

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA - UFPB
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CCT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – DEAg**

**Secagem de vagens de algaroba *Prosopis juliflora* (S.W.) D.C.
em laboratório e a nível de fazenda**

Orientador: FRANCISCO DE ASSIS CARDOSO ALMEIDA

Autor: JOSÉ EUFLÁVIO DA SILVA

CAMPINA GRANDE, SETEMBRO, 1999

JOSÉ EUFLÁVIO DA SILVA

**Secagem de vagens de algaroba *Prosopis juliflora* (S.W.) D.C.
em laboratório e a nível de fazenda**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de mestre.

Área de Concentração: Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis C. Almeida – DEAg/CCT/UFPB

**CAMPINA GRANDE – PB
SETEMBRO/1999**



S586s Silva, José Euflávio da.
Secagem de vagens de algaroba *Prosopis juliflora* (S.W.)
D. C. em laboratório e a nível de fazenda / José Euflávio
da Silva. - Campina Grande, 1999.
78 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) -
Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e
Tecnologia, 1999.
"Orientação : Prof. Dr. Francisco de Assis Cardoso
Almeida".
Referências.

1. Algaroba (*Prosopis Juliflora*). 2. Algaroba - Secagem
de Vagens. 3. Armazenamento e Processamento. 4. Dissertação
- Engenharia Agrícola. I. Almeida, Francisco de Assis
Cardoso. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina
Grande (PB). III. Título

CDU 582.736.1(043)

**Secagem de vagens de algaroba *Prosopis juliflora* (S.W.) D.C.
em laboratório e a nível de fazenda**

Por

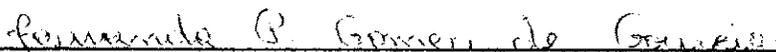
JOSÉ EUFLÁVIO DA SILVA

Dissertação aprovada em 10 de setembro de 1999

BANCA EXAMINADORA



**Prof. Dr. Francisco de Assis Cardoso Almeida - Orientador
DEAg/CCT/UEPB**



**Profa. Dra. Josivanda Palmeira Gomes de Gouveia - Examinadora
DEAg/CCT/UEPB**



**Prof. Dr. Humberto Silva - Examinador
CCBS/UEPB**

**CAMPINA GRANDE - PB
SETEMBRO/ 1999**

A Deus

Aos meus pais

Aos meus filhos, Samara e Euflávio Filho

A minha esposa Liliana

Dedico este trabalho

AGRADECIMENTOS

Ao término deste trabalho, quero expressar, de forma especial, minha gratidão a Deus, que me deu forças e perseverança em todos os momentos desta jornada.

À minha família, pelo incentivo e paciência, demonstrados em todas as etapas desse trabalho.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Professor Orientador Francisco de Assis Cardoso Almeida, pela paciente e sábia orientação, dispensada durante a realização dessa pesquisa.

Aos Professores Mário Eduardo R. M. Cavalcanti Mata e Maria Elita Duarte Braga, pelos ensinamentos dispensados durante todo o curso.

À Professora Josivanda Palmeira Gomes de Gouveia, pelos ensinamentos dos programas gráficos utilizados neste trabalho.

À Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, na pessoa do Prof. Pedro Dantas e da Secretária Rivanilda, pela disponibilidade em nos atender, sempre que precisamos desta coordenação.

Ao Professor José Leite Queiroz Filho, pela concessão das instalações do Laboratório de Análise de Alimentos, do Departamento de Zootecnia, CCA/UFPB.

Ao Zootecnista e Laboratorista, José Alves de Lima, pelo auxílio nas avaliações químicas.

À Professora Odelsia Alsina, pela concessão das instalações do Laboratório de Meios Porosos e Particulados, do Departamento de Engenharia Química, CCT/UFPB.

Ao Professor Renato Fonseca Aragão, pelas ricas informações sobre montagem da metodologia a ser trabalhada em laboratório e em campo no tocante a utilização dos equipamentos de medição.

Ao Monitor do Laboratório de Meios Porosos e Particulados, Sebastião, pelos ensinamentos, quanto ao uso correto do secador.

Aos bons amigos, Nelson, Bené e Michel, pela excelente convivência durante o período de curso.

Ao amigo João Múcio de Andrade, pelo acolhimento na cidade de Campina Grande.

À Diretoria da Cooperativa Agrícola Mista do Curimataú (COAGRO), na pessoa do Sr. Gentil Palmeira, pela concessão do espaço físico para realização deste trabalho.

De modo especial a minha esposa Liliana da Costa Silva, por seu amor e companheirismo, principalmente na educação dos nossos filhos, dando-me condições de seguir em frente na vida acadêmica.

ÍNDICE

LISTA DE TABELAS	i
LISTA DE FIGURAS	iv
RESUMO	vi
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Características da algarobeira	6
2.2. Valor nutritivo da vagem de algaroba	7
2.3. Secagem	9
2.4. Tipos de secagem	13
2.5. Efeitos da temperatura e velocidade do ar de secagem	14
2.6. Equilíbrio higroscópico	15
2.7. Secadores	18
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1. Secagem	21
3.2. Matéria-prima	21
3.3. Local do experimento	21
3.4. Secagem no secador de leito fixo em laboratório	22
3.5. Secagem no secador tipo UFV	24
3.6. Secagem natural em terreiro	26
3.7. Modelos matemáticos	27
3.8. Equilíbrio higroscópico das isotermas	28
3.9. Análises químicas	31
3.9.1. Determinação do teor de umidade e matéria seca	31
3.9.2. Proteínas	31
3.9.3. Determinação de lipídeos	32
3.9.4. Determinação de fibras	32
3.9.5. Determinação de cinzas	32
3.9.6. Determinação de açúcares	33

	ÍNDICE
	PÁGINA
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1. Secagem em secador de leito fixo com fluxo cruzado	35
4.2. Secagem realizada no secador modelo UFV	41
4.3. Secagem natural em terreiro	44
4.3. Secagem natural em terreiro	44
4.4. Componentes químicos das vagens de algaroba	51
5. CONCLUSÕES	54
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
ANEXO I	64
ANEXO II	71

LISTA DE TABELAS

	PÁGINA
Tabela 1. Variação da composição química da vagem de algaroba triturada, com base na matéria seca, segundo a literatura	8
Tabela 2. Diferentes valores de umidades relativas relacionadas as diferentes soluções de ácido sulfúrico	30
Tabela 3. Valores dos teores de umidade (% b.u.) de vagens de algaroba, obtidos em um secador de leito fixo, a temperatura de 80°C para duas velocidades do ar de secagem e quatro alturas de camadas até umidade de trituração	65
Tabela 4. Valores dos teores de umidade (% b.u.) de vagens de algaroba, obtidos em um secador de leito fixo, a temperatura de 90°C para duas velocidades do ar de secagem e quatro alturas de camadas até umidade de trituração	66
Tabela 5. Valores dos teores de umidade (% b.u.) de vagens de algaroba, obtidos em um secador de leito fixo, a temperatura de 100°C para duas velocidades do ar de secagem e quatro alturas de camadas até a umidade de trituração	67
Tabela 6. Valores dos teores de umidade (% b.u.) de vagens de algaroba, obtidos em secador de camada estacionária, a nível de fazenda, modelo UFV, com camada de 25 cm, temperatura de secagem de 90°C e velocidade do ar de secagem de 0,9 m.s ⁻¹	68

	PÁGINA
Tabela 7. Valores dos teores de umidade (% b.u.) de vagens de algaroba, obtidos em secador de camada estacionária, a nível de fazenda, modelo UFV, com camada de 25 cm, temperatura de secagem de 100°C e velocidade do ar de secagem de 0,9 m.s ⁻¹	68
Tabela 8. Valores dos teores de umidade (% b.u.) de vagens de algaroba, obtidos em um secador de leito fixo, para três temperaturas, com velocidade do ar de secagem de 1,5 m.s ⁻¹ e duas alturas de camadas até atingir a umidade de equilíbrio	69
Tabela 9. Valores dos teores de umidade (% b,u,) de vagens de algaroba em camada fina, obtidos em terreiro (secagem natural) com temperatura de secagem de 40°C	70
Tabela 10. Resultado da análise química do farelo das vagens de algaroba obtido no secador de campo	70
Tabela 11. Dados experimentais da umidade de equilíbrio das vagens de algaroba para as temperaturas de 20, 30 e 40°C	49
Tabela 12. Parâmetros de ajuste da isoterma das vagens de algaroba para as temperaturas de 20, 30 e 40°C	50
Tabela 13. Resultado da análise química das vagens secas e trituradas de algaroba obtido no secador de laboratório	52

LISTA DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Desenho esquemático do secador de leito fixo	24
Figura 2. Secador de camada estacionária a nível de fazenda, modelo UFV	26
Figura 3. Secagem natural em terreiro das vagens de algaroba	27
Figura 4. Curvas de secagem de vagens de algaroba e equações exponenciais para três temperaturas, quatro alturas de camadas do produto com velocidade do ar de secagem de $0,6 \text{ m.s}^{-1}$, obtidas em secador de leito fixo em laboratório	36
Figura 5. Curvas de secagem de vagens de algaroba e equações exponenciais para três temperaturas, quatro alturas de camadas do produto com velocidade do ar de secagem de $1,5 \text{ m.s}^{-1}$, obtidas em secador de leito fixo em laboratório	37
Figura 6. Curvas de secagem de vagens de algaroba e equações exponenciais para duas temperaturas, com camada de 25 cm do produto e velocidade do ar de secagem média de $0,9 \text{ m.s}^{-1}$, obtidas no secador tipo UFV	42
Figura 7. Curva de secagem de vagens de algaroba obtida em terreiro e equação polinomial	45
Figura 8. Curvas de equilíbrio higroscópico de vagens de algaroba e equações exponenciais para três temperaturas, duas alturas de camadas do produto com velocidade do ar de secagem de $1,5 \text{ m.s}^{-1}$, obtidas em secador de leito fixo em laboratório	48

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo determinar as curvas de secagem e de umidade de equilíbrio higroscópico das vagens de algaroba *Prosopis juliflora* (S.W) D.C. a fim de se obter o ponto de trituração deste produto para ser empregado na produção de ração animal. As vagens de algaroba com teor de umidade inicial de 20% b.u., foram submetidas a três tipos distintos de secagem. No primeiro, realizado em laboratório, as vagens de algaroba foram secas em um secador de leito fixo, onde se variou a altura de camada (25, 20, 15cm e camada Fina), a velocidade do ar (0,6 e 1,5 $m.s^{-1}$) e a temperatura de secagem (80, 90 e 100°C) até a umidade de trituração ($\pm 7\%$ b.u.). No segundo, as vagens foram secas em um secador convectivo instalado na Cooperativa Agrícola Mista do Curimataú (COAGRO) na região de Cuité, PB, em camada de 25cm de altura, temperaturas médias do ar de secagem de 90 e 100°C e fluxo do ar de 0,9 $m.s^{-1}$. A terceira secagem foi realizada em terreiro com piso de cimento grosso e em camada fina.

Estudou-se também a atividade de água através das curvas de sorção para as temperaturas de 20, 30 e 40°C, mediante o modelo gravimétrico estático na faixa de umidade relativa de 16,3 a 87,7% e, ainda, estabeleceram-se parâmetros de secagem entre a natural e a artificial, além da caracterização das vagens de algaroba mediante estudo dos seus componentes químicos. A análise dos dados obtidos, permitiu a conclusão de que a cinética de secagem é fortemente influenciada pela temperatura, com redução do tempo de secagem necessário para atingir 7% de umidade de 220 minutos a 80°C para 85 minutos quando se opera a 100°C; O revolvimento periódico das vagens de algaroba na secagem em camada espessa, tornou-a mais homogênea e eficiente; a cinética de secagem das vagens de algaroba ocorre no período taxa decrescente e não é grandemente influenciado pela velocidade do ar de secagem (0,6 a 1,5 $m.s^{-1}$), permitindo

trabalhar baixas vazões; a secagem natural mostrou-se inadequada para abaixar a umidade das vagens de algaroba até o ponto de trituração; os modelos utilizados (BET, Oswin e Halsey), ajustaram-se satisfatoriamente aos dados para predizer o equilíbrio higroscópico das vagens de algaroba; os componentes químicos avaliados não foram grandemente influenciados pela velocidade do ar de secagem, entretanto com o aumento da temperatura ocorre uma tendência de diminuição dos percentuais de matéria orgânica e aumento de proteína, matéria seca, gordura bruta e cinza.

ABSTRACT

This work had as objectives to determine the curves of drying and balance of humidity of foods of algaroba *prosopis juliflora* (S.W) D.C. In order to get its point of triturating so that it can be employed in the production of animal ration. The foods of algarroba having an initial humidity content of 20% h.b., were submitted to three distinct kinds of drying. In the first one, carried out in lab, foods of algarroba were dried in a dryer with a fixed bottom, in which the height of the layer (25, 20, 15 and a thin layer), the air speed (0.6 and 1.5 m.s⁻¹) and the temperature of drying (80, 90 and 100°C) until the humidity of triturating ($\pm 7\%$ h.b.) were varied. In the second one the pods were dried in a convective dryer installed at "Cooperativa Agrícola Mista do Curimataú" (COAGRO) in the Cuité region, PB, in a layer 25 cm high, under average temperatures of drying air of 90 and 100°C and flow of the air of 0.9 m.s⁻¹. The third drying was carried out on a hard cement floor and in a thin layer.

The water activity was also studied trough curves of sorption for the temperatures of 20, 30 and 40°C, by means of the static gravimetric model on the range on the relative humidity from 16,3 to 87,7% and, furthermore, parameters between natural and artificial drying were established, besides the characterisation of algarroba trough the study of its chemical components. The data analyses permitted the conclusion that the kinetic of drying is strongly influenced by temperature, with reduction of the time of drying necessary to reach 7% of humidity from 220 minutes at 80°C to 85 minutes when one operates at 100°C. The periodic revolving of pods of algarroba during the drying in a thick layer made it more homogeneous and efficient. The kinetic of drying of pods of algarroba occurs in the period of decreasing rate and is not largely influenced by the air speed of drying (0.6 and 1.5 m.s⁻¹), allowing the work of low outflows. The natural drying was found inadequate to low the humidity of pods of algarroba until the point of

tritulating. The models used (BET, Oswin and Halsey), were satisfactory by adjusted to the data to predict the hygroscopic balance of pods of algarroba. The chemical components evaluated were not largely influenced by the air speed of drying, however, with the increase of temperature occurs a tendency to decrease the percentage of organic matter and increase of protein, dry matter, gross fat and ash.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil a algaroba *Prosopis juliflora* (S.W) D.C., foi introduzida há mais de 50 anos e constitui-se numa das raras espécies que possibilita uma convivência harmoniosa aos animais e ao próprio homem com o fenômeno adverso e periódico das secas (Souza, 1998). O fruto dessa xerófila representa uma fonte de alimento de alto valor nutricional para a zootecnia, proteção do solo, sombra para os rebanhos e planta produtora de néctar, entre outras finalidades (Grados e Cruz, 1996).

A algaroba resiste muito bem as condições do semi-árido do Nordeste brasileiro, chegando a produzir por ano de 4,0 a 6,0 toneladas de vagens por hectare, com uma produção média por planta de 15 a 20 kg de vagens (Silva, 1986). O mesmo autor tratando da composição centesimal da vagem da algarobeira refere-se ser esta extremamente rica em açúcares, contendo um teor de proteínas que varia entre 9,60 e 16,5%.

Tendo em vista estas características positivas da algarobeira, o produtor nordestino reconhece nela uma grande aliada para alimentar os seus rebanhos, principalmente nos períodos de longas estiagens, pois além de todas as características acima citadas, as suas vagens ainda goza de grande aceitabilidade pelos rebanhos bovinos, caprinos e ovinos (Pinheiro, 1993). Sendo o seu fruto atualmente apresentado como uma possível fonte de alimento para o homem (Silva, 1993).

O período de colheita das vagens de algaroba no estado da Paraíba varia de dezembro a março (Cavalcanti Mata et al., 1986). A vagem de algaroba quando atinge o ponto de colheita, apresenta um teor de umidade entre 15 e 20% b.u. (Alsina et al., 1996). Nesta faixa de umidade não é possível realizar uma trituração adequada com os equipamentos convencionais em virtude destes, só triturarem as vagens com teores de umidade inferiores a 9,0% b.u., por outro lado a redução de umidade é necessária para que se possa armazenar o produto com segurança. Para que

ocorra a redução da umidade a níveis desejáveis e seguros para o bom aproveitamento da matéria prima, se faz necessário o uso da secagem, a qual pode ser efetuada de duas maneiras, ou seja, na forma natural ou mecânica.

A operação unitária de secagem é importante, pois visa preparar o produto para a armazenagem. Entretanto se mal conduzida, poderá prejudicar a qualidade comercial do produto antes mesmo da armazenagem ou, por outro lado, acelerar o processo de deterioração durante a armazenagem. Assim, o conhecimento do mecanismo de ação da água entre os materiais biológicos e o ambiente é de grande importância no processamento, particularmente na secagem e armazenagem.

O processo de secagem de vagens de algaroba, muito pouco estudado, deve ser bem conduzido, tanto no que se refere ao binômio tempo e temperatura de secagem, como também no que se refere ao nível de umidade final do produto que se preste para a trituração das vagens, são fatores de extrema importância comercial e futura industrialização.

Por causa da alta higroscopicidade das vagens da algaroba e de sua composição química, esta absorve com facilidade a umidade do ar, principalmente durante a noite, não permitindo a secagem natural em terreiro, em algumas regiões. E, ainda proporciona umidade favorável ao desenvolvimento de mofo, exercendo para a armazenagem cuidados especiais. A água contida nestas vagens, pode ser eliminada através da secagem. Porém para a determinação das isotermas de equilíbrio higroscópico, as condições termodinâmicas do ar devem ser mantidas constantes. A temperatura do ar pode ser controlada por termômetros, enquanto a umidade relativa pode ser controlada por soluções de ácidos ou sais (Silva, 1995). Em razão da crescente procura pela algaroba para uso, principalmente, na alimentação animal na forma natural ou de componente

para compor a ração concentrada e ainda por falta de estudo de secamento das vagens dessa xerófila, desenvolveu-se o presente trabalho com o objetivo geral de estudar diferentes condições de secagem de vagens de algaroba, a nível de laboratório e de campo, visando fornecer subsídios para os produtores da região Nordeste em relação ao uso racional deste produto e, específicos:

- ✓ obter e ajustar as curvas de secagem de vagens de algaroba em camadas com 15, 20, 25 cm de altura e camada fina; as temperaturas de 80, 90 e 100°C; umidades relativas ambiente de 45 a 70% e velocidades do ar de secagem de 0,6 e 1,5 m.s⁻¹ em secador de leito fixo, em condições controladas de laboratório;
- ✓ avaliar a secagem de vagens de algaroba em camada de 25 cm, as temperaturas de 90 e 100°C, umidades relativas do ar de secagem média de 16% e velocidade média de 0,9m.s⁻¹, através de um secador convectivo de camada estacionária modelo UFV (Silva e Lacerda Filho, 1993), instalado na Cooperativa Mista do Curimataú, no município de Cuité, PB;
- ✓ caracterizar as vagens de algaroba mediante estudos de sua composição química;
- ✓ estudar a atividade de água através das curvas de sorção para as temperaturas de secagem de 20; 30 e 40°C, utilizando o modelo gravimétrico estático na faixa de umidades relativas de 16,3 a 87,7%;
- ✓ estabelecer parâmetros de secagem entre a secagem natural e artificial para as vagens de algaroba.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Características da algarobeira

A algarobeira é uma planta arbórea, rústica, xerófila, pertencente a família das leguminosas e oriunda das regiões semi-áridas das Américas; estando atualmente difundidas em todo mundo (Pinheiro et al., 1993).

Segundo Silva (1995) existem cerca de 44 espécies do gênero *Prosopis* distribuídas pelo mundo. No continente americano e mais especificamente no Nordeste do Brasil a espécie mais cultivada é a *Prosopis juliflora* (S.W.) D.C., a qual foi introduzida com a finalidade de dar suporte forrageiro para os animais numa região onde os solos são fracos e a precipitação pluviométrica é muito baixa, (Cavalcanti Mata et al., 1984).

O mesmo autor descrevendo sobre a introdução da algarobeira na região do semi-árido brasileiro, relata que foi necessário mais de uma tentativa de implantação dessa espécie; a primeira delas ocorreu no ano de 1942 no município de Serra Talhada, no estado de Pernambuco. Uma segunda tentativa ocorreu no ano 1946 no município de Angicos, no estado do Rio Grande do Norte. Na Paraíba os primeiros algarobais surgiram no município de Serra Branca, no início da década de 50. Segundo ainda o mesmo autor, existem atualmente cerca de 150 mil hectares de algarobais instalados em toda região Nordeste. A produção de vagens de algaroba tem início em novembro-dezembro, prolongando-se na maioria das regiões até junho ou julho. A produção média anual varia entre 15 e 20 kg de vagens por planta adulta, chegando a produzir de 4 a 6 mil kg de vagens por hectare ano (Barros, 1981 e Mendes, 1984). Campelo (1985), relata que no Rio Grande do Norte a produção em algarobais com cinco anos de idade foi de 8 mil kg de vagens por hectare durante um ano. Segundo Mendes (1984) algumas plantas isoladas chegam a produzir 160 kg de vagens, anualmente.

A algarobeira tem contribuído para o fortalecimento da economia da região nordestina, como fonte de alimento para os animais e dieta humana, fabricação de produtos químicos industriais, bebidas, madeira resistente, podendo ser usada na fabricação de móveis, esquadrias, tacos, linhas, ripas, caibros, Morrões e postes. Sua casca é rica em tanino, o qual pode ser utilizado em curtumes. Suas flores são muito melíferas servindo de suporte para a apicultura, sendo ainda bastante utilizada na arborização das cidades (Silva, 1995).

2.2. Valor nutritivo da vagem de algaroba

A análise dos alimentos é um dos principais pontos a serem observados no setor de nutrição animal. O objetivo principal da análise é o de se conhecer a composição química, além de verificar a identidade e pureza, sejam elas de natureza orgânica ou inorgânica (Silva, 1991).

Alguns trabalhos realizados no Brasil e em outros países mostram variações na composição química da vagem de algaroba com base na matéria seca.

Nestes trabalhos (Tabela 1), observa-se que a vagem da algarobeira quando triturada apresenta níveis de proteína bruta bastante variáveis (9,90 a 16,50%) bem como teores de fibra bruta (12,0 a 25,90%) e extrato etéreo (0,80 a 3,59%). Apesar destes trabalhos terem sua contribuição com respeito a sua composição centesimal, com exceção dos trabalhos de Cavalcanti Mata et al. (1986) e Alsina et al. (1996) não foi encontrado na literatura consultada estudos da variação destes constituintes químicos durante o processo de secagem artificial.

Cavalcanti Mata et al. (1986) estudando as características químicas da vagem de algaroba e o comportamento de seus componentes quando submetidos a diferentes temperaturas, observaram que o teor de proteína, carboidratos, açúcares totais e acidez de gorduras, diminuem com o aumento da temperatura do ar de secagem de 65 a 95°C.

Alsina et al. (1996) trabalhando com secagem de vagens de algaroba a altas temperaturas, observaram que a partir de 90°C aumentam a possibilidade de degradação das proteínas e outros constituintes, porém obtiveram um produto final (farinha de vagens de algaroba) com maiores teores de proteínas devido a redução do tempo de secagem. No mesmo estudo, observaram a necessidade de revolvimento periódico da massa das vagens quando da secagem em camadas de 20 a 30 cm, evitando grandes diferenças de umidade entre as porções inferiores e superiores.

Tabela 1. Variação da composição química da vagem de algaroba triturada, com base na matéria seca, segundo a literatura

Composição Química (%)	VAT ^a (1)	VAT (2)	VAT (3)	VAT (4)	VAT (5)	VAT (6)	VAT (7)
Matéria seca	82,37	-	82,30	93,05	-	91,00	91,73
Proteína bruta	9,90	12,48	9,90	10,38	16,48	14,70	10,08
Lípidios	0,83	3,59	0,80	1,25	-	3,20	0,71
Fibra bruta	-	25,90	-	12,20	16,85	21,30	20,17
Sacarose	-	-	-	-	-	-	23,29
Cinza	3,76	-	-	-	-	-	-

^a Vagem de Algaroba Triturada

FONTE: BARBOSA, 1977¹; TALPADA et al., 1979²; CAMPOS, 1980³; SILVA, 1983⁴; RANGA RÃO e REDDY, 1983⁵; DEL VALLE et al., 1983⁶; SILVA, 1986⁷

2.3. Secagem

A secagem é uma operação que envolve simultaneamente transferência de calor e massa e, a taxa de remoção de água é determinada pela taxa na qual calor e umidade possam ser transferidos (Cavalcanti Mata, 1998).

O tipo de secagem a ser utilizado depende, dentre outros fatores, do produto desidratado, de sua constituição química e das características físicas do produto final desejado (Cunningham, 1982).

A secagem de produtos sólidos com o ar é uma operação unitária muito utilizada no beneficiamento e, ou, processamento dos produtos agrícolas. Uma vez que o produto quando colocado em contato com o ar quente ocorre uma transferência de calor do ar ao produto sob o efeito de diferente temperatura existente entre eles. Simultaneamente, a diferença de pressão parcial do vapor d'água existente entre o ar e a superfície do produto determina uma transferência de massa para o ar, na forma de vapor d'água (Perry, 1984). Uma fonte de calor que chegue ao produto é utilizada para evaporar a água. A evolução destas transferências simultâneas de calor e massa no custo da operação faz com que esta seja dividida esquematicamente em três períodos, os quais Park (1987) descreveu como: período 0 ou período até entrar em regime operacional; no começo, o produto está geralmente mais frio que o ar de secagem, portanto, a pressão de vapor d'água na superfície do produto é débil e por consequência a transferência de massa e a velocidade de secagem também o são. O calor chegando em excesso acarreta uma elevação da temperatura do produto ocorrendo um aumento de pressão e da velocidade de secagem. Este

fenômeno continua até que a transferência de calor compense exatamente a transferência de massa. Se a temperatura do ar for inferior a do produto, esta última diminuirá até atingir o mesmo estado de equilíbrio.

Período 1 ou período de secagem à taxa constante. Durante este período como no anterior, a quantidade de água disponível dentro do produto é bem grande. A água se evapora como água livre: a pressão de vapor da água pura na superfície é constante e é igual a pressão de vapor da água pura a temperatura do produto. Esta última é também constante e é igual a temperatura de bulbo úmido, caracterizada pelo fato de que as transferências de calor e de massa se compensam exatamente. A velocidade de secagem é, por conseguinte, constante. Este período continua, enquanto a migração de água do interior até a superfície do produto seja suficiente para compensar a perda por evaporação de água na superfície.

Período 2 ou período de secagem à taxa decrescente. Desde o momento em que a água começa a ser deficiente na superfície, a velocidade de secagem diminui. O valor do teor de água do produto no ponto de transição entre os dois períodos é chamado de teor de água crítica. A troca de calor não é mais compensada, a temperatura do produto aumenta e tende assintoticamente a temperatura do ar. Durante todo esse período o fator limitante é a migração interna de água. Esta redução da taxa de secagem é às vezes interpretada como uma diminuição da superfície molhada no começo do período 2, mas mais freqüentemente pelo abaixamento da pressão parcial de vapor da água na superfície. No final deste período o produto está em equilíbrio com o ar e a velocidade de secagem.

De acordo com Strumillo et al., citado por Prado (1998), o período de secagem a taxa decrescente pode ser dividido em duas fases: na primeira fase a água livre presente no interior do produto é contínua, sem a presença de ar, e ocupa todos os poros do produto. O movimento de água do interior para a superfície ocorre por capilaridade e este mecanismo controla a velocidade de secagem.

Na segunda fase a remoção de água da superfície de evaporação provoca a entrada de ar no interior do produto, o que dá origem a bolsas de ar que ficam dispersas na fase líquida dentro dos poros. Nesta fase ocorre o escoamento capilar em alguns pontos localizados.

De acordo Sabbah, citado por Cavalcanti Mata (1997), o período de secagem a taxa constante é considerado como aquele em que a umidade das sementes é suficiente para manter a água na superfície do produto de maneira similar a uma área de água livre, constantemente exposta as mesmas condições do ambiente. Para Hall (1971), o período de secagem a taxa constante de produtos agrícolas depende dos seguintes fatores: área exposta; temperatura do ar; diferença entre umidade do ar e a superfície do produto; coeficiente de transferência de massa e velocidade do ar de secagem.

Segundo Cavalcanti Mata (1997), as secagens de produtos agrícolas como grãos e sementes geralmente não ocorrem no período de secagem a taxa constante, a menos que eles sejam colhidos em estágio muito imaturo ou que tenha havido condensação de umidade ou chovido sobre eles.

Já durante o período de secagem a taxa decrescente, a superfície do produto não se encontra coberta por uma camada fina de água, como no caso anterior, porque a resistência interna ao transporte de água se torna

maior do que a resistência externa, a medida que o teor de umidade vai decrescendo abaixo do teor de umidade crítico, o potencial motriz do processo de secagem ($P_{vs} - P_v$) decresce junto com a taxa de secagem. Dessa maneira, o ideal para manter a qualidade do produto seria que, após atingir o seu ponto de maturação fisiológica, os processos de colheita, debulha e secagem fossem feitos seqüencialmente.

É importante observar que para a interpretação do conceito de secagem, a curva de secagem deve representar a variação do conteúdo de umidade do produto por tempo ($\frac{du}{dt}$) em relação a evolução do tempo (t).

Uma equação semiteórica é usada freqüentemente na análise de secagem de grãos, análoga a lei do resfriamento (Brooker et al., 1992). Essa equação assume que toda consistência do fluxo de umidade está concentrada na camada superior dos grãos e que a taxa de perda de umidade do grão para o ambiente a uma temperatura constante, é proporcional a diferença da umidade da semente e do seu teor de umidade de equilíbrio.

Segundo esta teoria, o fenômeno da secagem pode ser demonstrado pela seguinte equação diferencial:

$$\frac{du}{dt} = -k(U_t - U_e) \quad (\text{eq. 1})$$

em que:

U_t = umidade no tempo t ;

U_e = umidade de equilíbrio;

k = constante de secagem.

Por interpretação entre os limites U_0 no início da secagem e U_e com o tempo t qualquer de secagem, tem-se:

$$R_u = \frac{(U_t - U_e)}{(U_o - U_e)} = e^{-k} \quad (\text{eq. 2})$$

em que:

R_u = razão de umidade;

U_o = teor de umidade inicial;

t = tempo de secagem.

2.4. Tipos de secagem

Os métodos naturais e artificiais de secagem agrícolas, quando do seu emprego, levam em consideração as características e a finalidade de uso do produto trabalhado.

A secagem natural é entendida como aquela em que o ar que promove a secagem do produto provém da ação dos ventos e a energia utilizada nela emana da incidência direta do sol. Esta secagem é a mais utilizada em países subdesenvolvidos ou em vias de desenvolvimento devido a pouca tecnologia a ser empregada e ao baixo custo para sua realização, além do fato de que nesses países, em determinados períodos do ano, as condições climáticas favorecem a este tipo de processo (Cavalcanti Mata, 1997). A artificial é realizada em um secador, submetendo-se o produto úmido a ação de uma corrente de ar, geralmente quente, obtida por uma fonte de energia calorífica. Esta pode ser realizada a baixas temperaturas usando-se o ar natural ou levemente aquecido, e a altas temperaturas onde, usualmente, são empregados processos de secagem em camada fixa com fluxo cruzado, fluxo concorrente e fluxo contracorrente.

A escolha de cada um desses métodos depende de diversos fatores,

como nível de instrução tecnológica e poder aquisitivo do produtor, do volume de produção, da velocidade de colheita e do fim a que se destina o produto.

2.5. Efeitos da temperatura e velocidade do ar de secagem

Para Daudin (1983) os produtos são muito diferenciados entre si, devido a sua forma, estrutura e suas dimensões, além das condições de secagem serem muito diversas, conforme as propriedades do ar de secagem e a forma como se faz o contato ar-produto. Uma vez que o produto é colocado em contato com ar quente ocorre uma transferência de calor do ar ao produto sob o efeito da diferença de temperatura existente entre eles. Simultaneamente, a diferença de pressão parcial de vapor de água existente entre o ar e a superfície do produto determina uma transferência de massa para o ar. Esta última se faz na forma de vapor de água, uma parte do calor que chega ao produto é utilizada para vaporizar a água.

A taxa de secagem pode ser acelerada com o aumento da temperatura do ar de secagem e, ou, com o aumento do fluxo de ar que passa pelo produto por unidade de tempo. A quantidade de ar utilizada para a secagem depende de vários fatores. Entre eles: a umidade inicial do produto e a espessura da camada.

Várias pesquisas em secagem de alimentos consideram a temperatura do ar de secagem como o parâmetro de maior influência na cinética e qualidade do produto final (Ogihara, 1989; Yoshida, 1997; Prado, 1998; Gouveia, 1999).

Yoshida (1997) ao secar milho super-doce a uma temperatura de 50°C e velocidade do ar de 1,28 e 0,75 m.s⁻¹, concluiu que a taxa de secagem tem um pequeno aumento quando se trabalha com valores de velocidade maiores. Então pode-se considerar que a velocidade do ar tem um pequeno efeito sob as curvas de secagem. Resultado semelhante foi observado por Rapusa & Driscoll (1995) ao estudar a secagem de cebolas.

Gouveia (1999) obteve curvas de secagem de gengibre em três diferentes níveis de velocidade do ar (1,0, 1,5 e 2,0 m.s⁻¹) com diferentes temperaturas (35, 50 e 65°C) e concluiu que para um mesmo tempo de processo, quanto maior for a temperatura do ar, maior a perda de umidade do produto, concordando com estudos de Prado (1998) e Yoshida (1997). Estes mesmos autores, quando fixaram a temperatura e variaram a velocidade do ar, verificaram que a velocidade do ar tem um pequeno efeito sobre as curvas de secagem quando comparada a temperatura, a qual exerce maior influência do que a velocidade do ar de secagem.

2.6. Equilíbrio higroscópico

A curva de uma isoterma pode se apresentar de duas formas: isotermas de adsorção, obtida quando um produto totalmente seco é colocado em atmosferas com diversos incrementos de umidade relativa, sendo medidos o aumento de peso desse produto devido ao ganho de água; isoterma de dessorção, obtida quando o produto inicialmente úmido é colocado sob as mesmas condições atmosféricas criadas para adsorção sendo medidos neste caso a diminuição de peso do produto, provocada pela perda de água (Kapsalis, 1987).

Christensen (1974) relata que as isotermas de sorção de umidade para polímeros carboidratos, são suaves curvas sigmoidais sem apresentar nenhuma descontinuidade. Entretanto, segundo o mesmo autor, as isotermas de adsorção e dessorção para tais substâncias não são necessariamente as mesmas. Para muitas substâncias, as curvas de isotermas de adsorção, quer dizer, o teor de umidade do produto a uma determinada temperatura corresponde a dois valores de umidade relativa, dependendo se o material está ganhando ou perdendo umidade. A defasagem entre as isotermas de dessorção e adsorção é chamada de histerese (Young, 1976).

Para a determinação experimental de umidade de equilíbrio torna-se necessário um ambiente com umidade relativa controlada. O método de controle de umidade relativa mais usado é o que utiliza compostos químicos, tais como soluções aquosas de ácido sulfúrico e soluções de sais. Cada solução apresenta um grau de ajuste de umidade relativa que pode ser obtido variando-se a concentração das soluções a diferentes temperaturas.

Os valores de teor de umidade de equilíbrio dos produtos biológicos dependem, principalmente, da temperatura e da umidade relativa do ar, da espécie e, ou, variedade do produto, a maturidade fisiológica, o histórico do produto e a maneira pela qual o equilíbrio foi obtido, influenciam na umidade de equilíbrio (Brooker et al., 1992; Morey et al., 1995).

A obtenção dos dados experimentais com a finalidade de se determinar as curvas de umidade de equilíbrio são, normalmente feitas por dois métodos (Brooker et al., 1992): o estático e o dinâmico. No estático, a umidade de equilíbrio entre o produto e a atmosfera circundante é atingida sem movimentação do ar ou do produto; no método dinâmico, o ar ou o produto é movimentado até que o equilíbrio seja atingido.

Para o estabelecimento das curvas teóricas, têm sido utilizadas relações matemáticas empíricas, uma vez que nenhum modelo teórico desenvolvido tem sido capaz de prever com precisão o teor de umidade de equilíbrio em todas as faixas de temperatura e umidade relativa do ar (Brooker et al., 1992).

Dentre as diversas equações utilizadas para expressar o teor de umidade de equilíbrio dos grãos, em função da temperatura e umidade relativa, tem-se utilizado ultimamente com frequência, por sua relativa precisão e generalidade de uso, os modelos de BET, Halsey e Oswin (Almeida et. al., 1999).

O modelo de BET (Brunauer-Emmer-Teller, 1938) emprega o conceito de Langmuir (1918) de adsorção na monocamada molecular, o qual descrever a adsorção de multicamadas moleculares, cuja equação mostra que a capilaridade define o limite superior do número de monocamadas (Chirife e Iglesias, 1978).

GUGGENHEIM (1966), ANDERSON (1946) e de BOER (1953) estenderam as teorias de adsorção física de Langmuir e BET, resultaram em uma equação triparmétrica, conhecida como equação de GAB, matematicamente adequada para aplicações em engenharia e que permite um ótimo ajuste de dados de sorção de quase todos os alimentos até atividade de água de 0,9.

O modelo de Halsey, considera a condensação da multicamada a uma distância relativamente grande da superfície. Ele assumiu que a magnitude do parâmetro b caracteriza o tipo de interação entre o vapor e o sólido, isto é: se b é grande, a atração entre o sólido e o vapor é muito específica e não se estende para muito longe da superfície, porém se b é pequeno, as forças

de atração predominantes são de Van der Waals são capazes de agir a grandes distâncias da superfície.

Já Oswin (1946) estabeleceu uma equação de dois parâmetros para estudar o equilíbrio higroscópico dos materiais biológicos.

2.7. Secadores

No Brasil os tipos de secadores empregando os diversos sistemas de ventilação forçada que vem ganhando preferência entre os agricultores são os de camada estacionária e o de fluxo cruzado. A denominação secador de camada estacionária é dada quando não existe movimentação dos grãos na câmara de secagem durante o processo. Existem outros termos dados a este secador, como secagem em leito fixo ou secagem em lote (Cavalcanti Mata, 1997).

Nos secadores de leito fixo o ar de secagem movimenta-se da camada inferior para a superfície da massa do produto. A troca de umidade que acontece entre o produto e o ar ocorre em uma região denominada zona de secagem, a qual se move da camada inferior para a superfície da massa, conforme a secagem, dando origem a um gradiente de umidade, o qual não pode ser muito elevado para não comprometer a qualidade do produto final (Lima, 1992; Nucci e Murr, 1994 e Gouveia, 1999).

Segundo Lacerda Filho, citado por Gouveia (1999), os fatores que determinam o gradiente de umidade nos secadores de leito fixo são: o fluxo de ar, a espessura da camada da amostra e a temperatura de secagem. O gradiente será tanto mais elevado quanto menor for a temperatura de secagem e a espessura da camada do produto. Esses fatores também influenciam o consumo de energia e o tempo de secagem do produto.

Cavalcanti Mata (1997), relata que no secador de leito fixo onde se utiliza convecção de ar forçada, o processo consiste na passagem do ar aquecido através da massa de grãos, onde este é acionado por um ventilador elétrico. O aquecimento do ar pode ser dado por energia elétrica, óleo combustível, gás e, ou, fomalha usando-se resíduos agrícolas ou lenha.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Secagem

Foram realizados três tipos distintos de secagem. No primeiro, as vagens de algaroba sofreram uma secagem completa em um secador de leito fixo com fluxo cruzado de ar, onde se variou a altura de camada a velocidade do ar e a temperatura de secagem até a umidade final desejada (aproximadamente 7% b.u.). No segundo tipo, as vagens de algaroba foram submetidas a secagem em um secador convectivo, modelo UFV (Silva e Lacerda filho, 1993), a uma única altura de camada e velocidade do ar de secagem, com duas temperaturas distintas até o nível de umidade final da secagem anterior. A última secagem foi realizada em terreiro (secagem natural) com piso de cimento grosso e em camada fina.

3.2. Matéria-prima

As vagens de algaroba, *Prosopis juliflora* (S.W) D.C., foram procedentes de propriedades rurais do município de Cuité, PB, pertencentes a safra 1997/1998, colhidas manualmente nos meses de janeiro e fevereiro de 1998, com umidade inicial entre 18 e 20% b.u.. Após a colheita as vagens foram embaladas em sacos plásticos e levadas ao laboratório onde se processaram as secagens.

3.3. Local do experimento

A secagem artificial conduzida no secador de leito fixo, foi realizada no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola, e no Laboratório de Meios

Porosos e Particulados do Departamento de Engenharia Química, ambos da Universidade Federal da Paraíba, Campus II, Campina Grande, PB. A secagem em campo foi realizada na cidade de Cuité, PB, em um secador convectivo, instalado na Cooperativa Agrícola Mista do Curimataú - (COAGRO) e a secagem natural em terreiro, foi levada a cabo também na cidade de Cuité, PB. Inicialmente, foi determinado o teor de umidade do produto antes de cada teste de secagem, através do método da estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ por 24 horas, com três repetições, de acordo com as regras para análise de sementes (Anexo II). Em seguida, o produto foi acondicionado em sacos de plástico e, então preparado para a finalidade da pesquisa.

3.4. Secagem no secador de leito fixo em laboratório

Os tratamentos de secagem em laboratório se constituíram de quatro alturas de camadas de vagens (camada fina; 15, 20 e 25 cm), com três níveis de temperaturas (80, 90 e 100°C) e duas velocidades do ar de secagem ($0,6$ e $1,5 \text{ m.s}^{-1}$), com quatro repetições. A quantidade de vagens de algaroba utilizada em cada tratamento obedeceu a variação da altura das camadas.

Os testes de secagem em laboratório foram realizados utilizando-se um secador de leito fixo com fluxo cruzado, a ar quente, com capacidade para 2,5 kg de vagens.

O secador consiste de um compressor radial, rotômetro, aquecedor elétrico, câmara de secagem, chaves seletoras para termopares, controlador de temperatura e um milivoltímetro como auxiliar nas medições de temperatura. A câmara de secagem é formada por uma coluna cilíndrica de

17,80 cm de diâmetro e 60 cm de altura. Possui uma seção inferior tronco-cônica que funciona como distribuidor de ar, onde são colocadas esferas de vidro, para permitir que o escoamento do ar seja uniforme em todo o leito. A coluna é isolada termicamente com uma camada de amianto de 1,5 cm de espessura. Nas suas laterais existe furos onde são colocados termopares, para medição da temperatura do ar de secagem. No fundo da seção cônica está inserido um outro termopar, que serve para enviar sinal para o controlador de temperatura. Todas as medições de temperatura são lidas em um milivoltímetro e são distinguidas por meio de uma chave seletora, conforme mostra a Figura 1. As amostras foram colocadas em uma cesta de material metálico em tela de arame de malha fina. Após o equipamento ser ligado, foi determinada a velocidade do ar de secagem bem como a temperatura a ser trabalhada. O conjunto (cesta + produto) foi pesado e colocado na câmara de secagem e em intervalos regulares de tempo, segundo metodologia trabalhada por Alsina et al. (1996), o conjunto foi retirado da câmara de secagem, pesado e colocado novamente no secador. A perda de peso do produto foi acompanhada até atingir a umidade final em torno de 7%, valor este que permite uma boa trituração das vagens em moinhos utilizados por produtores da região para a produção de ração (farelo) e, ou, utilização direta na alimentação animal.

Ao final de cada teste uma parte da amostra foi retirada para conhecimento da umidade final e uma outra foi triturada em moinho e guardada em recipientes de vidro hermeticamente fechados, para posterior determinação de alguns de seus componentes químicos.

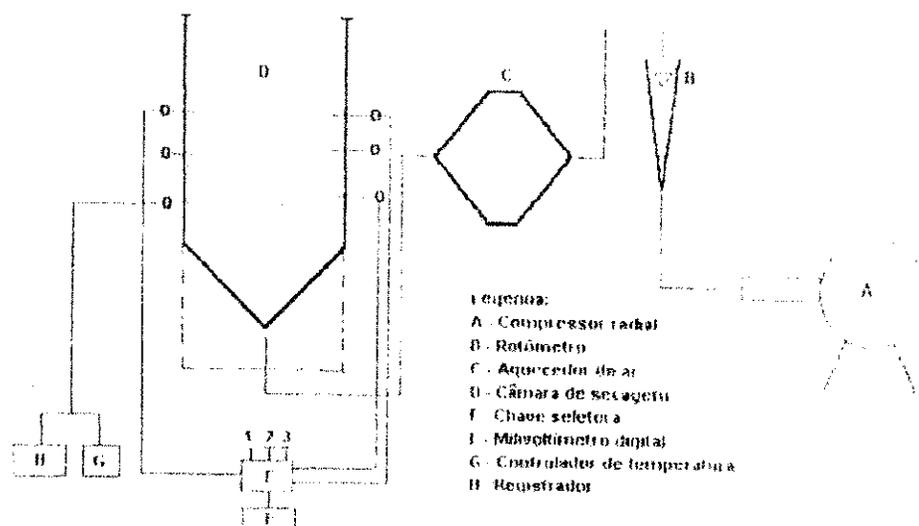


Figura 1. Desenho esquemático do secador de leito fixo

3.5. Secagem no secador tipo UFV

Os testes de secagem foram realizados utilizando-se um secador convectivo baseado no modelo UFV (Silva e Lacerda Filho, 1993), com formato retangular e apresentando as dimensões de 5,0 m de comprimento por 3,0 m de largura e 0,6 m de profundidade, com uma área total de 9,0 m², e capacidade para 1,5 tonelada de vagens (Figura 2). O aquecimento do ar de secagem é dado por uma fomalha a fogo direto, usando-se resíduos agrícolas (lenha da própria cultura). A passagem do ar aquecido pela massa de vagens ocorre através da utilização de um ventilador axial impulsionado por um motor elétrico de 5 c.v.

O estudo da secagem realizado no secador UFV (secagem de campo) foi efetuado em camada de 25 cm de altura. As variáveis de controle foram: a temperatura do ar de entrada, trabalhada nos valores médios de 90 e

100°C; a velocidade do ar de secagem de $0,9 \text{ m.s}^{-1}$; umidade do ar ambiente na faixa de 60% e o tempo de secagem, o qual foi determinado até a obtenção do teor de umidade de trituração. O procedimento em relação a condução do experimento foi o mesmo seguido em laboratório, ressaltando-se apenas o aumento da quantidade de vagens de algaroba, o número de cestas, bem como a quantidade do produto contida no interior das mesmas. Durante os testes de secagem foi feito o revolvimento da camada de vagens, com o objetivo de uniformizar a perda de água do produto. O mesmo procedimento foi praticado para as vagens contidas dentro das cestas.

Antes de cada teste de secagem foram retiradas amostras do produto para determinação do teor de umidade inicial, pelo método da estufa à $105 \pm 3^\circ\text{C}$ por 24 horas (Anexo II). As amostras foram colocadas em cestas de material metálico em tela de arame de malha fina. As cestas foram colocadas dentro da câmara de secagem juntamente com o restante da algaroba após o equipamento ter sido ligado. A velocidade do ar de secagem foi verificada inicialmente em vários pontos do secador através de um anemômetro digital. O controle da temperatura de secagem foi feito através de um termômetro colocado na entrada da câmara de secagem, sendo a temperatura do ar de secagem obtida através da combustão de combustível vegetal (lenha). A perda de peso das vagens de algaroba foi acompanhada até atingir a umidade final em torno de 7%, onde em seguida foram trituradas no moinho existente na cooperativa.

As leituras em relação a perda de peso do produto foram realizadas em intervalos regulares de 30 minutos, onde as amostras eram retiradas da câmara de secagem, pesadas em balança com precisão de uma casa decimal,

e novamente levadas à câmara de secagem em posições trocadas a cada leitura. Após cada teste de secagem parte da amostra foi retirada, moída e levada ao laboratório para determinação da composição e variação de alguns de seus componentes químicos.



Figura 2. Secador de camada estacionária a nível de fazenda, modelo UFV

3.6. Secagem natural em terreiro

A secagem natural em terreiro foi conduzida em camada fina, onde as vagens foram espalhadas em toda a área útil do terreiro (Figura 3). Antes do teste de secagem, foi retirada uma amostra de vagens para determinação da umidade inicial, pelo método da estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ por 24 horas (Anexo II).

A leitura da umidade relativa do ambiente foi feita através da utilização de um higrômetro de precisão, assim como a umidade relativa dentro da camada de vagens.

As leituras da temperatura de secagem foram feitas com a utilização de termômetros instalados diretamente dentro da camada de vagens de cada cesta. Após a distribuição das vagens sobre o terreiro, foram colocadas três cestas de material metálico (tela de arame) de peso conhecido, onde em cada uma delas continha vagens de algaroba na mesma altura de camada do

terreiro. A perda de peso do produto foi acompanhada em leituras regulares de tempo, com a utilização de uma balança com precisão de uma casa decimal.

Ao final do dia, foi retirada uma amostra do produto para determinação do teor de umidade final, através do método da estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ por 24 horas. A camada de vagens foi coberta durante o período noturno e no dia seguinte nas primeiras horas da manhã foi feita outra determinação do teor de umidade das vagens, com a finalidade de se acompanhar o comportamento destas em relação ao seu grau de umidade no referido período.



Figura 3. Secagem natural em terreiro das vagens de algaroba

3.7. Modelos matemáticos

Para o ajuste das isotermas de sorção das vagens de algaroba foram testados os modelos de BET (eq. 3), Halsey (eq. 4) e Oswin (eq. 5), com a finalidade de se obter os coeficientes das equações citadas. Os dados experimentais foram submetidos a uma análise de regressão não-linear, utilizando-se o programa computacional *STATISTICA* versão 5.0.

BET:

$$\frac{U}{U_m} = \left(\frac{1 - (n+1)a_w^n + na_w^{n+1}}{1 - (1-C)a_w - Ca_w^{n+1}} \right) \quad (\text{eq. 3})$$

em que:

n = número de camadas moleculares;

a_w = atividade de água;

U = umidade de equilíbrio expressa em base seca;

U_m = umidade na monocamada molecular.

HALSEY:

$$a_w = \exp\left(\frac{-a^n}{U^b}\right) \quad (\text{eq. 4})$$

em que:

a^n e b = parâmetros ajustado pelo modelo.

OSWIN:

$$U = a \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right)^b \quad (\text{eq. 5})$$

em que:

a e b = parâmetros ajustado pelo modelo

3.8. Equilíbrio higroscópico das isotermas

Os teores de umidade de equilíbrio das vagens de algaroba foram determinados por meio do método estático, utilizando-se soluções aquosas de ácido sulfúrico (H_2SO_4) em água destilada, para uma faixa de umidade

relativa de 16,3 a 87,7% (Tabela 2), de acordo com metodologia citada por Hall, (1971). Os testes foram conduzidos as temperaturas de 20; 30 e 40°C \pm 1°C. Para isto foram utilizadas três estufas B.O.D, com o objetivo de se manter as amostras nas temperaturas e umidades desejadas. Estas temperaturas eram verificadas regularmente com o auxílio de termômetros colocados no interior de cada estufa.

As amostras foram colocadas em triplicata em cestas de tela de arame e em seguida armazenadas em potes de vidro herméticos com as respectivas soluções de ácido, para cada valor de umidade relativa desejada.

As amostras com teor de umidade previamente determinado, foram pesadas em intervalos regulares de tempo, 24, 48 e 96 horas respectivamente para a 1ª, 2ª e 3ª semanas até se alcançar o ponto de equilíbrio verificado no momento em que a massa se tornou invariável.

Após alcançado o equilíbrio, as amostras foram levadas a estufa Fanem – Modelo 330 a temperatura de 105 \pm 3°C por 24 horas (Brasil, 1992) a fim de se obter a sua massa seca.

O teor de umidade de equilíbrio foi calculado pela diferença entre a massa que a amostra apresentou no equilíbrio e a sua massa seca, calculado da seguinte forma:

$$x_{eq} = \frac{m_{eq} - n_1}{n_1} \quad (\text{eq. 6})$$

em que:

X_{eq} = umidade de equilíbrio em base seca;

m_{eq} = massa da amostra quando atingido o equilíbrio;

n_1 = massa seca da amostra.

Para o ajuste das isotermas de sorção das vagens de algaroba foram testados os modelos de BET, Halsey e Oswin; com a finalidade de se encontrar os coeficientes das equações citadas. Os dados experimentais foram submetidos a uma análise de regressão não linear, utilizando o pacote estatístico *STATISTICA 5.0*. Os critérios utilizados para escolha do melhor ajuste foram o coeficiente de determinação (R^2) entre as respostas observadas e os valores preditos pelo modelo ajustado (Barros Neto et al.; 1995) e o módulo do desvio relativo médio (P), definido como a média da porcentagem da diferença relativa entre valores experimentais e preditos (Lomauro et al.; 1985).

$$P = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|(M_i - M_{pi})|}{M_i} \quad (\text{eq. 7})$$

em que:

M_i = valores preditos pelo modelo;

M_{pi} = valores obtidos experimentalmente.

Com base nesta equação, tem-se que os melhores ajustes são os que apresentam maior R^2 e menor P, ou seja, R^2 próximo a unidade e P menor que 10%.

Tabela 2. Diferentes valores de umidade relativas relacionadas as diferentes soluções de ácido sulfúrico

ÁCIDO	UMIDADE RELATIVA (%)		
	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
H ₂ SO ₄ (20%)	87,7	87,5	87,6
H ₂ SO ₄ (30%)	69,9	67,9	66,1
H ₂ SO ₄ (40%)	56,7	56,6	56,5
H ₂ SO ₄ (50%)	33,1	32,4	31,6
H ₂ SO ₄ (60%)	16,3	17,0	17,8

3.9. Análises químicas

Depois da determinação da umidade inicial do produto, e posterior secagem conforme Brasil (1992), as vagens foram submetidas a análise de sua composição química (Matéria Seca, Proteínas, Lipídeos, Fibras, Cinzas e Sacarose), segundo a AOAC (1984). A metodologia de cada análise está descrita no Anexo II.

3.9.1. Determinação do teor de umidade e matéria seca

A determinação do teor de umidade baseou-se na perda de peso das vagens quando secas em estufa. A água nas sementes foi expelida em forma de vapor pela aplicação do calor sob condições controladas, ao mesmo tempo em que foram tomadas precauções para reduzir a oxidação, a decomposição ou a perda de outras substâncias voláteis durante a operação. Para a determinação da umidade inicial e final das vagens de algaroba foi utilizado o método da estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ por 24 horas (Brasil, 1992). A matéria seca foi obtida por diferença do teor de umidade.

3.9.2. Proteínas

Foi realizada com base na determinação do nitrogênio total da amostra, que através de cálculo foi convertido em nitrogênio protéico. Para tanto, considerou-se que cada 100 g de proteína contém em média 16 g de nitrogênio, obtendo-se desse modo o fator 6,25 que multiplicado pelo

percentual de nitrogênio total da amostra, forneceu o percentual de proteína da mesma. O método utilizado foi o Micro-Kjedahal.

3.9.3. Determinação de lipídeos

A metodologia utilizada baseou-se na extração contínua em aparelho tipo Soxhlet. Tratando-se de um processo gravimétrico, baseado na perda de peso do material submetido à extração com éter etílico ou na quantidade de material dissolvido pelo solvente.

3.9.4. Determinação de fibras

A fração de fibras representa o resíduo das substâncias das paredes celulares e além da celulose e lignina, a areia e outras substâncias minerais presas aos tecidos celulares.

3.9.5. Determinação de cinzas

A cinza dos alimentos é resíduo inorgânico remanescente da queima da matéria orgânica. A cinza obtida não corresponde necessariamente à mesma composição da substância mineral presente no alimento em si, devido as perdas por volatilização. O perfil de cinzas é considerado como média geral de qualidade e normalmente é usado como critério na identificação dos alimentos. A cinza é composta de cálcio, magnésio, ferro, fósforo, chumbo, mercúrio e outros componentes minerais. Foi determinado conforme normas analíticas da AOAC (1984).

3.9.6. Determinação de açúcares

Para esta determinação foi utilizado o método da antrona que fundamenta-se na hidrólise pelo ácido sulfúrico concentrado, que quando aquecido com a hexose sofre reação de condensação, formando um produto de coloração verde, cuja intensidade da cor é lida em espectrofotômetro a 620 nm.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Secagem em secador de leito fixo com fluxo cruzado

Os resultados da secagem das vagens de algaroba realizada a três distintas temperaturas; quatro alturas de camadas em duas velocidades do ar de secagem, estão contidos nas Tabelas 3, 4 e 5 do Anexo I, com representação gráfica dos ditos valores nas Figuras 4 e 5.

Mediante os resultados obtidos pode-se confirmar a influência dos fatores estudados sobre o tempo gasto na secagem para as vagens de algaroba atingirem a umidade que permite uma boa trituração. O tempo gasto no secamento deste produto para as condições de temperatura (80, 90 e 100°C); alturas da camada (fina, 15, 20, 25 cm), foi obtido mediante secagem realizada em um secador de leito fixo a nível de laboratório, para duas velocidades do ar de secagem (0,6 e 1,5 m.s⁻¹).

Nas Figuras 4 e 5, têm-se as curvas de secagem ajustadas a equação $\%U_{bu} = a.exp(-bt)$. Os coeficientes ajustados para cada temperatura corresponde a coeficientes de regressão entre 97,67 e 99,85. Por serem de natureza empírica, essas equações só podem ser usadas para predizer dados de secagem para as condições de temperaturas, alturas de camada e velocidades do ar de secagem estudadas. A aplicabilidade dessas equações confirmam os resultados obtidos por Alsina et al. (1996) na secagem de vagens de algaroba em camada fina e em camadas de 10 e 28,5 cm de altura.

Observa-se uma importante diminuição no tempo gasto para secar as vagens de algaroba em função da elevação da temperatura e redução na altura da camada de secagem.

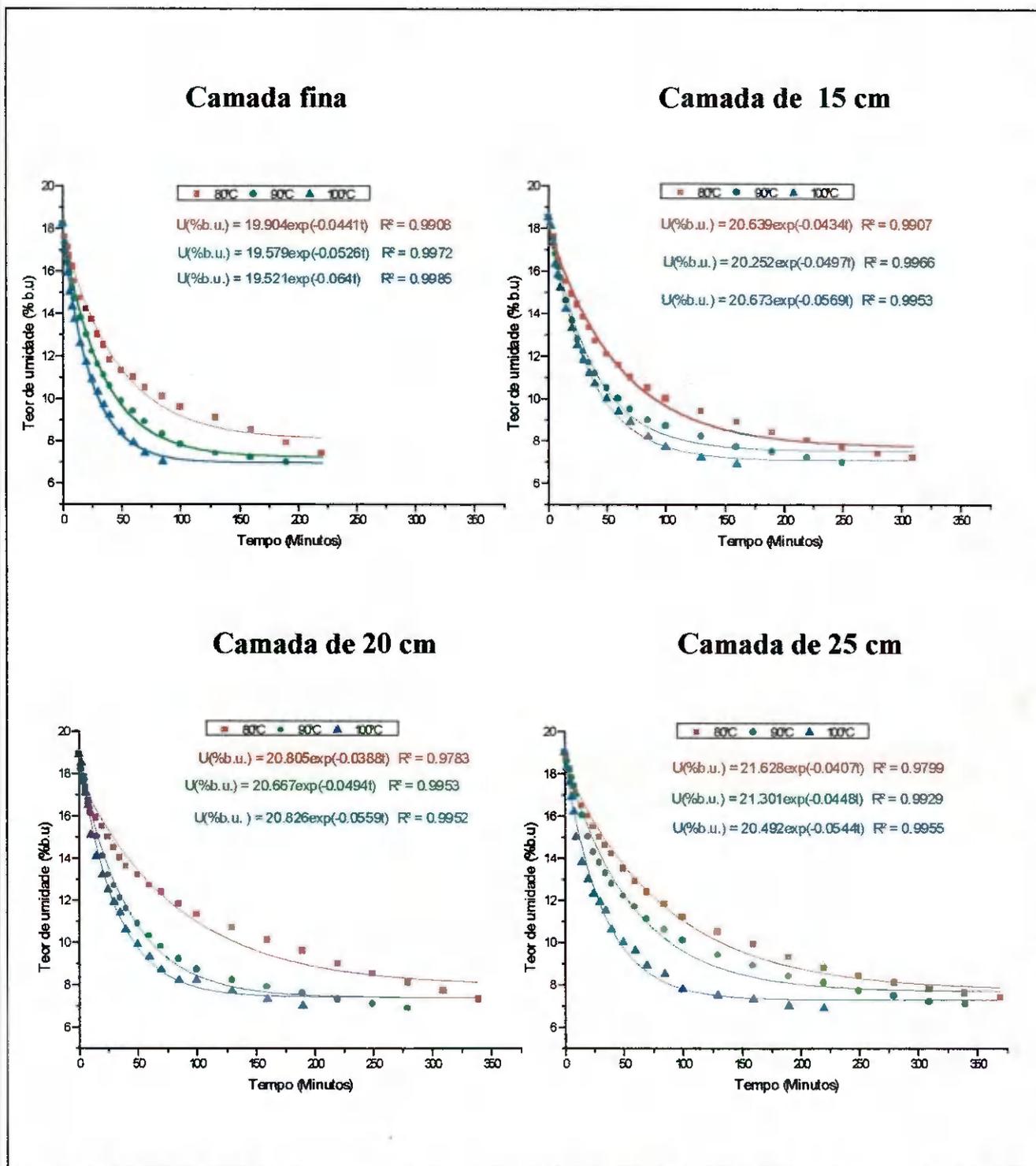


Figura 4. Curvas de secagem de vagens de algaroba e equações exponenciais para três temperaturas, quatro alturas de camadas do produto com velocidade do ar de secagem de $0,6 \text{ m.s}^{-1}$, obtidas em secador de leito fixo em laboratório

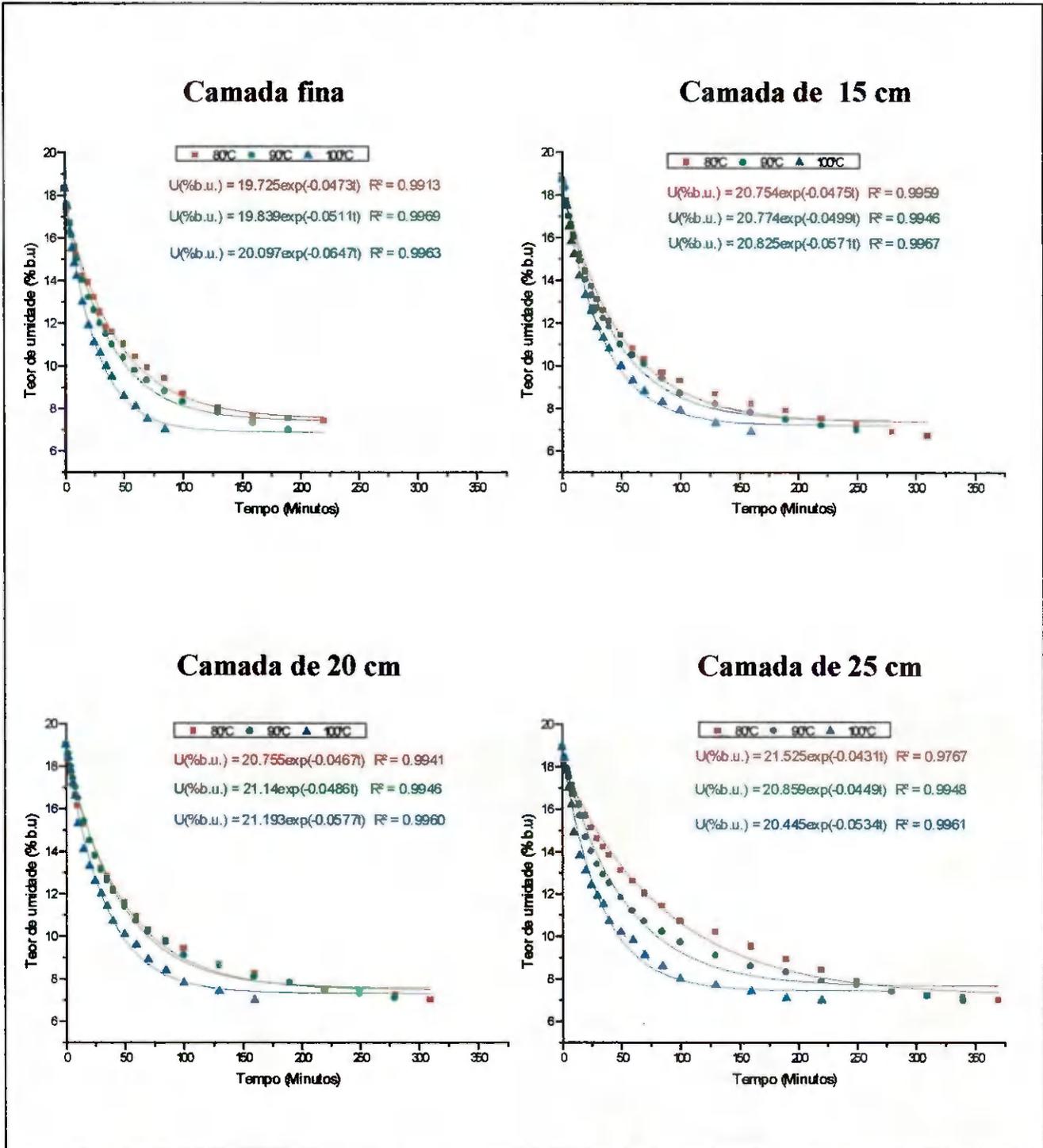


Figura 5. Curvas de secagem de vagens de algaroba e equações exponenciais para três temperaturas, quatro alturas de camadas do produto com velocidade do ar de secagem de $1,5 \text{ m.s}^{-1}$, obtidas em secador de leito fixo em laboratório

Pode-se verificar através da Figura 4 que a perda do conteúdo de umidade é bem rápida no início do processo de secagem, cujo secamento das vagens de algaroba até aproximadamente 7,2% b.u. para a temperatura de 80°C é de 220, 310, 340 e 370 minutos para a secagem em camada fina e nas camadas de 15, 20 e 25 cm de altura respectivamente, a uma velocidade do ar de secagem de 0,6 m.s⁻¹. Já para a temperatura de 90°C estes valores foram de 190, 250, 280 e 340 minutos respectivamente, para camada fina e camadas de 15, 20 e 25 cm e, ainda, em um tempo menor foi realizada a secagem quando a temperatura empregada foi de 100°C que como se constata, para secar as vagens de algaroba utilizando-se camada fina é necessário apenas 85 minutos, 160 para a camada de 15 cm; 190 para a de 20 cm e 220 para a camada de 25 cm.

Para a secagem a 80°C em camada de 25 cm de altura o tempo gasto no secamento das vagens é de 2,5 horas maior que o exigido pela secagem em camada fina e, de 1,5 h e 2,0 h frente as camadas de 15 e 20 cm. Este comportamento foi similar para a secagem realizada a 90 e 100°C, porém com tempos menores para o secamento a medida que se elevou a temperatura de secagem.

Os resultados revelam ainda que para abaixar o grau de umidade das vagens de algaroba ao ponto de trituração (7-8% b.u.) estabelecido, quando se eleva a camada de secagem, é necessário, em média, um aumento no tempo de secagem de 1,5 h para secar com uma camada de 15 cm em comparação a camada fina e, um incremento de 0,5 h para passar da camada de 15 cm para a camada de 20 e 25 cm, respectivamente. Similarmente comportou-se a secagem as temperaturas de 90 e 100°C.

Mediante os resultados obtidos e discutidos tem-se que as curvas de secagem se apresentam bem definidas sem grandes flutuações nos pontos, indicando uma condição muito boa de homogeneidade no secador. Com relação ao efeito da temperatura, foi observado que quanto maior a temperatura, maior a taxa de secagem e mais rapidamente se processa a secagem, mesmo com alturas de camadas diferentes e, ainda, que os dados experimentais apresentam um bom ajuste no modelo testado.

Respaldados nos resultados, verifica-se que a secagem das vagens de algaroba para as condições estudadas na Figura 4, ocorre integralmente dentro do período de taxa decrescente. Resultados que são concordantes com Alsina et al. (1996); Prado (1998); Yoshida (1998) e Gouveia (1999).

Pela Figura 5, verifica-se uma diferença pequena nos valores obtidos para a velocidade do ar de secagem ($1,5 \text{ m.s}^{-1}$) quando comparados com as vagens que foram secas a $0,6 \text{ m.s}^{-1}$ (Figura 4), tornando-se evidente que a temperatura tem maior influência que a velocidade do ar de secagem, pois como é observado a água é removida mais rapidamente em um menor tempo quando se aplica temperatura mais alta, em detrimento da velocidade do ar de secagem. Assim, comparando-se os valores das duas figuras obtidas experimentalmente para a secagem das vagens de algaroba as temperaturas de 80; 90 e 100°C e altura de camadas de 25; 20; 15 cm e, ainda, camada fina, nota-se a proximidade desses valores, podendo-se afirmar que o modelo matemático descreve bem o comportamento da secagem desse produto e que a velocidade do ar de secagem estudada, exceto para a temperatura de 80°C e altura de camada de secagem de 20 cm, onde o tempo requerido para secar as vagens de algaroba ao ponto de trituração

($\pm 7,0\%$ de umidade em b.u.) com velocidade do ar de $0,6 \text{ m.s}^{-1}$ frente a secagem com velocidade do ar de $1,5 \text{ m.s}^{-1}$ foi maior que 30 minutos, não influenciando sobre a redução do tempo de secagem.

Observa-se que para todos os níveis de temperatura, houve diminuição dos valores obtidos para o tempo de secagem das vagens de algaroba com o aumento da temperatura, tornando-se mais acentuado para a temperatura de 100°C , onde em relação a temperatura menor (80°C) o tempo gasto para secar as vagens de algaroba em camada fina foi reduzido em 2,3 horas e de 3,9 horas frente a cada camada (15-15; 20-20 e 25-25 cm) comparativamente nas duas temperaturas. Para a temperatura de secagem de 90°C , o comportamento foi similar ao discutido para as duas temperaturas extremas estudadas (80 e 100°C), ficando os resultados com valores intermediários entres estas temperaturas.

Como pode ser observado pelos resultados apresentados (Figuras 4 e 5) a altura da camada de secagem é um fator de grande influência sobre a resistência oferecida a passagem do ar, o que sobre determinada circunstância pode ser usada como vantagem para facilitar a secagem. Desta forma quando o ventilador não estiver conseguindo vencer a resistência que a massa do produto está oferecendo, a alternativa mais fácil e talvez mais econômica, seja reduzir a espessura da camada do produto no interior da câmara e também quando se deseja uma secagem mais rápida.

Desta forma, tem-se que, para secar vagens de algaroba, depois de colhidas com umidade em torno de 18% b.u. até o ponto de trituração (umidade $\pm 7,0\%$ b.u.), utilizando temperatura de 80°C , faz-se necessário um tempo de 3,7 horas quando a distribuição das vagens é feita em camada fina

e, um incremento no tempo de secagem de 1,5, 2,0 e 2,5 h em relação a camada fina, quando esta é realizada com altura de 15, 20 e 25 cm, respectivamente para a mesma temperatura de secagem.

4.2. Secagem realizada no secador modelo UFV

Com os dados obtidos foram traçadas as curvas de secagem das vagens de algaroba, para as duas temperaturas médias do ar de secagem. Essas curvas de secagem são apresentadas na Figura 6 e os dados que as geraram nas Tabelas 6 e 7 do Anexo 1.

Observando-se o coeficiente de determinação, tem-se que este variou em função do número de pontos considerados com a temperatura de secagem. Os primeiros pontos representa uma razão de secamento muito grande, onde o fator limitante é representado pelas condições atmosféricas, como a evaporação rápida da camada de água livre da superfície das vagens. Já para a exponencial dos pontos após duas horas, tem-se para a secagem a 90^oC uma remoção de 5,9 pontos percentuais e deste ponto ao final da secagem para remover 3,2 pontos percentuais de umidade são necessário um tempo de 3,5 horas. Igualmente se verifica para a temperatura de 100^oC, onde nas duas primeiras horas de secagem são removidos do produto 7,6 pontos percentuais de água e nas duas horas restantes para o final da secagem foi retirado do produto 2,7 pontos percentuais de umidade. Desta forma tem-se que a duração da secagem diminui quando a temperatura do ar quente aumenta. Entretanto, não há proporcionalidade inversa entre estes dois parâmetros. Portanto, ao se aumentar a temperatura de secagem de 90^oC para 100^oC, ou seja, 25%, a temperatura de aquecimento conduziu a

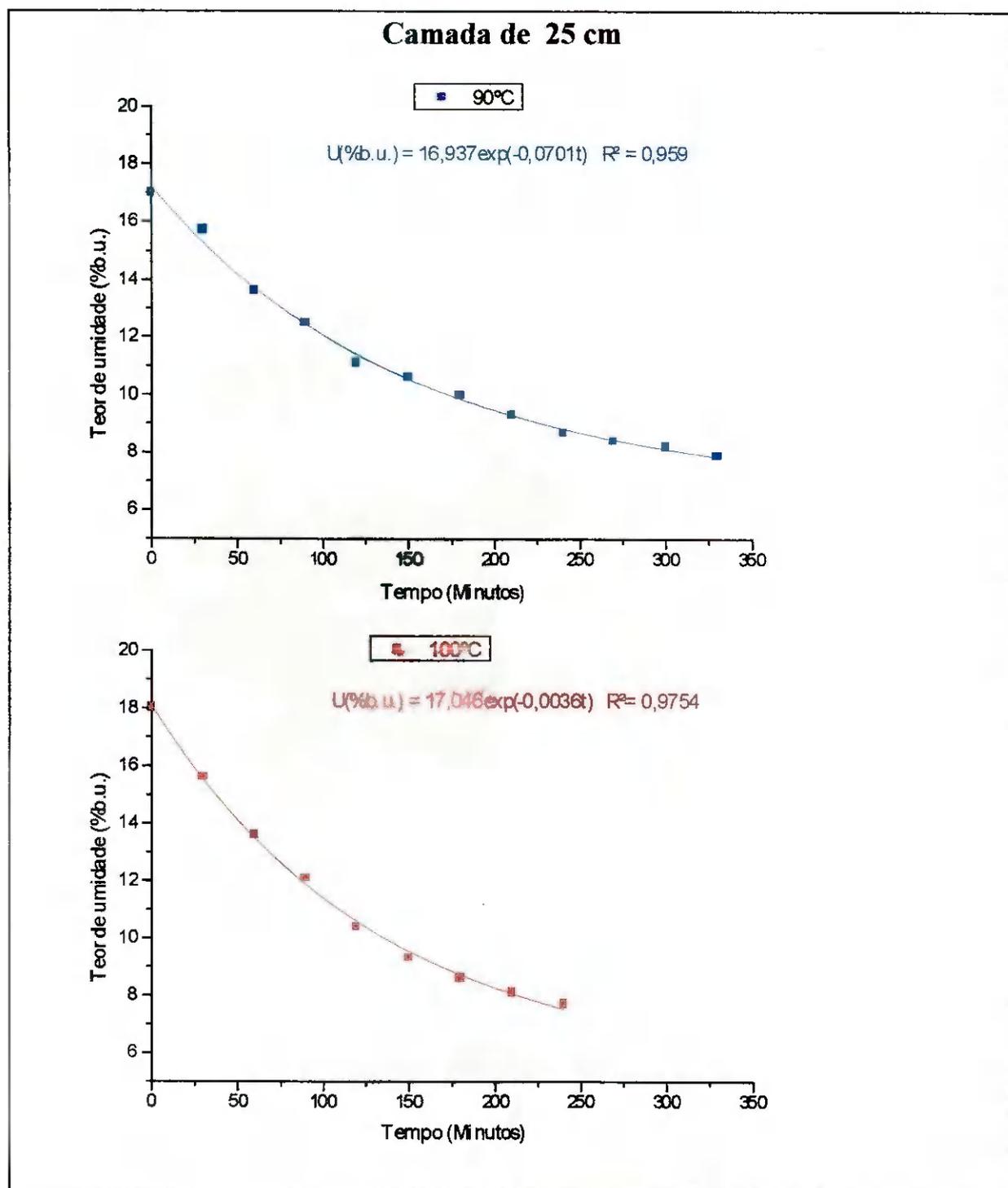


Figura 6. Curvas de secagem de vagens de algaroba e equações exponenciais para duas temperaturas, com camada de 25 cm do produto e velocidade do ar de secagem média de $0,9 \text{ m.s}^{-1}$ obtidas no secador tipo UFV

uma diminuição na duração da secagem de 330 para 240 minutos, ou seja, 37,5%. Comportamento que condiz com as observações de Alsina et al., 1996. Evidencia-se, ainda, que a razão de secamento diminui sensivelmente com a curva, tornando-se assintótica em relação ao eixo dos X .

Para as duas temperaturas, 90 e 100°C, a velocidade de secagem apresenta uma fase de desempenho similar mais longa a um nível mais elevado a 100°C que a 90°C e durante a segunda fase de secagem, o desdobramento é mais rápido a 100°C que a 90°C, onde se conclui que a velocidade de secagem é tanto mais elevada e a secagem tanto melhor sob o ponto de vista energético quanto mais alta for a temperatura inicial.

De uma maneira geral, estes resultados são úteis, uma vez que indica a forma em que pode ser utilizada as equações de secagem para predizer o tempo de secagem as temperaturas estudadas. Entretanto, esta é somente uma primeira importância já que supõem-se que toda a exposição ocorre a temperatura e teor de umidade final e não indica a severidade de danos que pode ocorrer ao produto.

Foi observado também que a experimentação em secadores tipo UVF, trabalhado na pesquisa, é cara e lenta, o que leva a conclusão que deve ser introduzido a simulação matemática por computador para a secagem desse produto. Porém o secador mostrou-se eficiente apresentando resultados uniformes com o produto revolvido três vezes durante a secagem.

Comparando-se os resultados obtidos e apresentados para os dois modelos (UFV e Laboratório) tem-se que as curvas de secagem se apresentam bem definidas porém com flutuações maiores nos pontos para os dados obtidos com a secagem realizada com o modelo UFV, indicando uma melhor condição de homogeneidade para a secagem em laboratório.

4.3. Secagem natural em terreiro

Os resultados da secagem das vagens de algaroba esparramadas em terreiro se encontram na Figura 7 e Tabela 9 do Anexo I. Como se observa, a secagem para esta condição somente se processa durante o dia, a noite o processo é de umidificação.

Em análise a Figura 7, verifica-se que chega um instante em que o processo começa a se tornar contrário. Isto é, a medida que avança o tempo as vagens de algaroba ganham umidade. Este período inicia-se a partir das 17:00 horas e se estende até as 06:00 horas. Esta movimentação envolve, possivelmente, mecanismos como: ações capilares, gradiente de pressão de vapor, gravidade e umidificação (Hall, 1971). Pode ocorrer o ganho de umidade com o aumento da umidade relativa do ar e o abaixamento da temperatura, isto é, com o esfriamento do ar.

O comportamento dos dados plotados na Figura 7, durante as 10 primeiras horas do processo de secagem, está de acordo com os resultados obtidos por Puzzi (1986) ao afirmar que à medida que a temperatura é aumentada, a umidade relativa torna-se menor e a secagem é mais completa e rápida. E, depois das 10 primeiras horas até o final da exposição das vagens de algaroba ao terreiro (fim do processo), o comportamento foi inverso o que é explicado pela segunda fase do processo de secagem (Hall, 1971). A umidade da vagem de algaroba se encontra a uma dada pressão parcial de vapor; o ar atmosférico que a rodeia apresenta uma pressão parcial semelhante. Em função da diferença de tensão parcial de vapor de água a vagem de algaroba adquire umidade.

Outro aspecto importante a considerar é o da velocidade de secagem. Até as 10 primeiras horas do processo esta velocidade de secagem relaciona

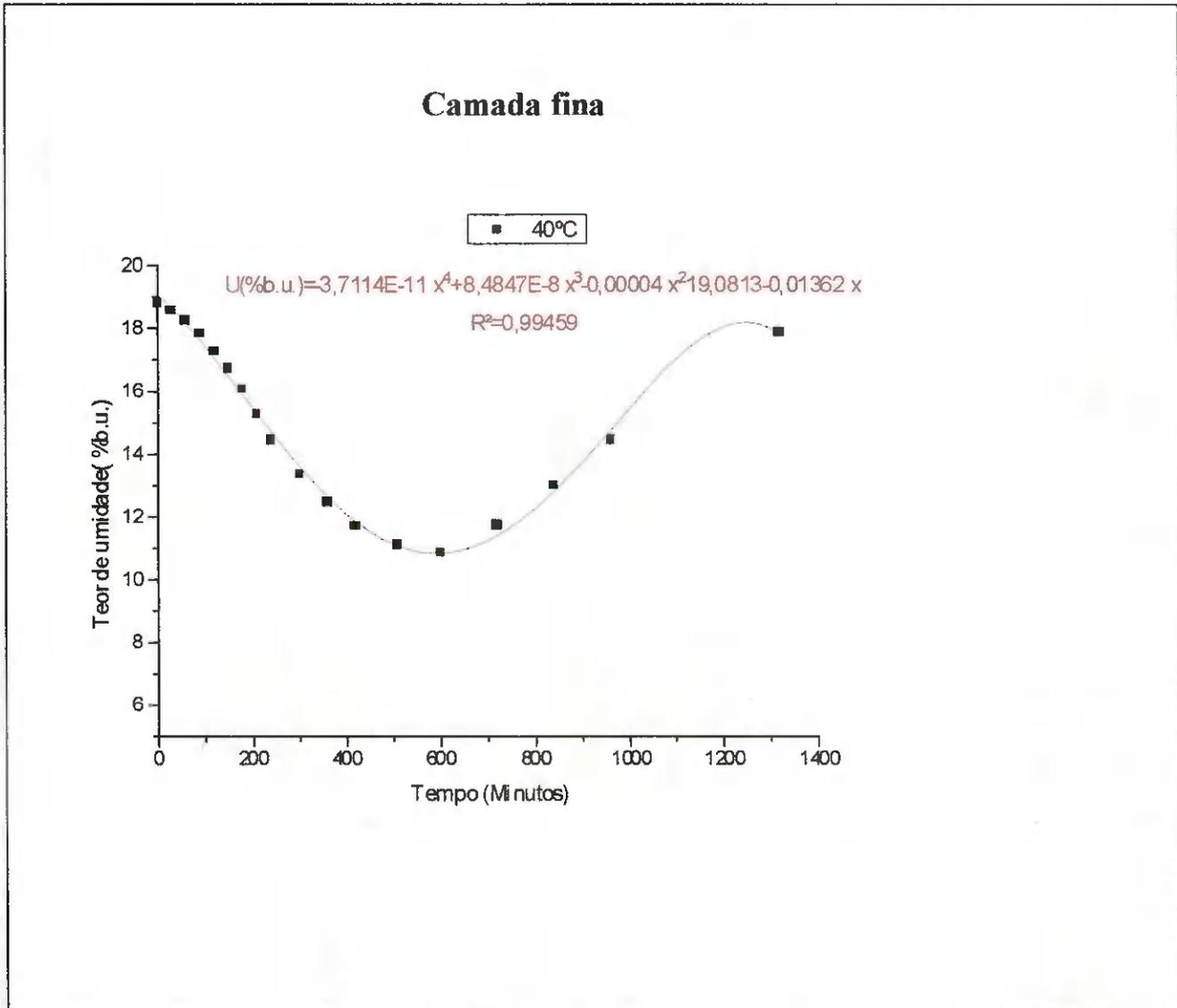


Figura 7. Curva de secagem de vagens de algaroba obtida em terreiro e equação polinomial

o teor de umidade da vagem de algaroba com o tempo. Observa-se que durante as 9 primeiras leituras a perda de umidade foi rápida, diminuindo 5,5 pontos percentuais em apenas 300 minutos e um segundo período em que a secagem é menos rápida com perda de umidade média de 2,6 pontos percentuais a cada intervalo de tempo até a umidade de 10,8 a qual foi verificada às 17:00 horas da tarde; depois o processo se inverte, chegando o produto às 6:00 horas do dia seguinte com teor de umidade aproximado ao do início da secagem ($\pm 18\%$ b.u.).

Mediante o processo de secagem natural, as vagens de algaroba, para as condições do estudo, não atinge o grau de umidade que possibilite uma boa trituração, além de apresentar o inconveniente de que se permanecerem esparramadas no terreiro, as condições climáticas durante a noite devolve a umidade removida durante o dia pela ação direta dos raios solares. Desta forma tem-se que as vagens de algaroba é um produto que apresenta facilidade tanto em perder como ganhar umidade depois de secas. De acordo com a facilidade de perder umidade estas podem ser classificadas como um produto de secagem rápida.

Mediante os resultados obtidos pode-se confirmar a influência dos fatores estudados sobre o tempo gasto na secagem para as vagens de algaroba atingirem a umidade que permite uma boa trituração. Este tempo, conforme a Figura 6 e a Tabela 6 e 7, do Anexo I, gasto no secamento deste produto para as condições de temperatura (90 e 100°C); altura da camada (25 cm), foi obtido mediante secagem realizada em um secador de leito fixo a nível de campo, para velocidade do ar de secagem média ($0,9 \text{ m.s}^{-1}$). Na Figura 6, têm-se as curvas de secagem ajustadas a equação $\%U_{\text{b}} = a.\exp(bt)$.

Os coeficientes ajustados para cada temperatura corresponde a coeficientes de regressão de 95,90 e 97,32.

Como ocorrido na secagem de laboratório também foi observado uma importante diminuição no tempo gasto para secar as vagens de algaroba em função da elevação da temperatura.

Pode-se verificar na Figura 6 e Tabelas 6 e 7, do Anexo I, que a perda do conteúdo de umidade é bem rápida no início do processo de secagem, cujo o secamento das vagens de algaroba até aproximadamente 7,9 e 7,7% b.u. para a temperatura de 90 e 100°C é de 330 e 240 minutos respectivamente, para a camada de 25 cm de altura a uma velocidade do ar de secagem média de 0,9 m.s⁻¹.

Para a secagem à 90°C e camada de 25 cm de altura o tempo gasto no secamento das vagens é de 1,5 horas maior que o exigido pela secagem a 100°C na mesma altura de camada.

Na Figura 8 pode-se observar que, dentro da faixa estudada, o efeito da temperatura, nas curvas de desorção das vagens de algaroba, o teor de umidade de equilíbrio higroscópico, depende não somente da temperatura, como também da umidade relativa do ar, uma vez que em temperatura mais elevada a umidade do ar de secagem é menor. Como para a maioria dos produtos higroscópicos, observa-se que o teor de umidade de equilíbrio decresceu com o aumento da temperatura e diminuição da umidade relativa do ar.

Outro fator que se observa interferindo no processo de desorção das vagens de algaroba até o seu equilíbrio com o meio ambiente é a altura da camada, ocorrência que se explica pela taxa de secagem a qual pode ser

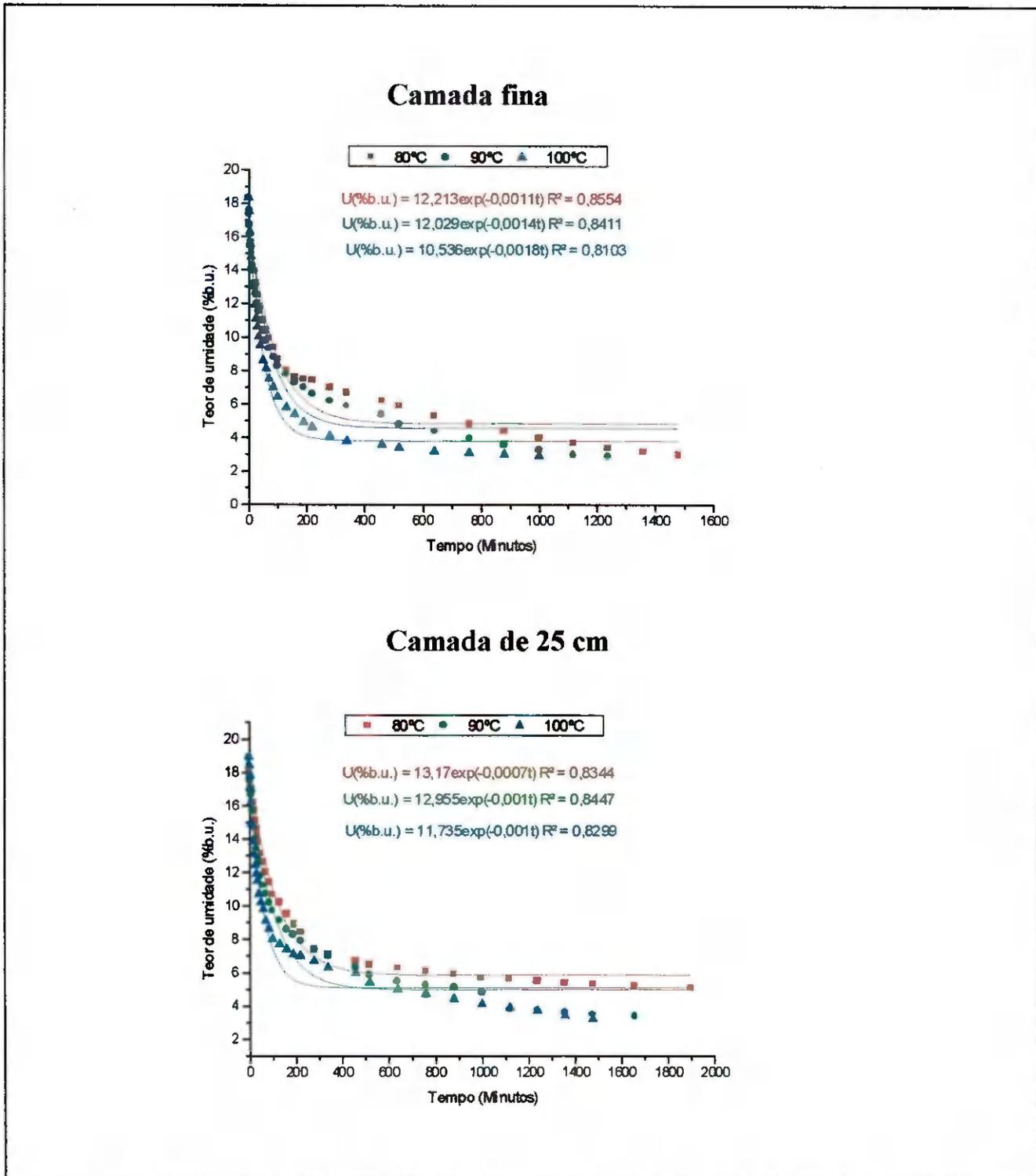


Figura 8. Curvas de equilíbrio higroscópico de vagens de algaroba e equações exponenciais para três temperaturas, duas alturas de camadas do produto com velocidade do ar de secagem de $1,5 \text{ m.s}^{-1}$, obtidas em secador de leito fixo em laboratório

acelerada com o aumento da temperatura do ar de secagem e, ou, com o aumento do fluxo de ar que passa pelo produto por unidade de tempo, sendo a quantidade de ar que passa pelo produto dependente, entre outros fatores, da umidade inicial do produto e a espessura da camada. Especificamente para os resultados obtidos com a pesquisa, esta atrasou a secagem para todas as temperaturas até as vagens de algaroba entrarem em equilíbrio higroscópico. Isto quando se compara a secagem realizada em camada de 25 cm de altura com a de camada espessa (Figura 8), obtida no secador de leito fixo em laboratório.

Na Tabela 11 encontram-se os dados de umidade de equilíbrio obtidos experimentalmente e, observa-se que a mudança de temperatura mostra resultados diferenciados a medida em que ocorre mudanças de temperatura.

Tabela 11. Dados experimentais da umidade de equilíbrio das vagens de algaroba para as temperaturas de 20, 30 e 40°C

T = 20°C		T = 30°C		T = 40°C	
a_w	X_e	a_w	X_e	a_w	X_e
0,1630	0,0702	0,1700	0,0660	0,1780	0,0900
0,3307	0,0844	0,3244	0,7300	0,3160	0,1105
0,5670	0,1210	0,5660	0,1077	0,5750	0,1585
0,6990	0,1687	0,6789	0,1549	0,6609	0,1815
0,8770	0,3118	0,8750	0,3298	0,8760	0,3154

Analisando-se os dados da Tabela 12, considerando-se apenas o valor do coeficiente de determinação (R^2), os modelos de BET, Halsey e Oswin

Tabela 12. Parâmetros de ajuste da isotermas das vagens de algaroba para as temperaturas de 20, 30 e 40°C

Parâmetros	T = 20°C	T = 30°C	T = 40°C
BET			
N	2	2	2
X_m	214,48	360,12	0,522
C	0,0005	0,0003	0,375
R^2 (%)	92,97	90,73	91,59
P (%)	13,51	16,70	11,94
Halsey			
a''	0,019	0,027	0,012
b	1,642	1,418	2,061
R^2 (%)	99,74	99,41	99,99
P (%)	1,23	2,03	0,12
Oswin			
a	0,116	0,105	0,146
b	0,495	0,581	0,387
R^2 (%)	99,01	98,61	99,65
P (%)	7,51	5,18	3,57

descrevem satisfatoriamente as isotermas de sorção das vagens de algaroba para as atividades de água variando de 16,30 a 87,70%, uma vez que seus coeficientes ficaram acima de 90%. É importante verificar que quando se

leva em consideração o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio relativo médio (P) as equações de Halsey e Oswin se apresentaram melhores que a de BET por mostrarem desvios menores que 10%, enquanto para o modelo de BET os resultados foram superiores a este, ou seja, 13,51, 16,70 e 11,94%, respectivamente, indicando que esta equação não prediz com a segurança como as equações de Halsey e Oswin os dados das isotermas e, conforme o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio relativo médio, tem-se a equação de Halsey com as constantes determinados para as vagens de algaroba foi o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais, seguido do modelo de Oswin, que também se ajustou satisfatoriamente aos dados experimentais, podendo ser utilizado para o cálculo da umidade de equilíbrio higroscópico das vagens de algaroba.

4.4. Componentes químicos das vagens de algaroba

Na Tabela 13 e, 10 do Anexo I, estão contido os dados das análises químicas das vagens de algaroba secas e trituradas, obtido no secador de laboratório.

Mediante os resultados da Tabela 13, não se verifica grandes variações em valores absolutos, nos componentes químicos das vagens de algaroba secas e trituradas, com relação as velocidades do ar de secagem estudadas.

Verifica-se também, que o teor de proteína teve um pequeno decréscimo em seus valores ao se aumentar a temperatura de 80°C para 90°C, aumentando quando a secagem foi realizada a temperatura de 100°C. Desta forma tem-se o efeito da influência deste fator (temperatura) sobre o comportamento químico da proteína.

Verificou-se que o teor de matéria seca aumentou com a elevação da temperatura de 80°C para 90°C e de 90°C para 100°C, comportamento contrário foi observado para o teor de matéria orgânica, o qual decresceu com o aumento da temperatura do ar de secagem.

Com relação ao percentual de gordura bruta, estes são maiores para as temperaturas mais altas.

Tabela 13. Resultado da análise química das vagens secas e trituradas de algaroba obtido no secador de laboratório

Amostra N°	Camada	T _{Secagem} (°C)	V _a (m.s ⁻¹)	Matéria seca (%)	Proteína bruta (%)	Gordura bruta (%)	Fibra bruta (%)	Cinzas (%)	Sacarose (%)	Matéria orgânica (%)	Umidade (%)
01	Fina	80	0,6	92,60	9,74	0,68	13,84	3,47	25,10	96,53	7,40
02	15 cm	80	0,6	92,80	8,86	2,05	14,71	3,54	32,22	96,46	7,20
03	20 cm	80	0,6	92,70	8,73	1,06	13,38	3,55	36,89	96,45	7,30
04	25 cm	80	0,6	92,60	8,97	1,15	15,34	3,62	36,73	96,38	7,40
05	Fina	80	1,5	92,60	8,45	1,48	13,51	3,58	39,97	96,42	7,40
06	15 cm	80	1,5	93,30	8,51	0,60	15,06	3,59	36,96	96,41	6,70
07	20 cm	80	1,5	93,00	9,83	1,41	15,15	3,47	32,71	96,53	7,00
08	25 cm	80	1,5	93,00	9,03	1,60	14,32	3,60	34,02	96,40	7,00
09	Fina	90	0,6	93,00	7,75	1,75	15,52	3,55	38,71	96,45	7,00
10	15 cm	90	0,6	93,00	9,54	2,08	14,31	3,94	37,87	96,06	7,00
11	20 cm	90	0,6	93,10	8,80	2,01	15,65	3,68	29,82	96,32	6,90
12	25 cm	90	0,6	92,90	8,98	1,81	14,78	3,88	38,71	96,42	7,10
13	Fina	90	1,5	93,00	8,81	0,81	14,32	3,75	40,17	96,25	7,00
14	15 cm	90	1,5	93,00	10,42	1,56	14,30	4,05	36,68	95,95	7,00
15	20 cm	90	1,5	93,10	9,10	1,54	17,36	3,50	29,62	96,50	6,90
16	25 cm	90	1,5	93,00	8,51	0,87	17,04	3,14	35,03	96,86	7,00
17	Fina	100	0,6	93,00	9,90	1,90	15,13	3,87	37,61	96,13	7,00
18	15 cm	100	0,6	93,10	9,54	1,86	15,62	3,86	31,27	96,14	6,90
19	20 cm	100	0,6	93,00	9,84	1,40	14,94	3,92	37,23	96,08	7,00
20	25 cm	100	0,6	93,10	8,79	2,65	15,17	3,78	35,45	96,22	6,90
21	Fina	100	1,5	93,00	8,93	1,56	15,24	3,83	32,69	96,17	7,00
22	15 cm	100	1,5	93,10	9,52	1,44	14,48	4,10	36,28	95,90	6,90
23	20 cm	100	1,5	93,00	9,59	2,12	15,80	3,78	36,55	96,22	7,00
24	25 cm	100	1,5	93,00	9,30	1,82	13,93	3,81	37,48	96,19	7,00

(¹) : Temperatura do ar de secagem

(²) : Velocidade do ar de secagem

Tem-se ainda pela análise da referenciada tabela que as vagens secas e trituradas de algaroba apresenta alto índice de matéria seca e matéria orgânica e níveis de proteína bruta que se assemelham aos grãos de milho (Silva, 1986), apresentando ainda bons níveis de fibra bruta e sacarose.

Os resultados da composição química das vagens de algaroba trituradas, quando comparados aos da literatura nacional e estrangeira como os de Barbosa (1977), Talpada (1979), Campos (1980), Ranga Rão e Reddy (1983), Del Valle et al. (1983), Silva (1983), Cavalcanti Mata (1986), Silva (1986) e Alsina et al. (1996), mostram valores que estão acima da média desses autores no caso da sacarose, segundo Silva (1986), esta diferença deve-se provavelmente, a fatores tais como: cultivares de plantas, origem, idade de planta, clima, solo, procedimento, etc.

Especificamente com relação aos teores de proteína bruta em comparação com a literatura citada são comparados aos de Alsina et al. (1996); os de cinza são superiores aos de Silva (1983) e inferiores aos obtidos por, Talpada (1979), Ranga Rão e Reddy (1983), Del Valle et al. (1983) e Silva (1986).

Em uma análise geral da Tabela 13, conclui-se que as vagens de algaroba são basicamente constituídas de matéria orgânica e matéria seca, seguida de sacarose, fibra, proteína, cinza e gordura.

5. CONCLUSÕES

Para as condições em que foi realizado os experimentos, concluiu-se que:

1. o modelo $\%U_{bu} = a.exp(-bt)$ determinado e usado para descrever o fenômeno de secagem se ajustou bem aos dados experimentais obtidos para as vagens de algaroba secas e trituradas,
2. o tempo médio requerido para as vagens de algaroba atingir a umidade de trituração, depende da temperatura empregada e da altura da camada de secagem, sendo de 220, 310, 340 e 370 minutos para a temperatura de 80°C; 190, 250, 280 e 340 minutos para a temperatura de 90°C e 85, 160, 190 e 220 minutos para a temperatura de 100°C, respectivamente para camada fina, de 15, 20 e 25 cm em todas as temperaturas,
3. a velocidade de secagem é tanto maior e a secagem tanto mais rápida, sob o ponto de vista energético, quanto mais alta for a temperatura inicial,
4. a secagem é fortemente influenciada pela espessura da sua camada, sendo processada mais lenta a medida que se eleva esta camada,
5. o revolvimento periódico das vagens de algaroba na secagem em camada espessa, tornou-a mais homogênea e eficiente,
6. a secagem em laboratório mostrou-se mais homogênea que a secagem em campo (secador UFV),
7. o estudo da secagem em laboratório pode ser empregado para determinar os perfis dos secadores de campo (modelo UFV),
8. a secagem natural mostrou-se inadequada para abaixar a umidade das vagens de algaroba até o ponto de trituração,
9. a umidade de equilíbrio higroscópico das vagens de algaroba aumenta com o aumento da umidade relativa do ar e diminuição da temperatura,

10. os modelos utilizados para predizer o equilíbrio higroscópico das vagens de algaroba, ajustaram-se satisfatoriamente aos dados experimentais das isotermas de sorção, sendo o melhor deles o de Halsey, seguido de Oswin e BET, respectivamente,
11. a cinética de secagem das vagens de algaroba ocorre dentro do período de taxa decrescente e não é grandemente influenciada pela velocidade do ar de secagem (0,6 a 1,5 m.s⁻¹), tendo esta exercido menor influência que a temperatura,
12. o acréscimo na umidade de equilíbrio é maior, quanto maior for o decréscimo da temperatura,
13. as vagens de algaroba secas e trituradas apresentam 35,24% de sacarose, 14,95% fibras, 9,15% de proteína bruta, o que lhe confere um valor altamente energético.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. de A.C.; FONSECA, K.S.; GOUVEIA, J.P.G. Secagem natural de *Sesamun indicum* e determinação da umidade de equilíbrio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.3, n.3. 1999.
- ALSINA, O.L.S.; ARAGÃO, R.F.; MONTEIRO, L.F. Estudo sobre as condições de secagem de vagens de algaroba, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25, e CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE ENGENIERIA AGRÍCOLA, 2, 1996 Bauru. **Resumos...** Bauru: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1996. CD Rom.
- ANDERSON, R.B. Modifications of the BET equation. **Journal of American Chemical Society**. v.68, p.686, 1946.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods of analysis**. 14 ed. Arlington, Virginia, 1984. 1v.
- BARBOSA, H.P. **Valor nutritivo da algaroba *Prosopis juliflora* (S.W.) D.C. através de ensaio de digestibilidade, em carneiros**. Viçosa, U.F.V., 1977. 48p. (Dissertação de Mestrado).
- BARROS, N.A.M.T. **Algaroba uma opção válida para o Nordeste seco**. Natal, U.F.R.N. 1981. 81p. (Dissertação de Mestrado).
- BARROS NETO, B. de; SCARMÍNIO, I.S.; BRUNS, R.E. **Planejamento e otimização de experimentos**. Campinas, Editora da UNICAMP, 1995. 299p.
- BRASIL, Ministério da Agricultura. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Departamento Nacional de Produção Vegetal, 1992. 188p.
- BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying cereal grains**. Westport, Conn. Avi, 1974, 265p
- BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. Theory and simulation of grain drying. In: **Drying and storage of grains and oilseeds**. Westport the AVI publishing Company, 1992. p.205-240.
- BOER, de J.H. **The dynamical character of adsorption**. Clarendon Press, Oxford, 1953.

- BRUNAUER, S.; EMMETT, P.H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. **Journal American Chemistry Society**, v.60, p.309, 1938.
- CAMPELO, R. **Algarobeira: alternativa para o semi-árido brasileiro**. Maceió: UFAL, 1985. 19p. (Informe Técnico).
- CAVALCANTI MATA, M.E.R.M.; ARAGÃO, R.F.; SANTOS, E.S.; SOUSA, J.B. Curvas de secagem de vagens de algaroba *Prosopis juliflora* (SW) D.C. em camada fina. **Revista Nordestina de Armazenagem**, Campina Grande, Ano III, v.2, p.26-49, 1986.
- CAVALCANTI MATA, M.E.R.M.; ARAGÃO, R.F.; SOUSA, J.B.; SANTOS, E.S. dos. Alterações dos percentuais dos componentes nutricionais das vagens de algaroba durante a secagem. **Revista Nordestina de Armazenagem**. Campina Grande, Ano III, v.2, p.50-63, 1986.
- CAVALCANTI MATA, M.E.R.M. Secagem a nível de pequeno produtor. In: ALMEIDA, F.A.C.; HARA, T.; CAVALCANTI MATA, M.E.R.M. (ed.). **Armazenamento de grãos e sementes nas propriedades rurais**. Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. Cap.2, p.52-132
- CAVALCANTI MATA, M.E.R.M.; MARTINS, J.H.; ARAGÃO, R.F. Estudo da higroscopicidade de vagens e sementes de algaroba *Prosopis juliflora* (S.W.) D.C. **Revista Nordestina de Armazenagem**. Campina Grande, Ano. I, v.1, p.33-54, 1984.
- CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H.A. Equations for fitting water sorption isotherms of foods. Part I a review. **Journal of food thecnology**, v.13, p. 159-174, 1978.
- CHRISTENSEN, C.M. **Storage of cereal grains an their products**. Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1974, 549p.
- CUNNINGHAN, F.E. Pratical applications of Food Dehydration. A Review. **Journal of Food Protection**, 45, v.5, p.479-483, 1982.
- DAUDIN, J.H. Calcul des cinétiques du séchage por l'air choudes. **Science Aliments**, v.3, n.1, p.1-36, 1983.

- DEL VALLE, F.R.; ESCOBEBO, M.; MUNOZ, M.J.; ORTEGA, R. e BOURGES, H. Chemical and nutritional studies on mesquite beans. *Prosopis juliflora* (SW) D.C., **Journal of Food Science**, v.48, p.914-919, 1983.
- GOUVEIA, J.P.G. de. **Avaliação da cinética de secagem de gengibre (*Zingiber officinale*, Roscoe) em um secador de leito fixo**. Campinas: UNICAMP, 1999. 161p. (Tese Doutorado).
- GRADOS, N.; CRUZ, GASTÓN. **La algaroba: perspectivas de utilización industrial**. Série de química, n.2, Universidad de Piura. Piura, Perú. Segunda edición, 1996.
- GUGGENHEIM, E.A. **Applications of statistical mechanics**. Clarendon Press, Oxford, 1966, 86p.
- HALL, C.W. **Drying farm crops**. Ann Arbor, Eduards Brothers, Michigan, 1971, 336p.
- KAPSALIS, J.G. Influences of histeresis and temperature on moisture sorption isotherms. In: ROCKLAND, L.B. (ed.). **Water activity: theory and applications to food**. New York: Marcel dekker, 1987, v.9, p.173-213.
- LANGMUIR, I. The adsorption of gases and plane surfaces of glass, mica and platinum. **Journal American Chemistry Society**, v.46, p.1361-403, 1918.
- LIMA, M.F.M. de. **Desidratação de polpa de umbu em leito de jorro - Estudos fluidodinâmicos e térmicos**. Campina Grande: departamento de Química da Universidade federal da Paraíba. 1992. 118p. (Dissertação de Mestrado).
- LOMAURO, C.J.; BAKSHI, A.S.; LABUZA, T.P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Par I: Fruit, Vegetable and meat products. **Lebensmittel-Winssenschaft and Technologies**, v.18, p.112-122, 1985.
- MENDES, B.V. **Potencialidades de utilização da algarobeira**. *Silvicultura*, v.37, p.26-27, 1984.

- MOREY, V.; WILCKE, W.F.; MERONUCK, R.A.; LANG, J.P. Relationship between equilibrium relative humidity and determination of shelled corn. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, MI, v.38, n.4, p.1139-1145, 1995.
- NUCCI, M.C.C.; MURR, F.E.X.; **Influência da temperatura e da velocidade do ar de secagem na qualidade do gengibre seco**. Campinas: Departamento de Engenharia de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos. 1994. 45p. (Trabalho Iniciação Científica).
- OGIHARA, L.A. **Determinação dos parâmetros de secagem de milho verde e ensaios de armazenamento**. Campinas, UNICAMPI, 1989. (Dissertação de Mestrado).
- OSWIN, C.R. The kinetics of packing life.III. The isotherm. **Journal Chemica industrial**, p.419-423., 1946.
- PARK, K.J. **Estudo comparativo do coeficiente de difusão sem e com encolhimento durante a secagem**. Campinas: Departamento de Engenharia Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos. 1987 54p. (Tese Livre Docência).
- PERRY, S. **Chemical engineers' handbook**. 6. ed. New York. Mc Gran-Hill, 1984, v.1.
- PINHEIRO, M.J.P.; SOUSA, R.P.; ESPINDOLA, G.B., Efeitos da adição de farelo de vagem de algaroba para suínos na fase de terminação **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.12, p.1943-1949, 1993.
- PRADO, M.E.T. **Secagem de tâmaras (*Phoenix dactylifera* L.) para a obtenção de tâmara passa**. Campinas: UNICAMP, 1998. 149p. (Tese de Doutorado).
- PUZZI, D. **Abastecimento e armazenagem de grãos**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1986. 630p.

- RANGA RÃO, N.S.; REDDY, M.R. Utilization of *Prosopis juliflora* (S.W.) D.C. pods in the concentrate feeds of cattle and sheep. **Indian Journal Animal Science**.v.53, n.4, p.367-372, 1983.
- RAPUSAS, R.S. e DRISCOLL, R.H. The Thin-Layer Drying Characteristics of white onion slices. **Drying Technology**, v.13, n.8, p.1905-1931, 1995.
- SILVA, A.M. de A. Valor nutritivo da algaroba *Prosopis Juliflora* (SW) D.C., na alimentação de suínos. Viçosa: UFV, 1986. (Dissertação de Mestrado).
- SILVA, D.J. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa, Imprensa universitária, 1991, 166p.
- SILVA, D.S. **Algaroba na alimentação de bovinos de corte em confinamento**. Fortaleza: BNB. 1983, 59p.
- SILVA, J.B., **Caracterização de propriedades funcionais do isolado protéico de sementes de algaroba *Prosopis juliflora* (SW) D.C. não modificado e modificado por acetilação**. João Pessoa, 1993. (Dissertação de Mestrado)
- SILVA, J. de S. e LACERDA FILHO, A. F.; **Construção e operação de secador de grãos**. Viçosa - UFV, 1993. 28p, (Boletim de Extensão, 34).
- SILVA, S. S., **Pré-processamento de produtos agrícolas**, Instituto Maria, Juiz de Fora, 1995, 500p.
- SILVA, S. **A algarobeira *Prosopis Juliflora* (SW) D.C. no Nordeste do Brasil**. Brasília, SNAP/SPA, 1995.
- SOUZA, A.G. de. **Análise térmica de derivados de algaroba *Prosopis juliflora* (SW) D.C.** João Pessoa: CCEN/UFPB, 1998. (Projeto de Pesquisa)
- TALPADA, P.M.; PANDE, M.B; PATEL, B.H; SHUKLA, P.C. Feed value of *Prosopis juliflora* (S.W.) D.C. pods to growing animals. **Indian Journal Science**., v.64, p.147-158, 1979.

YOSHIDA, C.M.P. Cinética de secagem do milho superdoce. Campinas: UNICAMP, 1997. 149p. (Dissertação de Mestrado).

YOUNG, J.H.; NELSON, G.L. Theory of histerese between sorption and desorption isotherm in biological materials. Transactions of the ASAE, St. Joseph, Michigan, v.10, n.2, p.260-263, 1976.

ANEXO I

Tabela 3. Valores dos teores de umidade (% b.u.) de vagens de algaroba, obtidos em um secador de leito fixo, a temperatura de 80°C para duas velocidades do ar de secagem e quatro alturas de camadas até umidade de trituração⁽¹⁾

Tempo (Min)	$V_w=0,6m.s^{-1}*$	$V_w=0,6m.s^{-1}*$	$V_w=0,6m.s^{-1}*$	$V_w=0,6m.s^{-1}*$	$V_w=1,5m.s^{-1}*$	$V_w=1,5m.s^{-1}*$	$V_w=1,5m.s^{-1}*$	$V_w=1,5m.s^{-1}*$
	h_{80cm}	h_{15cm}	h_{20cm}	h_{25cm}	h_{80cm}	h_{15cm}	h_{20cm}	h_{25cm}
00	18,2	18,5	18,9	19,0	18,3	18,7	19,0	18,9
02	17,6	18,1	18,3	18,6	17,3	18,3	18,3	18,2
04	17,1	17,6	17,8	18,2	16,7	17,7	17,7	17,8
06	16,7	17,1	17,3	17,8	16,1	17,0	17,1	17,5
08	16,2	16,5	16,7	17,4	15,6	16,6	16,6	17,1
10	15,5	16,2	16,3	17,1	15,2	16,1	16,1	16,8
15	14,7	15,5	15,9	16,5	14,2	15,2	15,3	16,2
20	14,2	14,9	15,5	16,0	13,9	14,4	14,5	15,7
25	13,7	14,4	15,0	15,5	13,2	13,7	13,8	15,1
30	13,0	13,8	14,5	15,0	12,5	13,1	13,2	14,6
35	12,5	13,3	14,0	14,6	11,8	12,6	12,8	14,2
40	11,8	12,7	13,6	14,2	11,6	12,1	12,2	13,8
50	11,3	12,1	13,2	13,5	11,0	11,4	11,6	13,1
60	11,0	11,6	12,7	12,9	10,4	10,8	10,9	12,6
70	10,5	11,0	12,4	12,4	9,9	10,3	10,3	12,0
85	10,1	10,5	11,8	11,8	9,4	9,7	9,8	11,4
100	9,6	10,0	11,3	11,2	8,7	9,3	9,4	10,7
130	9,1	9,4	10,7	10,5	8,0	8,7	8,7	10,2
160	8,5	8,9	10,1	9,9	7,6	8,2	8,2	9,5
190	7,9	8,4	9,6	9,3	7,5	7,9	7,8	8,9
220	7,4	8,0	9,0	8,8	7,4	7,5	7,5	8,4
250	-	7,7	8,5	8,4	-	7,2	7,4	7,9
280	-	7,4	8,1	8,1	-	6,9	7,2	7,4
310	-	7,2	7,7	7,8	-	6,7	7,0	7,2
340	-	-	7,3	7,6	-	-	-	7,1
370	-	-	-	7,4	-	-	-	7,0

(1): Temperatura média do ambiente → 29°C

(1): Umidade relativa média do ambiente → 61 %

h : Altura de camada.

* : Velocidade do ar de secagem.

Tabela 4. Valores dos teores de umidade (% b.u.) de vagens de algaroba, obtidos em um secador de leito fixo, a temperatura de 90°C para duas velocidades do ar de secagem e quatro alturas de camadas até umidade de trituração⁽¹⁾

Tempo (Min)	$V_a=0,6m.s^{-1}*$		$V_a=0,6m.s^{-1}*$		$V_a=1,5m.s^{-1}*$		$V_a=1,5m.s^{-1}*$	
	h_{00a}	$h_{15\text{ cm}}$	$h_{20\text{ cm}}$	$h_{25\text{ cm}}$	h_{00a}	$h_{15\text{ cm}}$	$h_{20\text{ cm}}$	$h_{25\text{ cm}}$
00	18,2	18,5	18,9	19,0	18,3	18,7	19,0	18,9
02	17,3	18,1	18,2	18,7	17,6	18,3	18,6	18,4
04	16,4	17,5	17,6	18,2	16,7	17,6	18,0	17,9
06	15,9	16,8	17,1	17,8	16,1	17,0	17,4	17,5
08	15,2	16,2	16,6	17,4	15,5	16,5	17,0	17,1
10	14,7	15,7	16,1	17,0	15,0	16,0	16,5	16,7
15	13,8	14,6	15,0	16,0	14,0	14,9	15,4	15,7
20	13,0	13,7	14,1	15,0	13,2	14,0	14,5	14,7
25	12,2	12,8	13,2	14,3	12,6	13,3	13,8	14,0
30	11,6	12,2	12,7	13,8	12,0	12,7	13,1	13,4
35	11,1	11,7	12,1	13,3	11,5	12,2	12,6	12,9
40	10,6	11,2	11,6	12,8	11,0	11,8	12,1	12,5
50	9,9	10,5	10,9	12,2	10,4	11,0	11,4	11,8
60	9,4	10,0	10,3	11,7	9,8	10,5	10,7	11,2
70	8,9	9,5	9,8	11,1	9,3	10,1	10,2	10,7
85	8,3	9,0	9,2	10,6	8,8	9,4	9,7	10,2
100	7,8	8,7	8,7	10,1	8,3	8,7	9,1	9,7
130	7,4	8,2	8,2	9,4	7,8	8,2	8,6	9,1
160	7,2	7,7	7,9	8,9	7,3	7,8	8,1	8,6
190	7,0	7,5	7,6	8,4	7,0	7,5	7,8	8,3
220	-	7,2	7,3	8,1	-	7,2	7,5	7,9
250	-	7,0	7,1	7,7	-	7,0	7,3	7,7
280	-	-	6,9	7,5	-	-	7,1	7,4
310	-	-	-	7,2	-	-	-	7,2
340	-	-	-	7,1	-	-	-	7,0

(1): Temperatura do ambiente → 28°C

(1): Umidade relativa do ambiente → 60 %

h : Altura de camada.

* : Velocidade do ar de secagem.

Tabela 5. Valores dos teores de umidade (% b.u.) de vagens de algaroba, obtidos em um secador de leito fixo, a temperatura de 100°C para duas velocidades do ar de secagem e quatro alturas de camadas até a umidade de trituração⁽¹⁾

Tempo (min)	$V_{ar}=0,6m.s^{-1}*$	$V_{ar}=0,6m.s^{-1}*$	$V_{ar}=0,6m.s^{-1}*$	$V_{ar}=0,6m.s^{-1}*$	$V_{ar}=1,5m.s^{-1}*$	$V_{ar}=1,5m.s^{-1}*$	$V_{ar}=1,5m.s^{-1}*$	$V_{ar}=1,5m.s^{-1}*$
	h_{60cm}	h_{15cm}	h_{20cm}	h_{25cm}	h_{60cm}	h_{15cm}	h_{20cm}	h_{25cm}
00	18,2	18,5	18,9	19,0	18,3	18,7	19,0	18,9
02	17,2	18,1	18,5	18,3	17,5	18,4	18,4	18,4
04	15,9	17,3	17,8	17,6	16,3	17,5	17,8	17,8
06	15,0	16,3	17,1	16,9	15,5	16,5	17,2	17,0
08	14,3	15,8	16,5	16,2	14,8	15,8	16,6	16,2
10	13,7	15,2	15,1	15,0	14,2	15,2	15,3	14,9
15	12,6	14,2	14,1	13,8	13,0	14,2	14,1	13,8
20	11,7	13,3	13,2	13,0	11,9	13,3	13,3	13,1
25	10,9	12,5	12,5	12,3	11,1	12,6	12,6	12,4
30	10,3	11,8	11,9	11,9	10,6	11,8	12,0	11,9
35	9,7	11,2	11,4	11,5	10,0	11,3	11,4	11,5
40	9,2	10,7	10,6	10,6	9,5	10,8	10,7	10,7
50	8,4	10,0	9,9	10,0	8,6	10,0	10,1	10,2
60	7,9	9,4	9,3	9,6	8,1	9,3	9,6	9,8
70	7,4	8,9	8,7	8,9	7,5	8,8	8,9	9,1
85	7,0	8,2	8,2	8,5	7,0	8,3	8,4	8,6
100	-	7,7	8,2	7,8	-	7,9	7,8	8,0
130	-	7,2	7,7	7,5	-	7,3	7,4	7,7
160	-	6,9	7,3	7,3	-	6,9	7,0	7,4
190	-	-	7,0	7,0	-	-	-	7,1
220	-	-	-	6,9	-	-	-	7,0

(1) : Temperatura do ambiente → 28,5°C

(1) : Umidade relativa do ambiente → 61 %

h : Altura de camada.

* : Velocidade do ar de secagem.

Tabela 6. Valores dos teores de umidade (% b.u.) de vagens de algaroba, obtidos em secador de camada estacionária, a nível de fazenda, modelo UFV, com camada de 25 cm, temperatura de secagem de 90°C e velocidade do ar de secagem de 0,9 m.s⁻¹(1)

Tempo (Min)	T _{sec} =90°C V _{ar} =0,9m.s ⁻¹ **	Média				
00	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0
30	16,9	16,9	14,7	15,1	14,8	15,7
60	15,3	15,5	12,5	11,9	12,7	13,6
90	13,8	13,9	11,8	11,1	11,8	12,5
120	12,1	12,3	11,0	9,6	10,6	11,1
150	11,5	11,8	10,3	9,2	10,1	10,6
180	11,0	11,2	9,5	8,8	9,5	10,0
210	10,2	10,4	8,8	8,1	9,0	9,3
240	9,4	9,5	8,4	7,8	8,6	8,7
270	9,0	9,1	8,1	7,7	8,3	8,4
300	8,6	8,7	7,8	7,6	8,1	8,2
330	8,3	8,4	7,6	7,5	7,9	7,9

(1) : Temperatura do ambiente → 39,0°C

(*) : Umidade relativa → 65,0 %

h : Altura de camada.

Tabela 7. Valores dos teores de umidade (% b.u.) de vagens de algaroba, obtidos em secador de camada estacionária, a nível de fazenda, modelo UFV, com camada de 25 cm, temperatura de secagem de 100°C e velocidade do ar de secagem de 0,9 m.s⁻¹(1)

Tempo (Min)	T _{sec} =100°C V _{ar} =0,9m.s ⁻¹ **	Média				
00	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0
30	16,2	15,8	15,0	15,5	15,4	15,6
60	14,4	14,0	13,1	13,4	13,3	13,6
90	12,6	12,9	11,5	11,7	11,6	12,1
120	10,9	11,0	9,8	10,0	10,4	10,4
150	9,4	9,8	8,9	9,2	9,4	9,3
180	8,7	9,0	8,3	8,6	8,6	8,6
210	8,3	8,4	7,8	8,0	8,2	8,1
240	7,9	8,0	7,5	7,7	7,6	7,7
-	-	-	-	-	-	-

(1) : Temperatura do ambiente → 39,0°C

(*) : Umidade relativa → 65,0 %

h : Altura de camada.

Tabela 8. Valores dos teores de umidade (% b.u.) de vagens de algaroba, obtidos em um secador de leito fixo, para três temperaturas, com velocidade do ar de secagem de $1,5 \text{ m.s}^{-1}$ e duas alturas de camadas até atingir a umidade de equilíbrio⁽¹⁾

Tempo (Min)	$T_{\text{sec}} = 80^{\circ}\text{C}^*$		$T_{\text{sec}} = 90^{\circ}\text{C}^*$		$T_{\text{sec}} = 100^{\circ}\text{C}^*$	
	h_{fina}	$h_{25 \text{ cm}}$	h_{fina}	$h_{25 \text{ cm}}$	h_{fina}	$h_{25 \text{ cm}}$
00	18,3	18,9	18,3	18,9	18,3	18,9
02	17,3	18,2	17,6	18,4	17,5	18,4
04	16,7	17,8	16,7	17,9	16,3	17,8
06	16,1	17,5	16,1	17,5	15,5	17,0
08	15,6	17,1	15,5	17,1	14,8	16,2
10	15,2	16,8	15,0	16,7	14,2	14,9
15	14,2	16,2	14,0	15,7	13,0	13,8
20	13,9	15,7	13,2	14,7	11,9	13,1
25	13,2	15,1	12,6	14,0	11,1	12,4
30	12,5	14,6	12,0	13,4	10,6	11,9
35	11,8	14,2	11,5	12,9	10,0	11,5
40	11,6	13,8	11,0	12,5	9,5	10,7
50	11,0	13,1	10,4	11,8	8,6	10,2
60	10,4	12,6	9,8	11,2	8,1	9,8
70	9,9	12,0	9,3	10,7	7,5	9,1
85	9,4	11,4	8,8	10,2	7,0	8,6
100	8,7	10,7	8,3	9,7	6,4	8,0
130	8,0	10,2	7,8	9,1	5,8	7,7
160	7,6	9,5	7,3	8,6	5,4	7,4
190	7,5	8,9	7,0	8,3	4,9	7,1
220	7,4	8,4	6,6	7,9	4,6	7,0
280	7,0	7,4	6,2	7,4	4,1	6,7
340	6,7	7,1	5,9	7,0	3,8	6,3
460	6,2	6,7	5,4	6,3	3,6	6,0
520	5,9	6,5	4,8	5,9	3,4	5,4
640	5,3	6,3	4,4	5,5	3,2	5,0
760	4,8	6,1	4,0	5,3	3,1	4,7
880	4,4	5,9	3,6	5,1	3,0	4,4
1000	4,0	5,7	3,3	4,8	2,9	4,1
1120	3,7	5,6	3,0	3,8	-	3,9
1240	3,4	5,5	2,9	3,7	-	3,7
1360	3,2	5,4	-	3,6	-	3,4
1480	3,0	5,3	-	3,5	-	3,2
1660	-	5,2	-	3,4	-	-
1900	-	5,1	-	-	-	-

(1) : Temperatura do ambiente $\rightarrow 28,0^{\circ}\text{C}$

(1) : Umidade relativa $\rightarrow 63,0\%$

h : Altura de camada,

* : Temperatura de secagem.

Tabela 9. Valores dos teores de umidade (% b.u.) de vagens de algaroba em camada fina, obtidos em terreiro (secagem natural) com temperatura de secagem de 40°C¹

Tempo (Min)	T _{sec} =40°C*	T _{sec} =40°C*	T _{sec} =40°C*	Média
	h _{fina}	h _{fina}	h _{fina}	
0	18,8	18,8	18,8	18,80
30	18,6	18,5	18,6	18,56
60	18,3	18,2	18,2	18,23
90	17,8	17,8	17,8	17,80
120	17,3	17,2	17,3	17,26
150	16,8	16,6	16,7	16,70
180	16,2	15,9	16,1	16,06
210	15,4	15,1	15,3	15,26
240	14,5	14,1	14,4	14,43
300	13,5	13,1	13,4	13,33
360	12,7	12,2	12,5	12,46
420	11,9	11,4	11,8	11,70
510	11,3	10,8	11,2	11,10
600	10,9	10,6	11,0	10,83
720	11,6	11,6	12,0	11,73
840	12,9	12,8	13,3	13,00
960	14,4	14,2	14,7	14,43
1320	17,9	17,8	17,8	17,83

⁽¹⁾ : Temperatura do ambiente ao solo → 40 °C

⁽²⁾ : Umidade relativa → %

^h : Altura de camada.

Tabela 10. Resultado da análise química do farelo das vagens de algaroba obtido no secador de campo

Amostra N°	Camada	T _{secagem} (°C)	V _{ar} ^{**} (m.s ⁻¹)	Matéria seca (%)	Proteína bruta (%)	Gordura bruta (%)	Fibra bruta (%)	Cinza (%)	Matéria orgânica (%)	Umidade (%)
01	15 cm	80	0,9	92,10	10,61	2,33	15,07	3,35	96,65	7,90
02	15 cm	100	0,9	92,30	9,57	2,28	13,81	3,53	96,47	7,70

^(*) : Temperatura do ar de secagem,

^(**) : Velocidade do ar de secagem.

ANEXO II

1. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE E MATÉRIA SECA

Método da estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ por 24 horas

Técnica:

- ✓ regular a temperatura da estufa a 105°C , admitindo-se uma variação de $\pm 3^\circ\text{C}$;
- ✓ secar os recipientes por uma hora em estufa a 130°C e resfriá-los em dessecador;
- ✓ pesar o recipiente e sua tampa em balança cuja sensibilidade esteja de acordo com a amostra;
- ✓ distribuir uniformemente as subamostras nos recipientes;
- ✓ pesar novamente os recipientes com as subamostras, com as respectivas tampas;
- ✓ colocar os recipientes sobre a tampa na estufa a 105°C ;
- ✓ iniciar a contagem do tempo de secagem somente depois da temperatura estabilizar em 105°C ;
- ✓ manter as subamostras na estufa por 24 horas;
- ✓ retirar as amostras da estufa após o período de secagem, tampar rapidamente os recipientes e colocá-los em dessecador contendo sílica gel para esfriar por 10 a 15 minutos;
- ✓ retirar as amostras do dessecador e proceder a pesagem.

Cálculo da umidade:

A porcentagem de umidade foi calculada na base do peso úmido, aplicando-se a seguinte fórmula:

$$\% \text{ de Umidade } (U) = \frac{100(P - p)}{P - t}$$

em que:

P = peso inicial: o peso do recipiente e sua tampa mais o peso do produto úmido;

p = peso final: o peso do recipiente e sua tampa mais o peso do produto seco;

t = tara: o peso do recipiente com sua tampa.

A *matéria seca* foi obtida por diferença do teor de umidade.

2. DETERMINAÇÃO DE PROTEÍNAS

Baseia-se na determinação do nitrogênio total da amostra, que através de cálculo é convertido em nitrogênio protéico. Para tanto, considera-se que cada 100 g de proteína contém em média 16 g de nitrogênio, obtendo-se desse modo o fator 6,25 que multiplicado pelo percentual de nitrogênio total da amostra, dará o percentual de proteína da mesma.

Uma massa conhecida da amostra seca e desengordurada, foi colocada no balão de Kjeldahl. Adicionou-se ao balão $1,9 \pm 0,1$ g de K_2SO_4 , 40 mg de HgO e 3 a 5 ml de H_2SO_4 . Foram colocadas no balão 3

pérolas de vidro e a amostra foi digerida até se tornar incolor. Em seguida foi transferida para o aparelho destilador. Adicionou-se ao destilador 10 ml de solução NaOH – Na₂S₂O₃. O destilado foi coletado em erlenmeyer contendo 5 ml da solução saturada de ácido bórico (H₃BO₃) e 4 gotas de indicador (verde de bromocresol – vermelho de metila). Foi coletado 50 ml do destilado, que foi titulado com solução de HCl 0,02 N até o aparecimento da cor vermelha ou rosa. A porcentagem de nitrogênio total pode ser calculada da seguinte forma:

$$\%N = \frac{N_{HCl} \cdot V \cdot 14}{A}$$

em que:

%N = porcentagem de nitrogênio total na amostra;

N_{HCl} = normalidade da solução de HCl (0,02 N);

V = volume de HCl 0,02 N gasto na titulação;

A = massa da amostra.

Para calcular a porcentagem de proteína na amostra, multiplica-se a porcentagem de nitrogênio total pelo fator 6,25.

3. DETERMINAÇÃO DE LIPÍDEOS

Os lipídeos geralmente são extraídos dos alimentos com auxílio de solventes orgânicos (éter etílico, éter de petróleo). O tempo de extração é variável dependendo da natureza do produto examinado. O ponto final da extração é indicado quando uma gota do solvente recém-destilado não acusar mais presença de gordura.

Método:

Extração contínua em aparelho de Soxhlet.

Técnica:

Pesar 2 a 5 g de material dessecado, transferir quantitativamente para o cartucho de Soxhlet e cobrir a amostra no cartucho com algodão. Extrair em aparelho de Soxhlet com éter etílico, utilizando balão de fundo chato (250 ml) previamente dessecado e tarado. Extrair por aproximadamente 6 horas.

Evapore o solvente e colocar o balão com resíduo em estufa a 105°C, Resfriar em dessecador até a temperatura ambiente e pesar.

Cálculo:

Calcular a quantidade de lipídeos para 100 g de produto dessecado e relacionar para 100 g de produto integral.

4. DETERMINAÇÃO DE FIBRAS

A fração de fibras representa o resíduo das substâncias das paredes celulares e além da celulose e lignina, a areia e outras substâncias minerais presas aos tecidos celulares. O processo mais utilizado para essa determinação é o de Hennemberg que, apesar de datar de 1864, vem sendo

utilizado com algumas modificações. O método visa simular in vitro, o processo da digestão in vivo. Consta fundamentalmente de uma digestão em meio ácido, seguida por uma digestão em meio alcalino. O resíduo dessas digestões representa a fibra bruta. O resíduo da incineração desse material fornece os subsídios para o cálculo da fração de fibras.

Antes do início da prática foi preparado um cadinho de Gooch com algodão de vidro, aquecido em mufla a 550°C e tarado. Colocou-se em um becker (graduado até 500 ml) uma massa conhecida da amostra seca e desengordurada (aproximadamente 2 g), em seguida acrescentou-se uma solução de NaOH 1,25% aquecida a ebulição do material do becker, até a marca de 200 ml. A solução foi fervida por exatamente 30 minutos.

Filtrou-se à vácuo o líquido ainda quente, sobre papel de filtro comum. O becker foi lavado com água destilada quente. Quando a filtração estava perto do final, uma solução de NaOH 1,25% foi aquecida à ebulição por 30 minutos. O material foi filtrado ainda quente, usando-se um cadinho de Gooch, e o becker foi lavado com água destilada quente. Lavou-se o resíduo do cadinho com água destilada quente, até que toda a alcalinidade tivesse desaparecido e em seguida 2 vezes com álcool etílico e 2 vezes com éter etílico.

O material foi dessecado em estufa a 105°C, pesado, incinerado em mufla a 550°C e outra vez pesado.

O peso da fibra total é a diferença entre a massa do cadinho e do material dessecado. A diferença entre a parte mineral e a fibra total, dará a fração de fibra do alimento,

5. DETERMINAÇÃO DE CINZAS

Conforme normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Pesou-se com exatidão em cadinho calcinado e tarado cerca de 2 g da amostra dessecada. Iniciou-se a incineração lentamente em bico de gás, procurando-se aquecer igualmente todas as faces do cadinho. Depois de completamente carbonizado, o cadinho foi levado à mufla a 550°C para total destruição da matéria orgânica. Depois de frio o material foi pesado. A diferença entre a massa do cadinho e do cadinho calcinado fornece a quantidade de cinzas da amostra.

6. DETERMINAÇÃO DE AÇÚCARES

Antrona : (9, 10 Dihydro-9 Oxantraceno) $C_{14}H_{10}$.

A antrona é um produto de redução da antraquinona. Foi primeiramente reconhecida por Dreywood (1946) como reagente específico para muitos carboidratos em solução de ácido sulfúrico concentrado produzindo uma cor azul esverdeada característica. Essa cor é atribuída a reação entre o hidroximetilfurfural (HMF) procedente da hexose e da antrona. Os carboidratos e seus derivados que não produzem HMF como produto final apresentam uma grande faixa de diferentes cores. Essa propriedade tem sido utilizada na análise diferencial de misturas. A antrona apresenta melhores resultados quando aplicada a soluções puras de hexoses ou seus polímeros, os quais produzem a cor esverdeada característica.

Técnica :

- ✓ amostra sólida (extração de glicose AOAC, 1984);
- ✓ pesar cerca de 2 g da amostra em cápsula de porcelana;
- ✓ transferir para erlenmeyer de 250 ml com auxílio de \pm 50 ml de álcool a 70% e adicionar cerca de 0,5 g de carbonato de cálcio;
- ✓ manter em banho-maria a 80-85° C por uma hora sob refluxo com auxílio de funil gargalo ou haste de vidro;
- ✓ retirar o erlenmeyer do banho e deixar em repouso por 15 horas sob temperatura ambiente;
- ✓ completar o volume para 100 ml com álcool a 95%;
- ✓ agitar, filtrar em papel de filtro para becker de 250 ml;
- ✓ colocar o becker em chapa aquecedora para evaporar até cerca de 10 ml;
- ✓ adicionar cerca de 10 ml de água destilada lavando as paredes do becker para retirar o resíduo e deixar aquecer na chapa;
- ✓ transferir para balão volumétrico de 100 ml.

Extração da sacarose:

- ✓ pipetar 20 ml do extrato e transferir para erlenmeyer de 125 ml;
- ✓ adicionar 0,5 ml de HCl, ferver 15 minutos em banho-maria;
- ✓ resfriar e neutralizar com solução saturada de Na_2CO_3
- ✓ completar o volume para 50 ml com água destilada;
- ✓ Dosear.