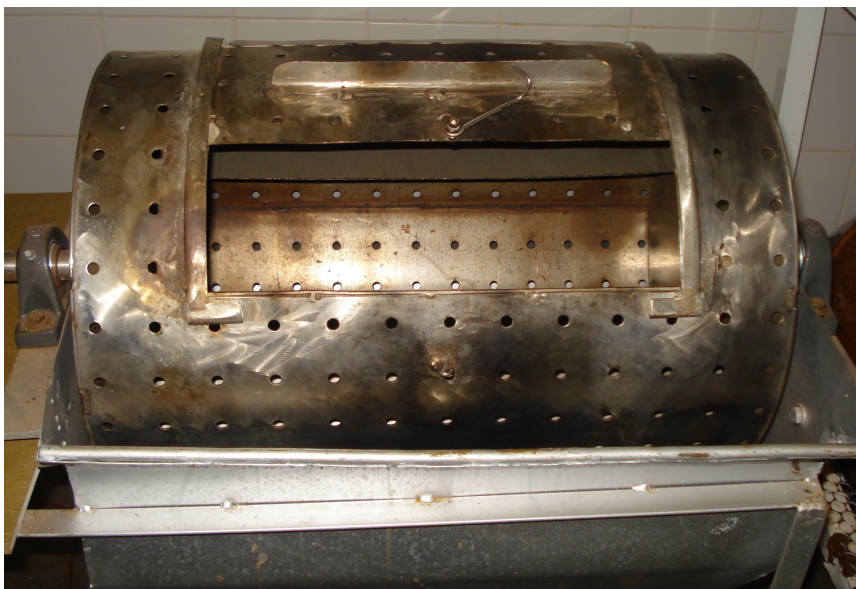


Figura 3.6. Vista interna do cilindro rotativo utilizado para a etapa de inativação enzimática

Concluída a alimentação, a janela era fechada e a chave de partida do motor acionada, iniciando assim a rotação do cilindro, conforme a velocidade desejada, medida em rotações por minuto.

A inativação enzimática foi realizada promovendo o contato direto das folhas de Nim com os gases quentes proveniente da queima de gás liquefeito de petróleo (GLP), em seis bicos queimadores distribuídos uniformemente abaixo do sapecador, distando o topo dos mesmos de 9,5 cm do fundo do sapecador. A válvula de gás era aberta e os queimadores acionados utilizando-se um bastão com extremidade contendo um chumaço de algodão embebido em álcool em chamas. Nesta etapa iniciava-se a medida do tempo de sapeco.

As folhas inativadas foram retiradas do cilindro com o auxílio de uma pinça metálica e utilização de luvas de raspas de couro para proteção das mãos contra o calor excessivo.

O parâmetro de controle para quantificar a eficiência da operação de sapeco foi a cor final da folha, a qual deveria ser próxima da natural, verde oliva, apresentando aspecto quebradiço e ainda, a realização de teste para peroxidase, uma vez que é a enzima de maior resistência e, estando a mesma inativada outras enzimas também estariam (AYLWARD, HAISMAN, 1969).

3.2.3.1 Teste para Peroxidase

Para realização do teste que detecta a presença da enzima peroxidase, homogeneizou-se, em um triturador do tipo facas, uma porção da amostra em água, efetuando-se em seguida a filtração desse material. Transferiu-se 2 mL do filtrado para um tubo de ensaio contendo 20 mL de água e adicionou-se 1 mL de solução de guaiacol 0,5%. Em seguida, adicionou-se 5 gotas de água oxigenada 0,3% (ARAÚJO, 1999).

O teste em branco foi preparado contendo os mesmos ingredientes, exceto água oxigenada.

Observou-se, após três minutos, se houve mudanças na coloração, sendo definido como (P) positivo para cor marrom avermelhada e (N) como negativo caso a cor original tivesse sido mantida.

3.2.4 Secagem

A massa de folhas de Nim resultante da operação de inativação foi distribuída nas bandejas do secador.

Dois recipientes em alumínio, com 7,5 cm de diâmetro cada, eram dispostos sobre a bandeja, permitindo o fácil manuseio da amostra representativa para quantificação da massa.

O monitoramento dos ensaios foi efetuado determinando-se a variação da massa das amostras com o tempo, em intervalos de 15 min para os três primeiros pontos e em intervalos

de 25 min até o final da pesagem. O experimento foi realizado em triplicata e os valores médios resultantes utilizados nos cálculos.

As condições operacionais nesta etapa foram: velocidade superficial média do ar de secagem de 0,55 m/s, quantificada com um anemômetro de fio quente marca Impac, com escala de velocidade de 0,2 a 20 m/s e temperatura de 60°C para todas as amostras submetidas anteriormente à inativação enzimática.

3.2.5 Trituração e Envase

A trituração das folhas de Nim desidratadas foi realizada utilizando-se de um triturador tipo faca, marca Metvisa, que dispõe de um sistema de lâminas que efetua uma ação de corte das partículas. A operação teve como objetivo reduzir o tamanho das partículas do produto, para uniformização da distribuição granulométrica e facilitar o armazenamento.

Utilizou-se um agitador de peneiras, modelo RO-TAP para classificar as partículas por tamanho. Foram padronizadas amostras de 200 g cada e peneiradas por um tempo de 15 min. Utilizou-se um conjunto de peneiras com 60, 80, 100, 120, 140, 170, 200 mesh da série Tyler, com aberturas de 0,25; 0,18; 0,149; 0,125; 0,106; 0,090 e 0,074 mm, respectivamente, e o fundo (base). Em seguida, quantificou-se a massa retida em cada peneira e no fundo, apresentando-as em porcentagens (GERMANI et. al., 1997).

O material seco e triturado foi acondicionado em embalagens de polietileno, para armazenagem. Por ser um produto com baixa atividade de água, o mesmo pôde ser estocado à temperatura ambiente, protegido de umidade.

3.2.6 Contração das folhas de Nim

Durante o processamento das folhas de Nim pôde-se observar o encolhimento das mesmas à medida que perdia umidade. Isto se deve ao encolhimento do tecido celular das folhas, observado também por Valduga (2001) para o processamento de folhas de erva mate.

Para analisar o encolhimento das folhas de Nim utilizou-se método descrito por Valduga e Finzer (2008) que consiste em retirar vinte folhas da árvore, de forma aleatória, e dispô-las no interior de uma estufa mantida à 60°C. Cada folha foi previamente marcada, para identificá-la durante o processamento, e a sua massa quantificada.

Antecedendo o processamento, cada folha teve o contorno de sua superfície desenhada em folha de papel. A folha A4 de papel *sulfite* possui, em média, área de 624 cm², em um lado da folha, com massa média de 4,82 gramas por folha. Periodicamente, efetuou-se a retirada de folhas de Nim do interior da estufa, repetindo-se o procedimento anterior, ou

seja, efetuando o contorno das folhas de Nim em uma outra folha de papel sulfite. Assim, cada folha teria duas representações sobre a superfície de papel. As mesmas foram recortadas com uso de tesoura, e suas áreas quantificadas por proporcionalidade entre as massas individuais das folhas de Nim com a folha de papel. Determinou-se assim, a área da superfície das folhas antes e após o processamento.

3.2.7 Transferência de calor no sapeco

Durante o sapeco as folhas de Nim perdem umidade. O fluxo de calor recebido pelas folhas pôde ser quantificado pela Equação (14).

$$q = \left(\frac{S \cdot \lambda}{A} \right) \cdot \frac{dX}{dt} \quad (14)$$

Onde S é a massa de Nim seco, λ é o calor latente de vaporização da água, A é a área da superfície de troca de calor das folhas e $(-dX/dt)$ é a taxa de secagem.

A partir da Equação (15) pôde-se relacionar o calor absorvido pelas folhas com o coeficiente de transferência de calor, h:

$$q = h(T_g - T_s) \quad (15)$$

Onde T_g é a temperatura dos gases e T_s a temperatura da superfície das folhas.

Da igualdade das equações obtém-se a Equação (16), para determinação do coeficiente convectivo de transferência de calor.

$$h = \frac{S \cdot \lambda}{A} \cdot \left(\frac{-dX}{dt} \right) (T_g - T_s) \quad (16)$$

Onde S é a massa de folhas secas de Nim, λ é a entalpia de vaporização da água na temperatura da superfície da folha, $(-dX/dt)$ é a taxa de secagem, A é a área da superfície de transferência de calor, T_g é a temperatura dos gases e T_s é a temperatura da superfície da folha.

A temperatura das folhas foi quantificada utilizando-se um medidor laser de temperatura (Raytec-Ranger ST).

Utilizando os dados obtidos na redução de umidade das folhas ao longo do tempo de sapeco e o calor latente de vaporização, calculou-se o coeficiente convectivo de transferência de calor.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise de Umidade das folhas *in natura*

Foi empregado o método da estufa onde se utilizou 3g de folhas *in natura*.

Após 260 min o conjunto recipiente – amostra apresentou massa constante, caracterizando o final da desidratação.

Os valores obtidos na análise de umidade inicial das folhas de Nim *in natura* são apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Valores das massas do conjunto recipiente – amostra em função do tempo

Tempo (minutos)	Massa do Recipiente (g) + Massa do Sólido (g)
0	42,04
20	41,96
40	41,89
60	41,72
80	41,44
100	41,36
120	40,81
140	40,12
160	39,88
180	39,64
200	39,48
230	39,39
260	39,39

Utilizando a Equação (13), pôde-se calcular a umidade das folhas de Nim *in natura*, valor este necessário para a confecção das curvas de inativação enzimática.

$$\%umidade = 100 - [(m' - t)/(m - t)100]$$

Sendo $m' = 39,39$; $t = 39,04$ e $m = 42,04$. Portanto:

$$\%umidade = 100 - [(39,39 - 39,04)/(42,04 - 39,04)100] = 88,33\%$$

Com o conteúdo de umidade de 88,33% (b.u), a massa total de 3g da amostra continha, em média, 2,6499g em massa de água e 0,3501g, na forma de sólido seco.

4.2 Testes Preliminares - Sapeco

Foram realizados testes preliminares com o objetivo de se ter uma visão do desempenho do inativador enzimático, variando-se a rotação do cilindro do inativador e o tempo de operação.

Estabeleceu-se, inicialmente, como condições de operação amostras com massa de 200g cada, tempo de inativação enzimática de 5 min, com intervalos de 1 a 1 minuto e a mínima rotação proporcionada pelo inversor de frequência, 90 rpm, aumento-a a cada novo experimento. Após cada intervalo de tempo iniciava-se nova amostra. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.2. Nesta etapa da pesquisa objetivou-se avaliar apenas a termorresistência da enzima peroxidase, tendo sido classificados os resultados como **P** para positivo e **N** para negativo, conforme descrito no item 3.2.3.1.

Considerando amostras com mesma massa de folhas de Nim, observou-se que com o aumento da rotação do cilindro de 90 rpm para 105 rpm obteve-se diferença no resultado para a operação realizada durante cinco minutos ininterruptos. A diferença foi constatada através da inativação da enzima peroxidase para o sapeco realizado a 105 rpm.

Em novo experimento, prosseguiu-se o aumento da rotação do cilindro para 150 rpm obtendo-se os mesmos resultados da operação realizada a 105 rpm e 90 rpm, ou seja, aos 5 minutos foi constatada a inativação enzimática.

Tabela 4.2. Resultados do teste para peroxidase em amostras submetidas ao sapeco

Rotação (rpm)	Tempo de Operação (min)	Teste para Peroxidase P: positivo N: negativo
90	1	P
90	2	P
90	3	P
90	4	P
90	5	P
105	1	P
105	2	P
105	3	P
105	4	P
105	5	N
150	2	P
150	3	P
150	4	P
150	5	N
200,1	2	P
200,1	3	P
200,1	4	N
200,1	5	N
250,2	2	P
250,2	3	P
250,2	4	P
250,2	5	N

Na operação em que a rotação do cilindro foi estabelecida em 200,1 rpm, quantificou-se que aos quatro minutos a enzima peroxidase já havia sido inativada. Observou-se o mesmo comportamento quando a operação durou cinco minutos.

Em virtude do comportamento obtido para 200,1 rpm avaliou-se um novo aumento da rotação do cilindro para 250,2 rpm. Com o acréscimo, a inativação enzimática voltou a apresentar os mesmos resultados apresentados nos experimentos realizados a 105 e 150 rpm por cinco minutos.

Esses resultados preliminares mostram que ao operar com rotação de maior intensidade, as folhas provavelmente não se movimentam o suficiente, dentro do cilindro do inativador, para estabelecer o contato com a chama ou gases quentes.

Nos testes realizados a partir de 150 rpm não foram incluídas análises operando a um minuto, visto que este tempo foi considerado insuficiente para a inativação enzimática da peroxidase presente nas folhas de Nim.

4.3 Inativação Enzimática

A Tabela 4.3 indica o desempenho do inativador enzimático, considerando as características das folhas após sapeco e os resultados do teste para peroxidase.

A operação de inativação enzimática realizada à 90 rpm, por cinco minutos, com massa variando entre 200 e 300g, não proporcionou resultados satisfatórios para os parâmetros de controle estabelecidos, tendo sido observado o escurecimento das folhas com o aumento da massa.

Ao operar com rotação a 105 rpm, aumentando a carga de folhas de Nim, além de 200g, não ocorreu a inativação enzimática, mesmo com o aumento do tempo de cinco para seis minutos de operação.

A 150 rpm, operando por cinco minutos, confirmou-se o resultado apresentado na Tabela 4.2, tendo sido obtido resultado satisfatório para a inativação enzimática. Os ramos e folhas, por sua vez, apresentaram alta umidade após processamento.

Para a rotação do cilindro estabelecida em 200,1 rpm obteve-se resultado negativo para a enzima peroxidase aos quatro e cinco minutos de operação. No entanto, aos quatro

minutos os ramos e folhas apresentavam alta umidade se comparado ao valor obtido para o processamento realizado em cinco minutos. Aos cinco minutos a umidade das 200g de folhas de Nim, em base úmida, reduziu-se aproximadamente 51% se comparada ao valor obtido aos quatro minutos.

Ao operar a 250,2 rpm, por cinco minutos, o resultado de inativação enzimática foi negativo, porém as características das folhas não foram adequadas, tendo as mesmas apresentado vários pontos enegrecidos.

Considerando como parâmetros de controle da operação as características das folhas após sapeco e os resultados do teste para peroxidase, concluiu-se que o processamento da massa de 200g de folhas de Nim apresenta melhores resultados com o cilindro operando a 200,1 rpm por cinco minutos, possibilitando folhas cor verde oliva e parcialmente quebradiças, o que facilita o processamento posterior, sobretudo a trituração para uniformizar o produto.

Na Tabela 4.4 indicam-se os resultados do sapeco de folhas de Nim, utilizando em média 200 gramas de folhas em cada ensaio, operando à rotação de 200,1 rpm, entre um e cinco minutos. A umidade média inicial das folhas processadas foi de 88,33%, em base úmida.

Os resultados são indicados na Figura 4.1, por meio da curva de inativação enzimática.

Após cinco minutos de processamento o conteúdo final de umidade foi de 0,33 kg H₂O/kg de nim seco (24,81% em base úmida). Notou-se uma considerável redução do conteúdo de umidade aumentando em um minuto a operação de sapeco, tendo sido obtida umidade final de 50,98% (bu) operando por quatro minutos e 24,81% por cinco minutos.

O aumento da rotação de 200,1 rpm para 250,2 rpm também proporcionou uma redução expressiva no conteúdo de umidade, tendo sido de 24,81 para 18,7% (bu), operando por cinco minutos, conforme mostrado na Figura 4.2. Contudo, o custo de energia é maior operando à maior rotação, e a qualidade das folhas inativadas reduziu-se, devido a ocorrência de início de combustão de folhas.

Tabela 4.3. Desempenho do inativador enzimático

Rotação (rpm)	Tempo (min)	Massa inicial (g)	Massa após sapeco (g)	Conteúdo de umidade final das folhas X (kg H₂O/kg folha seca)	Umidade Final (bu) (%)	Características dos ramos e folhas após sapeco	Teste para peroxidase P: positivo N: negativo
90	5	200	99,32	3,255	76,5	Ramos e folhas amolecidos	P
90	5	220	118,21	3,605	78,28	Ramos e folhas amolecidos	P
90	5	240	121,78	3,35	77,01	Ramos e folhas amolecidos e folhas com manchas escuras	P
90	5	250	123,64	3,23	76,36	Ramos e folhas amolecidos e folhas com manchas escuras	P
90	5	300	149,87	3,28	76,63	Ramos e folhas amolecidos e folhas bem escuras	P
105	5	200	89,84	2,85	74,02	Ramos e folhas amolecidos	N
105	6	240	94,61	2,38	70,41	Ramos e folhas amolecidos	P
105	6	250	95,68	2,28	69,51	Ramos e folhas amolecidos	P
150	5	200	62,55	1,67	62,55	Ramos e folhas amolecidos e folhas cor verde escura	N
200,1	4	200	47,64	1,04	50,98	Folhas cor verde oliva e ramos e folhas pouco quebradiços	N
200,1	5	200	30,98	0,33	24,81	Folhas cor verde oliva e ramos e folhas quebradiços	N
250,2	5	200	28,76	0,23	18,7	Folhas e ramos quebradiços apresentando pontos enegrecidos (queimados)	N

Tabela 4.4. Resultados do sapeco realizado à 200,1 rpm

Tempo (min)	Massa Inicial (g)	Massa após Sapeco (g)	Conteúdo de umidade final X (kg H ₂ O/kg folha seca)
1	200	125,18	4,36
2	200	100,29	3,29
3	200	63,29	1,71
4	200	47,64	1,04
5	200	30,98	0,33

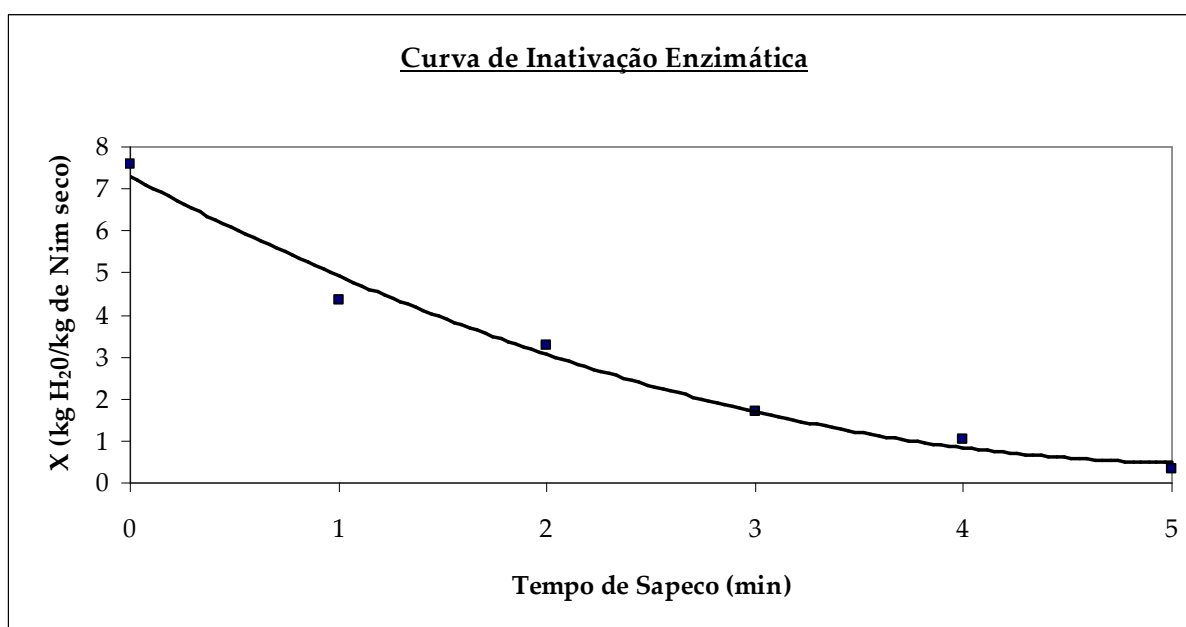


Figura 4.1. Curva de inativação enzimática (200,1 rpm)

Fica evidenciado que o processamento de folhas de Nim poderia ser otimizado prolongando-se o tempo de sapeco ou aumentando-se a rotação do cilindro, até que o ajuste adequado proporcionasse o conteúdo de umidade menor que 5%, eliminando desta forma a etapa de secagem. Com o sapeco prolongado, a eliminação de água das folhas é bastante rápida, podendo atingir valor adequado para trituração.

No entanto, conforme observado na Tabela 4.3, a ausência total de folhas chamuscadas só é conseguida se o sapeco não for muito prolongado. Nessa condição, as folhas de Nim sapecadas teriam ainda um conteúdo de umidade final inadequado para o armazenamento. Assim, após o sapeco, deve-se efetuar a secagem em processo convectivo, utilizando-se ar aquecido como fonte de calor.

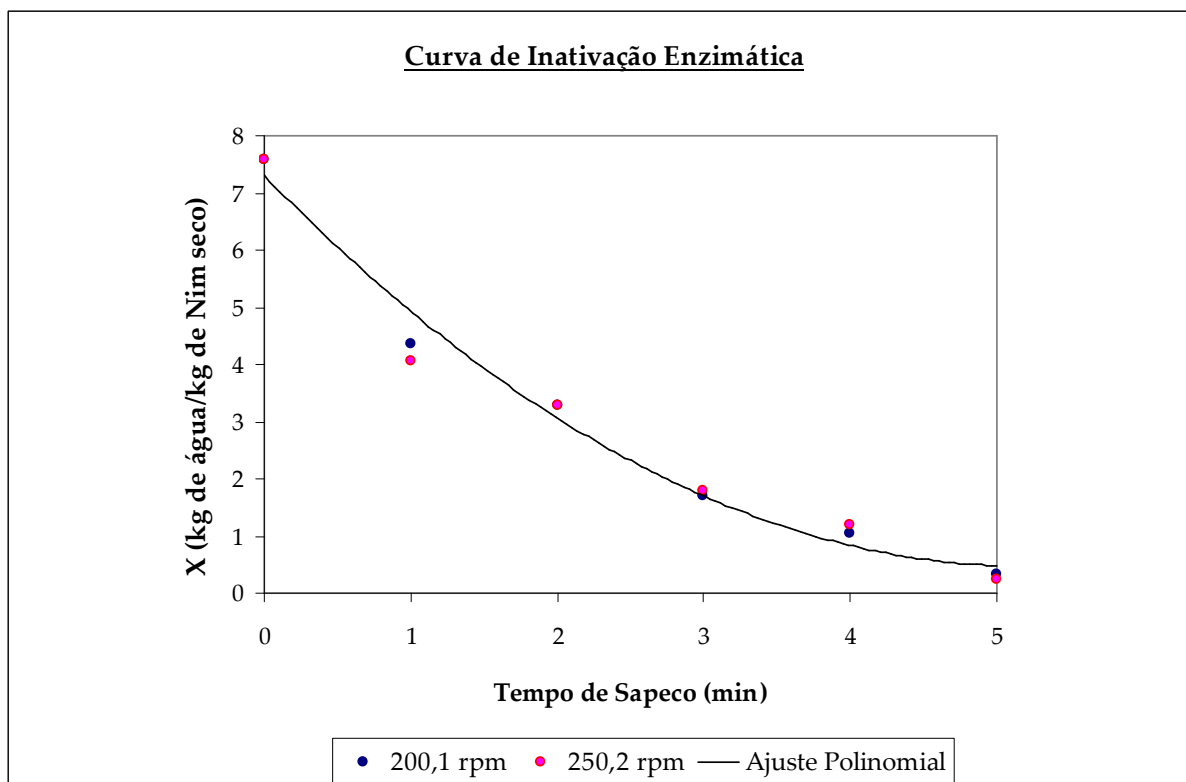


Figura 4.2. Curvas de inativação enzimática (200,1 rpm e 250,2 rpm)

O aumento da intensidade da troca de calor, com acréscimo da vazão de gás combustível, também poderia ser avaliado no sentido de determinar se este fator possibilitaria menor tempo de processamento apresentando, ao mesmo tempo, teste negativo para peroxidase e características desejadas para os ramos e folhas.

4.4 Secagem

Após a realização do sapeco das folhas de Nim, nas condições consideradas ótimas, as mesmas apresentaram conteúdo de umidade acima de 24,8%, o que não é desejável para comercialização. Desta forma, efetuou-se a etapa de secagem.

O experimento foi realizado em duplicata e os resultados médios são apresentados na Tabela 4.5.

Uma amostra média de 30,98g foi utilizada para acompanhar a secagem.

Para a confecção da curva de secagem calculou-se o conteúdo de umidade em base seca para cada ponto experimental. A curva de secagem relaciona a diminuição do conteúdo de umidade de uma determinada amostra com o tempo e está representada pela Figura 4.3.

Após 120 minutos de secagem, o conteúdo de umidade aproximou-se de 5% (base úmida), o que significa que as folhas desidratadas poderiam ser embaladas após este tempo de secagem, tendo como referência a Resolução CNNPA nº 12 de 1978 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária que estabelece o limite de 12% para chás.

O coeficiente de correlação R^2 foi de 0,9 e se aproximou de 1, o que indica que a curva ajustada aos pontos experimentais representa bem os dados obtidos.

Tabela 4.5. Valores das massas de sólido úmido em função do tempo de secagem

Tempo (minutos)	Massa de Sólido (gramas)	Umidade Final X (kg_{H2O}/kg_{folha seca})
0	30,98	0,33
15	29,67	0,27
30	28,83	0,24
45	26,54	0,14
70	25,63	0,1
95	24,91	0,07
120	24,85	0,06
140	24,74	0,06

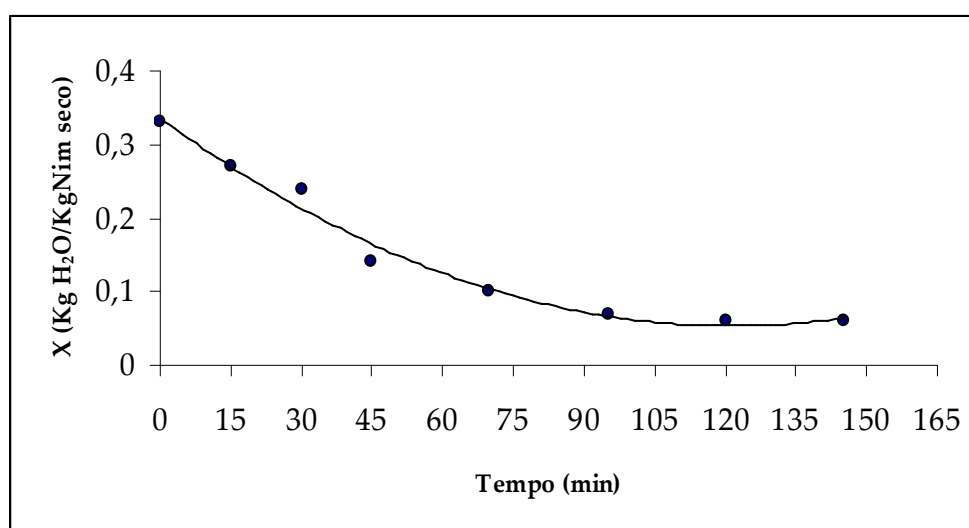


Figura 4.3. Curva de secagem das folhas previamente sapecadas

4.5 Trituração

A distribuição percentual do tamanho das partículas de folhas de Nim, após trituração, são mostradas na Tabela 4.6, sendo composta de 80,45% de partículas com tamanho menor que 0,149 milímetros (100 mesh Tyler).

Tabela 4.6. Distribuição Percentual do Tamanho das Partículas de Folhas de Nim

Mesh Tyler	Abertura (mm)	Distribuição Percentual (%)
60	0,25	0,52
80	0,18	19,03
100	0,149	5,32
120	0,125	14,48
140	0,106	18,47
170	0,090	6,18
200	0,074	14,72
Fundo (base) > 200	< 0,074	21,28

4.6 Contração das Folhas de Nim

A área média inicial de cada folha das vinte folhas de Nim processadas foi de 14,24 cm², e a massa, das vinte folhas selecionadas, de 24,26g, sendo a área específica média das folhas de Nim de:

$$\overline{A_E} = \left(\frac{14,24 \times 20}{24,26} \right) = 11,74 \text{ cm}^2 / g$$

Analisando os dados da Figura 4.4 observa-se que no conteúdo de umidade de 5,86% em base úmida ($X = 0,0623 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{Nim seco}}$) ocorreu contração superficial de 19,6% nas faces da folha.

Considerando A a área da superfície das folhas e A₀ a área inicial, verifica-se ao final do encolhimento a relação A/A₀ igual a 0,8604. Considerando A₀ = 1 cm², a contração será:

$$C = 1 - 0,86 = 0,14 \text{ cm}^2$$

Considerando um quadrado, a aresta A é igual a 0,86 cm², e o lado 0,93 cm, portanto a contração percentual linear:

$$C = \frac{(1 - 0,93)}{1} * 100 = 7\%$$

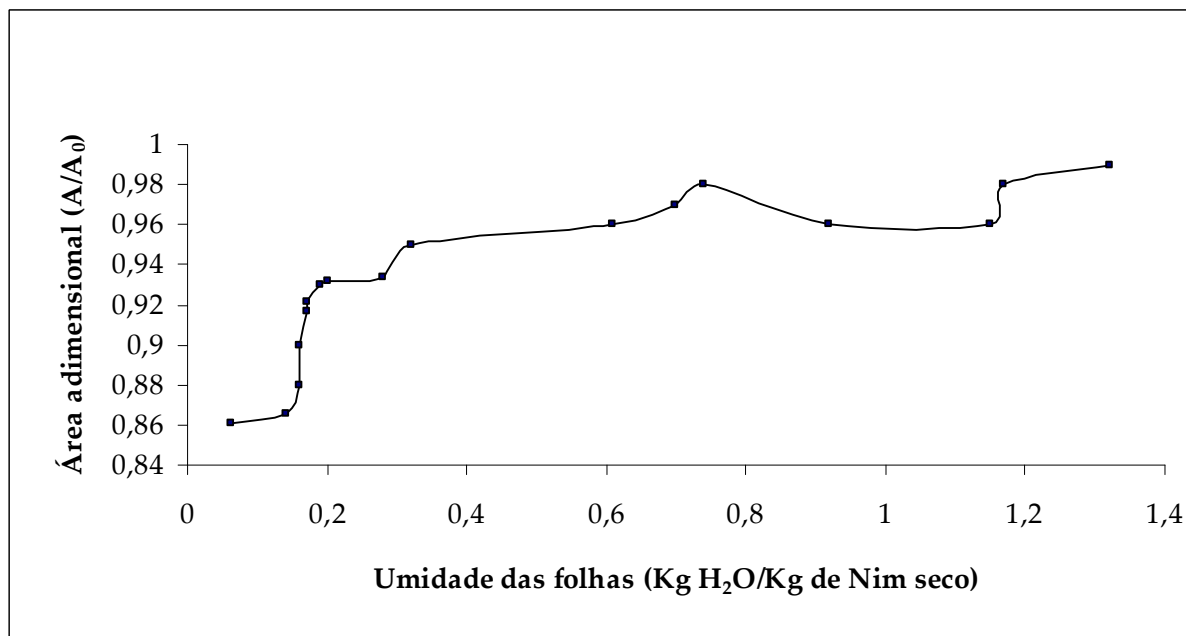


Figura 4.4. Adimensional de área em função da umidade das folhas de Nim em base seca

4.7 Transferência de calor no sapeco

Na Figura 4.1 indica-se o resultado do sapeco de Nim, utilizando em torno de 200 gramas em cada ensaio, em sapecador, operando à rotação de 200,1 rpm. Em cada ensaio utilizou-se nova amostra de folhas de Nim, variando o tempo de sapeco de 1 a 5 minutos. A Equação (17) consiste em um ajuste polinomial. Após o primeiro minuto de sapeco, ocorre aumento da taxa de sapeco, que consiste no coeficiente angular da curva. A taxa máxima ocorre até o terceiro minuto de sapeco. Após o quarto minuto de operação, a variação do coeficiente angular não é expressiva.

$$X = 0,2518.t^2 - 2,6229.t + 7,2993 \quad (17)$$

A Equação (17) foi derivada em relação ao tempo, e os valores da derivada, para tempos específicos, multiplicados pela massa de Nim seco, o que fornece as taxas de evaporação de água. A área da superfície das folhas foi determinada em função do conteúdo de umidade, utilizando a equação do adimensional A/A_0 . As taxas de evaporação de água

foram divididas pela área das folhas, obtendo-se o fluxo de água durante o sapeco. Os resultados são mostrados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7. Fluxo de água durante o sapeco

Tempo (min)	$\left(\frac{-dX}{dt}\right)S$ (g/min)	A (m ²)	Fluxo (g/m ² .s)
0	5,987	0,3862	0,2584
1	20,654	0,3801	0,9056
2	24,234	0,3752	1,0765
3	21,145	0,3624	0,9725
4	12,879	0,3621	0,5928
5	4,297	0,3602	0,1988

A temperatura média das folhas durante o sapeco é indicada na Figura 4.5. Os dados foram obtidos utilizando-se 100 gramas de Nim. Selecionou-se um tempo total de 5 minutos. Em cada experimento, em um instante pré estabelecido foram retiradas amostras de folhas e medidas suas temperaturas através da utilização do medidor laser de temperatura Raytec Ranger. A temperatura das folhas varia de 16°C, no início do processo, até 81°C, para um tempo de 5 minutos.

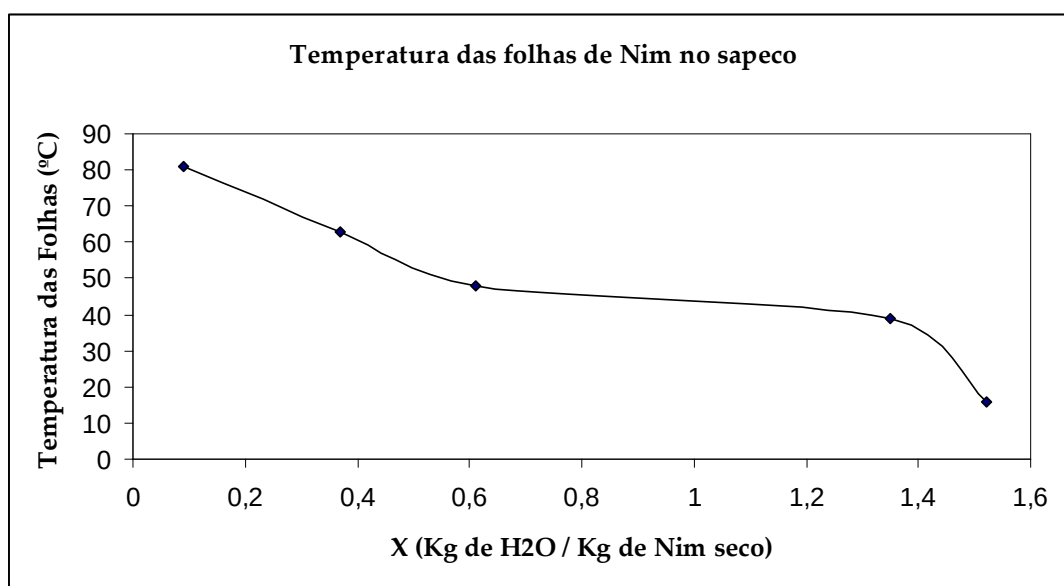


Figura 4.5. Temperatura das folhas de Nim no sapeco

A partir da Equação (16) pôde-se determinar o coeficiente convectivo de transferência de calor.

A temperatura no topo, internamente do sapecador, avaliada em 95°C, com utilização de termopar, juntamente com a temperatura de 188°C do fundo do sapecador, em uma região previamente oxidada, foi determinada com o uso de um medidor de temperatura laser e possibilitou a determinação da temperatura média aritmética dos gases (141,5°C), para quantificação do coeficiente de transferência de calor.

O calor latente de vaporização da água foi obtido em ASHRAE (1985) citado por FINZER (1998).

Os resultados, apresentados na Tabela 4.8, mostram que o coeficiente convectivo de transferência de calor, praticamente mantém-se constante durante os três minutos iniciais de realização do sapeco e no último minuto é cerca de metade do valor inicial.

Tabela 4.8. Parâmetros e valores do coeficiente convectivo de transferência de calor

T (min)	X (Kg de H₂O/Kg de Nim seco)	T_s (°C)	S.10³ (Kg)	A/A₀	h (KJ/m².min.°C)
0	1,52	16	16,67	1,00	0,589
1	1,35	39	16,67	0,99	0,552
2	0,61	48	16,67	0,96	0,497
3	0,37	63	16,67	0,91	0,328
4	0,09	81	16,67	0,88	0,314

4.8 Condições Psicrométricas

Para a etapa de secagem das folhas previamente sapecadas, obteve-se os valores das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido de ar ambiente durante todo o procedimento experimental. A Tabela 4.9 indica as temperaturas obtidas.

Tabela 4.9. Temperaturas de Bulbo Seco e Bulbo Úmido

Tempo (minutos)	Temperatura de Bulbo Seco (°C)	Temperatura de Bulbo Úmido (°C)
0	27	20
15	29	20
30	26	21
45	28	23
70	29	25
95	27	23
120	28	25

Psicrom 1.0 - Carta Psicrométrica para P_b : 92,634 kPa (Alt.: 750 m)

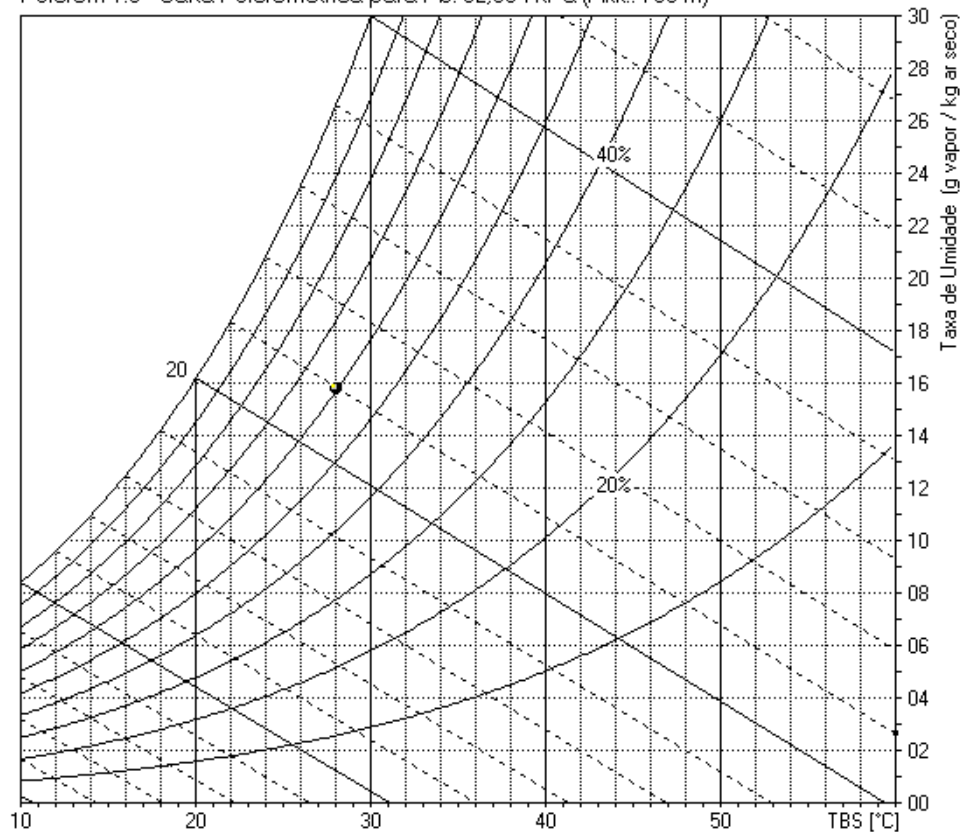


Figura 4.6. Carta psicrométrica

Obtidos os valores, fez-se a média entre os valores de T_{bs} e T_{bu} . A temperatura média de bulbo seco foi de 28°C e a temperatura média de bulbo úmido de 22°C .

Estando o ar ambiente nas condições psicrométricas apresentadas, após aquecimento em secador, até 60°C , a umidade relativa reduziu-se para 12%, conforme apresentado na Figura 4.6.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 Conclusões

- O teste realizado com o sapecador operando a 200,1 rpm, por cinco minutos, considerando massa de folhas de 200g, foi o que apresentou melhores resultados quanto à inativação enzimática e características das folhas.
- Diante do aumento da rotação do cilindro, de 200,1 rpm para 250,2 rpm, considerando tempo de inativação de quatro minutos, não ocorreu inativação enzimática, visto que ao operar com maior intensidade, as folhas não se movimentaram o suficiente no cilindro para se estabelecer o contato com a chama ou gases quentes.
- Após 5 min de processamento, com o sapecador operando a 200,1 rpm, obteve-se um conteúdo final de umidade de 24,81% em base úmida.
- O tempo de secagem de folhas de Nim, precedidas de 5 min de sapeco, foi de 120 min, operando na temperatura e velocidade média do ar de secagem de 60°C e 0,55 m/s respectivamente. Ao final da etapa de secagem as folhas apresentaram conteúdo de umidade de aproximadamente 5%, em base úmida.
- Devido à perda de umidade durante as etapas de sapeco e secagem, observou-se o encolhimento das folhas, tendo sido obtido contração superficial de 19,6% nas faces das folhas e contração linear da face de aproximadamente 7%.

5.2 Sugestões

Para trabalhos futuros sugere-se:

- Avaliar o aumento da vazão de gás combustível no sentido de determinar se este fator possibilitaria menor tempo de processamento e, ao mesmo tempo, teste negativo para peroxidase e características desejadas para os ramos e folhas.
- Avaliar o método de determinação da atividade da enzima peroxidase, o tempo de processo e as condições de estocagem de forma a impedir a regeneração da atividade enzimática.
- Avaliar e comparar o desempenho de inativadores enzimáticos (sapecadores) em diferentes escalas.
- Avaliar a influência da velocidade do ar no tempo de secagem das folhas previamente inativadas.
- Verificar o encolhimento das folhas de Nim usando o método de análise de imagem.
- Obter isotermas de equilíbrio para folhas de Nim para suporte em secagem e para controle de qualidade do produto seco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMBROSANO, E.J.; GUIRADO, N. **Cultivo e uso do Nim**. Centro de Produções Técnicas: Viçosa, MG. 2004.
- ARAÚJO, J.M.A. **Química de alimentos: teoria e prática**. 2ª ed. Viçosa. UFV, 1999. 416 p.
- AYLWARD, F., HAISMAN, D. R. Oxidation systems in fruits and vegetables - their relation to the quality of preserved products. *Advances in Food Research*, 17, 1-76. 1969.
- BOBBIO, P.A.; BOBBIO, F.O. **Química do Processamento de Alimentos**. 3ª Ed. São Paulo: Varela, 2001. p. 1-12.
- BORSATO, A.V. Secagem da camomila sob diferentes temperaturas e vazões específicas do ar. Curitiba, 2003. Dissertação de Mestrado em Produção Vegetal. Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná.
- BRASIL, 2006. Portaria nº 971 de 3 de Maio de 2006. Aprova a política nacional de práticas integrativas e complementares no sistema único de saúde. *Diário Oficial da União*, Brasília, 4 de Maio de 2006.
- BROD, F.P.R.; ALONSO, L.F.T.; PARK, K.J. Secagem de Produtos Agrícolas. XI Semana de Engenharia Agrícola da Unicamp. Campinas: Agrológica. Empresa Junior de Engenharia Agrícola. 1999, 122 p.
- BROOKER, D.B.; BAKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: AVI Book Pub., 1992, 450p.
- CALVETTE, Y.M.A. Enzimas da água de côco: caracterização da peroxidase e emprego de alta pressão hidrostática para inativação das enzimas deteriorantes. Rio de Janeiro, 2007. 207 p. Tese de doutorado em Química Biológica.
- CARAKA, S. Trad. Dash e Sharma. **Compêndio de Caraka**. Vol. I, 2007. 25 p.
- CASTRO, A.G. **A química e a reologia no processamento dos alimentos**. Mirandela, Portugal: Certa- Instituto Piaget. 295 p.
- COLLARES, F.P. (2001). Desprendimento de filmes de pastas alimentícias durante a secagem sobre superfícies de sólidos e sua relação com a transição vítrea. Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil.
- CORRÊA Jr. C., MING, LIN C., SCHEFFER, M.C. **Cultivo de plantas medicinais, condimentares e aromáticas**. 2 ed. Jaboticabal, FUNEP, 1994, 151 p.

CUNHA, F.B.R. Inativação Enzimática e Secagem de *Mentha Spicata*. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdades Associadas de Uberaba, 2005.

CUNHA, G.M.A.; ALVES, J.K.P.; JUNIOR, W.M.A.; DUARTE, W.K.C.; MAGALHAES, M.M.A. Estudo da cinética de inativação térmica da peroxidase presente na polpa de goiaba. Anais do VI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. 2005.

DITCHFIELD, C. Estudos dos métodos para a medida da atividade de água. São Paulo, 2000. 174 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química. Universidade de São Paulo.

DITCHFIELD, C., Estudo do Processamento Contínuo do Purê de Banana (*Musa cavendishii* Lamb.). **Tese de Doutorado em Engenharia Química** – Escola Politécnica, USP, São Paulo, 2004, 2 v.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de Alimentos**. 2ª Ed. São Paulo. Editora Atheneu, 2001.

FENNEMA, O.R. **Food Chemistry**. 2 ed. Hew York Marcel Dekker, Inc., 1985, 991 pp.

FERREIRA, S.H. **Medicamentos a partir de plantas medicinais no Brasil**, Rio de Janeiro, RJ: Academia Brasileira de Ciências, 1998, 142 p.

FERRETTI, A.R.; KAGEYAMA, P.Y.; ÁRBOCZ, G.F.; SANTOS, J.D.; BARROS, M.I.A.; LORZA, R.; OLIVEIRA, C. **Classificação das espécies arbóreas em grupos ecológicos para revegetação com nativas no Estado de São Paulo**. Florestar Estatístico, São Paulo, v. 3, n. 7, p. 73-77, 1995.

FINZER, J. R. D. **Psicrometria**. In: Curso de secagem, 1998, Erechim, RS. 38p. não publicado.

FOUST, A. S. et al. **Princípios das Operações Unitárias**. Trad. Horacio Macedo. 2. ed. Rio de Janeiro, R. J.: LTC, 1982. 670p.

GERMANI, R.; BENASSI, V.T.; CARVALHO, J.L.V. **Métodos de avaliação de grão e farinha de trigo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CTAA, 1997. 84 p. (EMBRAPA-CTAA, Documentos, n. 28).

HERTWIG, I.F.V. **Plantas aromáticas e medicinais**. São Paulo, Ícone. 1986.

HORNOK, L. **Primary Processing of Medicinal Plants**. In: **Cultivation and processing of medicinal plants**. Chichester: John Wley and Sons, 1992. p. 86-93.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análises de alimentos**. 3. ed. São Paulo, S. P: 1985, 332p.

LIMA, L.R. **Operações Unitárias. Secagem**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1971.

LIMA, E. D. P. A.; PASTORE, G. M.; LIMA, C. A. A. Purificação da enzima polifenoloxidase (PFO) de polpa de pinha (*Annona squamosa* L.) madura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, jan-abr, 2001.

LIVI, C.P. **Fundamentos de Fenômenos de Transporte. Um texto para Cursos Básicos.** Rio de Janeiro: LTC, 2004.

LORENZI, H.; MATOS, F.J.A. **Plantas medicinais do Brasil: nativas e exóticas.** Instituto Plantarum, Nova Odessa, 512p. 2002.

MARQUES, L.C. Entrevista a Revista Eletrônica Comciência. Disponível em <http://www.comciencia.br/reportagens/fito/fito8.htm>. Acesso em 21 set. 2008.

MARTINEZ, S.S. O Nim – **Azadirachta indica: natureza, usos múltiplos, produção.** Instituto Agrônômico do Paraná: editado por Sueli Souza Martins. Londrina: IAPAR, 2002. 142 p.

MIGUEL, M.D.; MIGUEL, G.O. **Desenvolvimento de fitoterápicos.** São Paulo: Robe, 1999. 116p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Neem: a tree for solving global problems.** Books for Business. New York, Hong Kong. 1992. 131 p.

OMS – Organización Mundial de la Salud, **Situación reglamentaria de los medicamentos** – una resenã mundial. 2000. 52 p.

PARK, K.J.; BIN, A.; BROD, F.P.R. Obtenção das isoterms de sorção e modelagem matemática para pêra Bartlett (*Pyrus* sp.) com e sem desidratação osmótica. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas-SP, v.21, n.1, p.73-77, 2001.

PARK, K.J.; BIN, A.; BROD, F.P.R. Drying of pear danjou with and without osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*, v. 56, p. 97-103, 2002.

PURI, H.S. **Neem: The divine tree – Azadirachta indica.** Medicinal and aromatic plants. Industrial Profiles. British Library Cataloguing. v. 5, 1999. 182 p.

REHDER, V.L.G.; SARTORATTO, A.; MAGALHAES, P.M.; FIGUEIRA, G.M.; MONTANARI, J.I.; LORENÇO, C.M. Teor de cumarina em mikania laevigata Shultz Bip. Em função do cultivo, colheita e secagem. Anais do XV Simpósio de Plantas Medicinais do Brasil. Águas de Lindóia, SP. 1998.

ROMERO, J. T.; GABAS, A. L.; YAMASHITA, F.; TELIS, V. R. N.; MENEGALLI, F. C. **Secagem de produtos alimentícios**, São José do Rio Preto: UNESP, 1997. p. 58.

SANTOS, C.M.R.; MENEZES, N.L.; VILLELA, F.A. Modificações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão no armazenamento. *Revista Brasileira de Sementes*. Brasília – DF, v. 27, n. 1. p. 104 – 114, 2005.

SARANTOPOULOS, C.I.G.L.; OLIVEIRA, L.M.; CANAVESI, E. **Requisitos de conservação de alimentos em embalagens flexíveis.** Campinas: CETEA / ITAL, 2001. 215 p.

SHARAPIN, N. **Fundamentos de Tecnologia de Produtos Fitoterápicos**. Santafé de Bogotá. D.C., Colômbia. Convênio Andrés Bello e Programa Iberoamericano de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento. 2000, 284 p.

SHINTANI, L.K.; TADINI, C.C.; SUGAN, A.Y. Inativação térmica da peroxidase presente no purê de manga variedade Palmer. PIC: EPUSP, v.3, 2006.

SILVA, S.R. et al. Plantas medicinais do Brasil: aspectos gerais sobre legislação e comércio. Disponível em http://www.traffic_portu.pdf. Acesso em: 3 out. 2008.

SIMÕES, C.M.O. et al. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 5ª Ed. Porto Alegre: Florianópolis. Editora UFRGS/Editora UFSC, 2004.

SINGH, K.K.; PHOGAT, S.; TOMAR, A.; DHILLON, R.S. *Neem: A Treatise*. New Delhi: I.K. International Publishing House PVT. Ltda. 2009. 539 p.

SINGH, R. P.; HELDMAN, D. R. **Introduction to food engineering**. 3. ed. London: Academic Press, 2001. 659p.

SMITH, J. M.; VAN NESS, H. C.; ABBOTT, M. M. **Introdução à termodinâmica da engenharia química**. 4. ed. Rio de Janeiro, R. J.:LTC, 2000. 697p.

SOUSA, J.A.; MIRANDA, E.M. Cultivo e mercado de plantas medicinais. Sistema Brasileiro de Respostas Técnicas. Disque Tecnologia. CECAE. USP. Disponível em <http://www2.ibama.gov.br/flora/plantasmedicinais.htm>. Acesso em: 21 set. 2008.

SOYSAL, Y.; ÖZTEKIN, S. **Equilibrium moisture content for some medicinal and aromatic plants**. Journal Agriculture Engineering Research, London, v.74, p. 317-324, 1999.

STRINGHETA, P. C. **Desidratação de Pimentas e Pimentões**. Informe Agropecuário. vl. nº 13. p79-83, 1984.

TREYBAL, R. E. **Mass transfer operations**. 3. ed. Singapore: Mc Graw Book Company, 1981. 784p.

VALDUGA, A.T. Uso sustentado e processamento de *Ilex paraguariensis* St. Hil (Erva Mate). São Carlos, 2002. 216 p. Tese de doutorado (Doutora em Ecologia e Recursos Naturais) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, UFSCar), 2002.

VALDUGA, A.T.; FINZER, J.R.D. Utilização de Recurso Natural Renovável *Ilex paraguariensis* St. Hil. Progenie Cambona – 4 – Aspectos de Transferência de Calor. Fazu em Revista (Uberaba), v. 5, p. 58-67, 2008.

VALDUGA, A.T.; FINZER, J.R.D.; MOSELE, S.H. **Processamento de Erva Mate**. Erechim, RS: Edifapes, 2003. 184 p.

VALDUGA, A.T.; BATTESTIN, V.; KRUGER, R.L.; BENINCÁ, C.; FINZER, J.R.D. Técnicas e equilíbrio sólido líquido no processamento de erva mate. Ciência e Engenharia. p. 69-78. 2001.

VICENZI, R.; BILHAUVA, A. B.; TREPTOW, R. de O. Avaliação Sensorial do suco de maçã processado com casca de arroz como coadjuvante de prensagem. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 21, n. 3, p. 257-261, 2001.

VISOTO, F.Z.; JARDIM, D.C.P. **Vida de prateleira de produtos tipo *confectionery***. Revista Tecnologia e Ambiente. Criciúma, v.6, n.2, p. 125-134, 2000.

ZAWISTOWSKI, L.; BILIADERIS, C. G.; ESKIN, N. A. M. Peroxidases and Catalases in Foods. In: ROBINSON, D. S.; ESKIN, N. A. N. Oxidative Enzymes in Foods. Elsevier Applied Science, p.217-271, 1991.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.