

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE SECAGEM E DA QUALIDADE DO SORGO
GRANÍFERO (*Sorghum bicolor* L. MOENCH)

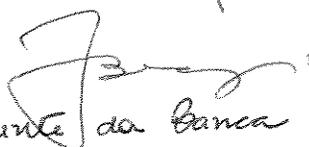
POR

MARIA APARECIDA RESENDE BRAGA AZEVEDO

Parecer

Este exemplar corresponde a redação final da dissertação de Mestrado defendida por Maria Aparecida Resende Braga Azevedo e aprovada pela Comissão Julgadora em 18 de dezembro de 1996. Campinas, 28 de outubro de 1998.

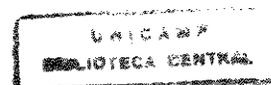
Orientador:
Prof. Dr. JOÃO DOMINGOS BIAGI


Presidente da Banca

Dissertação apresentada como cumprimento parcial dos requisitos para obtenção do título de mestre em Engenharia Agrícola, com área de concentração em Pré-Processamento de Produtos Agropecuários.

98 23043

Campinas, SP
Agosto / 1997



UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	UNICAMP
	Az25a
V.	
TUPLEX	35.805
PREL.	395/98
	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
PREL.	R\$ 11,00
DATA	13/11/98
N.º CPE	

CM-00118487-1

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Az25a Azevedo, Maria Aparecida Resende Braga
Avaliação dos processos de secagem e da qualidade do sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench). / Maria Aparecida Resende Braga Azevedo.--Campinas, SP: [s.n.], 1996.

Orientador: João Domingos Biagi
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Sorgo - Secagem. 2. Controle de temperatura. I. Biagi, João Domingos. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Ao meu esposo Joaquim Adelino

À minha filha Ana Carolina

pelo amor, carinho e dedicação

OFEREÇO

A Deus,

Aos meus pais Manoel e Maria;

Aos meus irmãos

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte da energia, que permitiu o caminhar, algumas vezes difícil, porém sempre presente a todo instante.

Aos meus pais pelo esforço e sacrifício que dispensaram, para meu crescimento moral e educacional.

À Faculdade de Engenharia Agrícola (UNICAMP) pela oportunidade concedida.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Dr. João Domingos Biagi pela orientação, apoio, incentivo e amizade durante o curso.

Aos docentes Dr. Benedito Carlos Benedetti, Dr. José Tadeu Jorge e ao Dr. Yoon pela colaboração e orientação durante a realização dos trabalhos.

A professora Dra. Marlene Rita de Queiroz pela amizade, apoio, disponibilidade e pelas valiosas sugestões durante a defesa e revisão deste trabalho.

Ao pesquisador Dr. Paulo César Magalhães do CNPMS-Embrapa/Sete Lagoas pela realização da análise de tanino e contribuição neste trabalho.

Ao Instituto de tecnologia de alimentos - ITAL nas pessoas da pesquisadora Cristina de Paula Ribeiro S. Magno e a técnica Regina pela colaboração na realização das análises de moagem.

A Coordenadoria de Assistência Técnica Integral - CATI nas pessoas da veterinária Mônica Martins e Dr. José Carlos Coutinho, pela liberação dos laboratórios para realização das análises químicas.

Ao CNPMS pela doação das sementes de sorgo.

A Profa Dra. Raquel Tanaami Gonçalves pela amizade, convivência e companheirismo.

Aos amigos Luis Otávio e Soraia pela apoio, amizade e ajuda nos testes iniciais para a condução do experimento.

A todos os colegas de pós-graduação em especial a Daniela, Iran, Ricardo, Eduardo, Denise, Leila, Ester, Celina, Conceição, Dalbello, pela convivência e amizade.

As secretárias Aninha, Marta, Rosângela e Vânia pela colaboração e amizade.

Aos funcionários do campo experimental, oficina mecânica e aos laboratoristas, Sr. Dagoberto, Francisco, Dario, Rosália e Rosa Helena pela colaboração no desenvolvimento dos trabalhos.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

Página

SUMÁRIO	v
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE SÍMBOLOS	xii
RESUMO	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo geral	3
2.2. Objetivos específicos	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. Cultura, produção e consumo	4
3.2. Estrutura e composição do sorgo	5
3.2.1. Estrutura	5
3.2.2. Composição	6
3.3. Utilização do sorgo granífero	6
3.3.1. Alimentação humana	6
3.3.2. Alimentação animal (monogástricos e ruminantes)	7
3.3.3. Usos industriais	8
3.4. Processamento do sorgo	9
3.4.1. Moagem	9
3.5. Princípios de secagem	10
3.5.1. Métodos de secagem	11
3.5.1.1. Secagem natural	11

3.5.1.2. Secagem artificial com ar aquecido	13
3.5.2. Parâmetros básicos que influenciam a secagem.....	16
3.5.2.1. Tipo de grão	16
3.5.2.2. Umidades inicial e final	16
3.5.2.3. Altura da camada de grãos.....	18
3.5.2.4. Temperatura de secagem.....	18
3.5.2.5. Umidade relativa do ar secante.....	20
3.5.2.6. Fluxo de ar	20
3.6. Qualidade do produto	22
3.6.1. Rendimento no beneficiamento	24
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	26
4.1. Matéria prima	26
4.2. Procedimento experimental.....	27
4.2.1. Secagem artificial.....	27
4.2.1.1. Secador	28
4.2.1.2. Sistema de circulação e aquecimento do ar de secagem	28
4.2.1.3. Dados coletados durante a secagem	29
4.2.1.4. Temperatura do ar de secagem.....	30
4.2.1.5. Fluxo do ar de secagem	30
4.2.1.6. Teor de umidade do produto.....	30
4.2.1.7. Acompanhamento do processo de secagem artificial.....	31
4.2.2. Secagem solar.....	32
4.3. Avaliação do processo de secagem	32
4.4. Qualidade	34
4.4.1. Análises químicas.....	34
4.4.2. Aspectos físicos.....	35
4.4.2.1. Rendimento no descascamento.....	35
4.4.2.2. Moagem e análise granulométrica	35
4.5. Análise estatística	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1. Condições ambientais durante a secagem artificial e solar do grão de sorgo.....	38
5.2. Curvas de secagem	40
5.2.1. Secagem artificial.....	40

5.2.2. Secagem solar em terreiro.....	46
5.3. Gradientes de temperatura e umidade.....	47
5.3.1. Gradiente de umidade durante a secagem.....	47
5.3.2. Gradiente de temperatura.....	52
5.4. Taxa média de secagem	55
5.5. Potencial de secagem.....	56
5.6. Tempo de secagem	59
5.7. Tempo de resfriamento	60
5.8. Teor de umidade final	61
5.9. Qualidade do produto.....	61
5.9.1. Aspectos químicos.....	61
5.9.2. Aspectos físicos.....	62
6. CONCLUSÕES	65
7. SUMMARY.....	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

LISTA DE FIGURAS

Figura	Assunto	Página
1	Esquema do secador e da posição das bandejas utilizadas (bandeja 1, 2 e 3).....	29
2	Curvas de secagem do sorgo para o teste 6 ($T = 60^{\circ}\text{C}$, $Q = 9\text{m}^3/\text{min.m}^2$) com teor de umidade inicial de 21,0%	41
3	Curvas de secagem do sorgo para o teste 8 ($T = 60^{\circ}\text{C}$, $Q = 9\text{m}^3/\text{min.m}^2$) com teor de umidade inicial de 24,1%.....	42
4	Curvas de secagem do sorgo para o teste 12 ($T = 60^{\circ}\text{C}$, $Q = 18\text{m}^3/\text{min.m}^2$) com teor de umidade inicial de 23,9%.....	43
5	Curvas de secagem do sorgo para o teste 3 ($T = 45^{\circ}\text{C}$, $Q = 18\text{m}^3/\text{min.m}^2$) com teor de umidade inicial de 21,0%.....	44
6	Curvas de secagem do sorgo para o teste 13 ($T = 75^{\circ}\text{C}$, $Q = 9\text{m}^3/\text{min.m}^2$) com teor de umidade inicial de 23,9%.....	45
7	Curvas de secagem do sorgo para o teste 5 ($T = 45^{\circ}\text{C}$, $Q = 18\text{m}^3/\text{min.m}^2$) com teor de umidade inicial de 24,0%.....	45
8	Curvas de secagem do sorgo para o teste 1 ($T = 45^{\circ}\text{C}$, $Q = 9\text{m}^3/\text{min.m}^2$) com teor de umidade inicial de 23,9%.....	46

9	Curvas de secagem solar do grão de sorgo com umidade inicial de 24,5, 24,0 e 21,0%.....	47
10	Curvas médias de secagem e gradiente de umidade durante a secagem do sorgo para os testes 5 e 8 ($T = 45^{\circ}\text{C}$, $Q = 18\text{m}^3/\text{min.m}^2$ e $T = 60^{\circ}\text{C}$, $Q = 9\text{m}^3/\text{min.m}^2$) com teor de umidade inicial de 24,0 e 24,1%, respectivamente.....	49
11	Curvas médias de secagem e gradiente de umidade durante a secagem do sorgo para os testes 1 e 13 ($T = 45^{\circ}\text{C}$, $Q = 9\text{m}^3/\text{min.m}^2$ e $T = 75^{\circ}\text{C}$, $Q = 9\text{m}^3/\text{min.m}^2$) com umidade inicial de 23,9%.....	49
12	Gradiente de umidade no final da secagem do grão de sorgo para teor de umidade próximo de 21,0%.....	50
13	Gradiente de umidade no final da secagem do grão de sorgo para teor de umidade inicial próximo de 24,0%.....	50
14	Valores médios dos gradientes de temperatura e gradientes de umidade final em função das condições de secagem.....	52
15	Gradiente de temperatura no final da secagem do grão de sorgo com teor de umidade inicial de aproximadamente de 21,0%.....	54
16	Gradiente de temperatura no final da secagem do grão de sorgo com teor de umidade inicial de aproximadamente de 24,0%.....	54
17	Taxa média de secagem (g/h) para o grão de sorgo, para teores de umidade inicial variando de 20,5 a 24,0%.....	57
18	Condições do ar de secagem na saída do secador para os testes 5 e 16 ($T = 45^{\circ}\text{C}$, $Q = 18\text{m}^3/\text{min.m}^2$ e $T = 75^{\circ}\text{C}$, $Q = 18\text{m}^3/\text{min.m}^2$) com teores de umidade iniciais de 24,0 e 23,9%, respectivamente	58
19	Condições do ar de secagem na saída do secador para os testes 13 e 16 ($T = 75^{\circ}\text{C}$, $Q = 9\text{m}^3/\text{min.m}^2$ e $T = 75^{\circ}\text{C}$, $Q = 18\text{m}^3/\text{min.m}^2$) com teor de umidade inicial de 23,9%.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela	Assunto	Página
1	Composição total dos grãos de milho e sorgo e suas frações.....	6
2	Esquema da análise de variância para experimento em fatorial.....	37
3	Esquema da análise de variância para experimento em fatorial com tratamento adicional.....	37
4	Condições ambientais de temperatura e umidade relativa dentro do laboratório durante a realização dos testes de secagem do grão de sorgo.....	39
5	Condições ambientais diárias de temperatura (T), umidade relativa (UR), velocidade média do vento (VM), nebulosidade (N) e horas de insolação (I) durante a realização dos testes de secagem solar do grão de sorgo.....	39
6	Resultados obtidos na secagem de sorgo com teores de umidade iniciais variando de 20,5 a 24,0% na secagem artificial e na secagem solar	40
7	Resumo da análise de variância para $t_{(s+r)}$, $Agua_{1(s+r)}$, $Tx_{(s+r)}$, t_r , gradiente de temperatura (∇T) e gradiente de umidade (∇U) para os tratamentos (fatorial 3 x 2), com teor de umidade inicial de aproximadamente 24,0%, submetidos a secagem artificial.....	51

8	Médias das variáveis analisadas por tratamento, temperatura, fluxo para o grão de sorgo submetido a secagem artificial e solar com teor de umidade inicial de aproximadamente 24,0%.....	53
9	Resultados médios obtidos pela secagem artificial de 4500g de grão de sorgo, com teores de umidade inicial variando de 20,5 a 24,5%.....	55
10	Resumo da análise de variância para rendimento no descascamento, teor de umidade final, tempo de secagem, água retirada e taxa de secagem para os tratamentos, com teor de umidade inicial de 24,0%, submetidos a secagem artificial e solar.....	56
11	Valores dos teores de proteína, extrato etéreo, fibra e tanino para o grão de sorgo submetido a secagem artificial e solar, e original.....	62
12	Valores obtidos para rendimento no descascamento do grão de sorgo submetido a secagem artificial e solar.....	63
13	Valores de umidade, temperatura, tempo de moagem e diâmetro médio obtidos durante o teste de moagem usando uma peneira de 3,2 mm.....	64

LISTA DE SÍMBOLOS

$Agua_1$	Agua retirada na secagem (g)
$Agua_{1(s+r)}$	Agua retirada na secagem mais resfriamento (g)
b.u.	base úmida
b.s.	base seca
Band. 1	Bandeja um
Band. 2	Bandeja dois
Band. 3	Bandeja três
D. médio	Diâmetro médio do grão moído (mm)
D. Padrão	Desvio Padrão
N.t.	Número do teste
Q	Fluxo do ar de secagem ($m^3/min.m^2$)
Rend. desc.	Rendimento no descascamento (%)
$T_{(f.m)}$	Temperatura final do produto após a moagem
$t_{(s+r)}$	Tempo de secagem mais resfriamento (h)
T. inicial	Temperatura inicial do produto antes da moagem
T/Q	Temperatura de secagem/ Fluxo do ar de secagem

T_f vs T_{ad}	Tratamento fatorial versus tratamento adicional
t_r	Tempo de resfriamento (h)
T_s	Temperatura de secagem ($^{\circ}C$)
t_s	Tempo de secagem (h)
$T_{(s+r)}$	Tempo total de secagem (secagem + resfriamento)
$TX_{(s+r)}$	Taxa média de secagem (secagem + resfriamento) (g/h)
TX_s	Taxa média de secagem (g/h)
$U(t)$	Curva de secagem média
<hr/>	
∇T	Gradiente de temperatura (h)
∇U	Gradiente de umidade (%)
μ_f	Teor de umidade final (%b.u.)
μ_f (gr. moído)	Umidade final do grão moído (%)
μ_o	Teor de umidade inicial (%b.u.)
μ_o (gr. inteiro)	Umidade inicial do grão inteiro (%)

RESUMO

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) teve o seu desenvolvimento em muitas regiões agrícolas do mundo recentemente, apesar de ser uma cultura muito antiga, sendo o quinto cereal mais plantado no mundo. No Brasil o cultivo do sorgo granífero iniciou-se nos anos de 1970 no Rio Grande do Sul. A secagem é uma das etapas mais importantes do beneficiamento, devendo ser bem conduzida para manter a qualidade do produto e permitir uma armazenagem segura. Este trabalho teve por finalidade avaliar a secagem natural (solar) e artificial do sorgo granífero (Híbrido BR-303) e os principais parâmetros envolvidos nos processos. Os parâmetros estudados na secagem artificial foram: temperatura (45, 60 e 75°C); umidade inicial (20,5 a 24,1% b.u.) e fluxo de ar (9 e 18 m³/min.m²). O experimento foi realizado no laboratório de secagem da Feagri/Unicamp, utilizando um secador de camada fixa com altura do leito de grãos de 0,50 m. Para a secagem natural o produto foi colocado em uma bandeja (1 m² de área) com 0,03 m de altura de leito, com exposição ao sol das 9 as 17 horas. Foram realizados 17 testes na secagem artificial e três na secagem natural. Para efeito de análise estatística foram considerados 12 testes da secagem artificial e dois da solar, todos com teor de umidade ao redor de 24%, estes foram analisados em fatorial (3 x 2) com um tratamento adicional (secagem natural), totalizando 7 tratamentos, em delineamento inteiramente casualizado, com duas repetições. As variáveis avaliadas

foram: rendimento no descascamento, teor de umidade final, tempo de secagem, água retirada na secagem, taxa média de secagem, tempo de secagem mais resfriamento, água retirada na secagem mais resfriamento, taxa de secagem mais resfriamento, tempo de resfriamento, gradiente de temperatura e gradiente de umidade. Os processos de secagem natural e artificial apresentaram a mesma eficiência quanto ao teor de umidade final e parâmetros de qualidade nutricional avaliados, no entanto, a secagem natural demandou um tempo maior e é dependente das condições ambientais. A temperatura de 60,0°C mostrou-se superior para todos os parâmetros analisados. O fluxo de 18m³/min.m² mostrou-se superior ao de 9m³/min.m², em todas as temperaturas, para todos parâmetros, além disso, possibilitou uma secagem mais uniforme da massa de grãos. As temperaturas de secagem de 45,0 e 60,0°C proporcionaram maior rendimento no descascamento. As temperaturas de secagem não influenciaram a moagem e os teores de proteína bruta, extrato etéreo, fibra bruta e fenóis totais.

1. INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) teve grande desenvolvimento somente a partir do fim do século passado em muitas regiões agrícolas mundiais, apesar de ser uma cultura muito antiga. É o quinto cereal mais plantado no mundo, logo depois do trigo, arroz, milho e cevada, (EMBRAPA, 1988).

No Brasil, a cultura do sorgo granífero desenvolveu-se em anos recentes, a partir de 1970 no Rio Grande do Sul, onde ensaios pioneiros foram realizados. Esta cultura tem despontado como uma excelente alternativa para as peculiaridades agronômicas das diversas regiões brasileiras, pelo seu potencial na produção de grãos e forragem.

O sorgo é uma cultura precoce, rústica, de fácil adaptação e apresenta maior rendimento de grãos por hectare em condições ambientais adversas, do que outros cereais. É tolerante a solos de baixa fertilidade, longos períodos de seca e excessiva umidade, que são fatores limitantes ao cultivo do seu principal concorrente, o milho.

No Rio Grande do Sul, o sorgo substituiu a soja no binômio soja-trigo, quando o agricultor faz rotação de cultura. Em São Paulo, é plantado principalmente em sucessão à soja precoce ou amendoim, o que possibilita o estabelecimento de duas culturas em um mesmo ano agrícola (INFORME AGROPECUÁRIO, 1996). O sorgo permite a

mecanização do plantio à colheita, possibilitando a utilização de colheitadeiras combinadas comumente usadas para milho, soja, arroz e trigo.

Devido às suas características nutricionais, tem sido pesquisado como sucedâneo do milho, por possuir em sua composição um conteúdo de nutrientes similar. O sorgo é usado na formulação de rações de bovinos, aves e suínos, permitindo assim, que maiores quantidades de milho sejam destinadas para alimentação humana e exportação.

Na alimentação humana têm sido pesquisadas cultivares mais apropriadas para a produção de farinha de sorgo, tendo como parâmetro a farinha de trigo. O custo de produção de sorgo é menor, com um rendimento médio de grãos maior que o trigo. A eficiência de moagem de sorgo, usando o mesmo equipamento para trigo, mostra que o custo da farinha de sorgo é menor que o da farinha de trigo (EL-DASH et al., 1986).

Em função da necessidade cada vez mais crescente de ampliar o número de opções de alimentos e de aumentar a produção de grãos para consumo humano e animal, o sorgo tem-se mostrado promissor. Por ser menos exigente que o milho, com relação às condições climáticas, com grande potencial em várias regiões do Brasil.

Para obter grãos e sementes com padrão de qualidade, a secagem e o armazenamento constituem passos importantes nas operações de pós-colheita e comercialização. Secagem e armazenamento inadequados contribuem para diminuir a qualidade dos grãos e o vigor das sementes, reduzindo o seu valor no mercado (COELHO et al., 1979).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral:

- O desenvolvimento deste trabalho tem por objetivo avaliar os processos de secagem natural e artificial do sorgo granífero.

2.2. Objetivos específicos:

- Avaliar os efeitos dos dois processos de secagem e de sua influência na qualidade final do sorgo.
- Avaliar os efeitos da temperatura e do fluxo do ar na eficiência da secagem.
- Avaliar os efeitos da temperatura e do fluxo do ar de secagem e o teor de umidade inicial na qualidade do sorgo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Cultura, produção e consumo

O centro de origem do sorgo é a região central do continente africano, mais especificamente a província de Kordofan (Sudão), em função da grande diversidade de formas selvagens encontradas naquela localidade. Após sua descoberta na África, a referida cultura se expandiu para a Arábia, Índia e China (FANCELLI, 1986).

O sorgo pertence à família das gramíneas e ao gênero *Andropogoneae*, (MORE, 1991). É um cereal de grande diversidade genética, existindo mais de 10 mil genótipos que se agrupam em quatro classes principais sendo: sorgo granífero, sorgo forrageiro, sorgo sacarino e sorgo vassoura. O sorgo granífero é o mais importante do ponto de vista econômico (ROONEY et al., 1970).

A cultura do sorgo granífero no Brasil desenvolveu-se em anos recentes, a partir de 1970. Em 1995 a área cultivada no Brasil foi de 211 mil hectares, com uma produção de 417 mil toneladas, concentrada no centro-oeste, sudeste e sul com colheitas respectivamente de 160, 180 e 70 mil toneladas. Entre os principais países produtores de sorgo no mundo no biênio 1994/1995 destacam-se Estados Unidos, Índia, Nigéria, China, Argentina e México (AGRIANUAL, 1996).

O sorgo é umas das fontes energéticas mais importantes nos trópicos semi-áridos do mundo, principalmente África e Ásia, sendo que a maior parte de sua produção é destinada à alimentação de 700 milhões de habitantes. Nestes locais, diferentes variedades de sorgo são utilizadas para preparar alimentos como: mingaus, pães, "snacks", bebidas e cerveja. Na Índia o sorgo é a base da dieta alimentar da população, possuindo a maior área cultivada de sorgo do mundo, aproximadamente três vezes a dos Estados Unidos, tendo no entanto, uma produção 1,7 vezes menor que a deste país devido ao baixo nível tecnológico empregado (INFORME AGROPECUÁRIO, 1986).

3.2. Estrutura e composição do sorgo

3.2.1. Estrutura

O grão de sorgo tem forma esférica ligeiramente achatada de aproximadamente 4,00 mm de comprimento por 3,5 mm de largura e 2,5 mm de espessura (ROONEY & CLARK, 1968). De acordo com WALL & ROSS (1975) o sorgo pode ser classificado, segundo o tamanho dos grãos, em: pequenos (8-10 mg), medianos (12-24 mg) e grandes (25-35 mg), e quanto a sua forma pode ser ovóide, elipsóide ou esférica.

O fruto ou cariopse é constituído de três partes principais: a cobertura externa ou pericarpo (7 a 9%), o tecido de reserva ou endosperma (79 a 85%) e o germe (8-12%) (WALL & ROSS, 1975). As cores do pericarpo variam desde o branco até o vermelho, amarelo ou marrom. Em algumas variedades existe uma camada logo abaixo do pericarpo chamada testa, rica em pigmentos devido à concentração de polifenóis ou taninos. Interno a

testa fica o endosperma que é formado pela aleurona, pela camada periférica e regiões protéica e amilácea (WALL & BLESSIN, 1969).

3.2.2. Composição

A composição do grão de sorgo e suas partes são geralmente similares às do milho como mostra a Tabela 1 (WALL & BLESSIN, 1969). Segundo esses autores a composição do grão de sorgo de diferentes fontes pode variar devido a muitos fatores, incluindo a natureza do genótipo, o solo, as condições climáticas e o manejo da cultura.

Tabela 1. Composição total dos grãos de milho e sorgo e suas frações.

Fração	endosperma	germe	proteína	amido	cinzas	óleo
	%	%	%	%	%	%
Milho	82,3	11,5	10,3	71,5	1,4	4,8
Sorgo	82,3	9,8	12,3	73,8	1,7	3,6

FONTE: WALL & BLESSIN (1969)

3.3. Utilização do sorgo granífero

3.3.1. Alimentação humana

O sorgo tem sido empregado em muitos países como fonte de alimentação humana, principalmente em algumas regiões semi-áridas, onde a deficiência de calorías, especialmente em tempos de seca, representa um problema nutricional importante. Em regiões da Índia, África e China, o sorgo responde por mais de 70% do total das calorías e grande parte das proteínas na dieta humana (INFORME AGROPECUÁRIO, 1986).

A farinha de sorgo pode ser misturada à de trigo em até 12% para panificação e em até 30% no preparo de biscoitos e bolos, podendo, inclusive, substituir a maizena e o fubá de milho. Na fabricação de pães, é admitida, tanto pura quanto misturada com farinha de mandioca ou de batata-doce, em até 25%. É empregada também, como ligante, na indústria de salsichas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 1986; EL-DASH et al., 1986).

Os grãos de sorgo descascados podem ser consumidos cozidos com arroz ou algum grão leguminoso, ou sob a forma de pipoca (quando torrados) ou, ainda, tostados mediante fritura em pequena quantidade de óleo. Em seres humanos, a digestibilidade dos carboidratos alcança 98%; a dos lipídeos 95%; e a das proteínas 92% (INFORME AGROPECUÁRIO, 1979; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 1986).

3.3.2. Alimentação animal (monogástricos e ruminantes)

A produção e o mercado para ração animal continuam sendo o de maior importância para o grão de sorgo. Pesquisas mostram que sob o ponto de vista prático o sorgo é comparado ao milho, como fonte de energia, na produção de ração (INFORME AGROPECUÁRIO, 1979). O sorgo apresenta um teor de proteína bruta entre 10-11% dependendo da cultivar, com variações entre 6% até 15%. Portanto, na formulação de rações, é sempre conveniente se determinar o conteúdo de proteína, através de análise.

RODRIGUES (1996) estudando métodos para determinação de tanino em sorgo observou que o teor apresentado por alguns materiais variou em função da metodologia utilizada e concluiu que o método Azul da Prússia foi o que apresentou maior correlação

com os dados de resposta biológica obtidos com aves. O autor cita também que as variedades de sorgo que apresentam teores menor que 0,8% são consideradas livres de tanino.

Resultados de pesquisas demonstram que nas rações destinadas a aves, o milho pode ser substituído por sorgo na proporção de 50%, se não tiver tanino, ou 25%, se tiver. Em relação à dieta para suínos, o milho pode ser substituído por sorgo em 100% ou 50%, na ausência e presença de tanino, respectivamente. Quanto ao emprego do sorgo na alimentação de ruminantes, é do conhecimento que este grão pode substituir totalmente o milho, não só do ponto de vista alimentar, como também no aspecto econômico. Para estes, a substituição independe da presença de tanino (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 1986).

3.3.3. Usos industriais

Segundo a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO (1986), os produtos do sorgo para a indústria são divididos em amiláceos e não amiláceos. O amido do sorgo é quase idêntico ao do milho. Portanto, tem as mesmas aplicações: papelaria, laminação e franzimento, materiais de construção, adesivos, explosivos, têxteis, lavanderia, produtos de mercearia, panificação, pastelaria, cervejaria e outros usos industriais diversos.

A gelatinização do amido de sorgo ocorre entre 68 a 72°C (temperatura inicial e final do processo) em presença de água, o que facilita a ação de enzimas. Os principais produtos não amiláceos são o óleo e o gérmen. O óleo é semelhante ao de milho, ligeiramente menos saturado, podendo ser industrializado de forma similar. A proteína é

empregada na manufatura de proteína vegetal hidrolizada, um ingrediente para molho de carne e cozimentos. A farinha de gérmen é um excelente suplemento protéico, de boas digestibilidade e palatalização (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 1986).

3.4. Processamento do sorgo

O processamento do sorgo está relacionado com sua utilização. Para o consumo humano é feita a remoção das camadas externas do grão, o pericarpo, para posteriormente ser realizada a moagem. Este processo tem sido denominado descascamento, polimento ou descorticação. O pericarpo é rico em compostos fenólicos, polissacarídeos complexos e fitatos que prejudicam a qualidade da farinha (EL-DASH et al., 1986).

3.4.1. Moagem

A moagem é a etapa mais importante do processamento do sorgo, uma vez que a qualidade da farinha produzida influenciará diretamente na qualidade dos produtos a serem elaborados. Partículas grossas tornam a textura do produto arenosa. Contudo partículas menores que 150μ melhoram as propriedades de absorção de água, gelatinização e desintegração, aumentando sua qualidade de panificação (EL-DASH et al., 1986).

3.5. Princípios de secagem

A secagem dos grãos é um processo de transferência de energia e de massa, geralmente conduzida por convecção forçada do ar aquecido que tem por finalidade reduzir o teor de umidade do produto até aos níveis desejados e adequados para as operações subsequentes (PUZZI, 1986; SOARES, 1986).

A secagem, segundo CARVALHO & NAKAGAWA (1988) apresenta-se como uma exigência para poder garantir a qualidade do grão e/ou semente, uma vez que o alto teor de umidade pode afetar a qualidade destes produtos não só no período de armazenamento, mas também durante as operações de beneficiamento, dificultando muitas vezes o manejo e a eficiência das máquinas utilizadas nestes processos.

Grãos armazenados secos, entre 11 a 13% de umidade, mantêm um processo respiratório discreto. No entanto, quando o teor de umidade está acima, a respiração dos grãos e sementes é consideravelmente acelerada, acarretando a sua deterioração. O processo respiratório é acompanhado de redução das substâncias nutritivas e mudanças nas suas propriedades físicas e químicas, tornando-os inúteis para o consumo “in natura” ou processamento industrial (PUZZI, 1986).

Diversos autores, HALL (1971); BROOKER et al., (1974); HUKILL (1974) e CARVALHO (1994), afirmam que há pelo menos dois períodos distintos na secagem de um material poroso. Estes períodos são denominados período de taxa de secagem constante e de taxa de secagem decrescente. O teor de umidade que separa estes dois períodos de secagem recebe o nome de teor de umidade crítico (BROOKER et al., 1992).

De acordo com CARVALHO (1994), no primeiro estágio ocorre a transferência da umidade da superfície das sementes para o ar que as circunda e se inicia a partir de um teor

de umidade elevado, recebendo o nome de tempo de secagem a taxa constante. A perda de umidade constante, ou seja, a quantidade de água removida (água livre) na unidade de tempo é sempre a mesma, isto encerra quando atinge o teor de umidade crítico (que acredita-se estar entre 16% e 17%). No segundo estágio, quando o teor de umidade crítico é atingido, a taxa de secagem passa a ser variável, tornando-se cada vez menor à medida que o processo avança. O fator limitante nesta fase é a redução da migração de umidade, isto é, a redução do movimento de umidade do interior da semente para a superfície. Este período recebe o nome de tempo de secagem a taxas decrescentes.

3.5.1. Métodos de secagem

A umidade de colheita dos grãos de sorgo quase sempre é maior que a adequada para o armazenamento, o que torna a secagem uma operação indispensável. Com a secagem, o grão deve atingir 12 a 13% de umidade para que seja armazenado com segurança. As formas de secagem normalmente utilizadas para grãos são secagem natural e secagem artificial.

3.5.1.1. Secagem natural

No processo de secagem, é necessário fornecer certa quantidade de energia ao produto, a qual depende do próprio produto e dos conteúdos inicial e final de umidade. Dentro dos diferentes sistemas de secagem dos produtos agrícolas, a secagem solar em terreiro é, ainda hoje, muito utilizada devido à simplicidade de construção e operação, baixo

custo inicial e versatilidade destas construções. As necessidades energéticas deste processo são obtidas completamente por meios naturais: da entalpia do ar e da radiação solar (INFORME AGROPECUÁRIO, 1979; ROSSI & ROA, 1980; INFORME AGROPECUÁRIO, 1986).

A secagem natural começa após a maturação fisiológica, na própria planta, e pode ser complementada em terreiros (terra batida, tijolos, concreto ou asfalto) ou eiras na lavoura com o aproveitamento das correntes naturais do ar e dos raios solares. A secagem em terreiro apresenta duas partes distintas: a primeira compreende esparramação, aquecimento, movimentação e aeração, e a segunda consiste do abafamento para igualação do teor de umidade. Este método pode ser aplicado antes da debulha para qualquer sistema de colheita, podendo ser usado como secagem complementar ou definitiva (INFORME AGROPECUÁRIO, 1979; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 1986).

A capacidade, o tempo de secagem e a qualidade do produto final dependem completamente das condições climáticas. Estas variam no espaço e no tempo, fazendo com que a técnica de secagem em terreiro seja imprevisível, com altos riscos de se perder o produto ou comprometer grandemente sua qualidade (ROSSI & ROA, 1980).

A técnica de secagem em terreiro é utilizada principalmente para produtos colhidos com alto teor de umidade, que não podem ser secos na planta, como o café e o cacau, além dos cereais e leguminosas. Neste sistema, o produto é distribuído sobre um piso de tijolo, cimento, asfalto ou terra batida, numa camada de espessura geralmente inferior a dez centímetros e revolvido periodicamente (ROSSI & ROA, 1980).

BIAGGIONI (1995) observou que a secagem em terreiro apresentou os melhores resultados em termos de qualidade final do produto, quando comparada com outros sistemas

de secagem. Os processos avaliados neste estudo foram: secagem na planta; secagem à alta temperatura e secagem a baixa temperatura em leito fixo. A operação realizada em terreiro apresentou um tempo relativamente curto e com menor perda de qualidade, que foi favorecida pelas condições locais de temperatura e umidade relativa durante o trabalho.

A pré-secagem do sorgo antes da debulha consiste em espalhar as panículas sobre um terreiro ou uma eira, em camada fina, até que os grãos tenham sua umidade reduzida, ao ponto de facilitar a debulha, depois da qual efetua-se a secagem complementar (INFORME AGROPECUÁRIO, 1979; INFORME AGROPECUÁRIO, 1986).

3.5.1.2. Secagem artificial com ar aquecido

Segundo HENDERSON (1966) e HALL (1971), a secagem artificial é uma das mais importantes operações no processamento de grãos, pois reduz o teor de umidade do produto, permitindo o seu armazenamento; diminui o risco de infestação por microorganismos, preservando-lhes a qualidade e o valor nutritivo para consumo como alimento e assegura o poder germinativo no caso de sementes.

As condições de secagem com ar aquecido devem ser controladas para evitar o aquecimento excessivo, pois este ocasiona danos aos grãos e à viabilidade das sementes. É preciso também controlar estas condições para proporcionar uniformidade ao processo e obter produto com teor de umidade final homogêneo e adequado ao armazenamento e manutenção da viabilidade (BROOKER et al., 1974).

O processo de secagem visa a retirada da água da semente através da transferência simultânea de calor do ar para a semente e de massa, por meio do fluxo de vapor d'água, da semente para o ar, segundo ALVARENGA (1979) e PARK (1988).

Na secagem por convecção, com emprego de ar aquecido, o ar de secagem fornece calor para evaporar a água presente no produto e, ao mesmo tempo, é o sorvedor do vapor d'água formado na superfície, segundo Nellist (1981) e Laws & Parry (1983) citados por VALENTINI (1992).

De acordo com CARVALHO & NAKAGAWA (1988), o processo se baseia na propriedade pela qual, aumentando-se a temperatura do ar, a sua umidade relativa diminui e, conseqüentemente, aumenta a sua capacidade de absorver umidade. Ocorrendo o equilíbrio higroscópico, o teor de umidade das sementes acompanha a diminuição da umidade relativa do ar, havendo, assim a secagem do produto.

A secagem estacionária com ar aquecido é aquela em que uma quantidade de grãos, depositada em uma câmara de secagem é seca pela passagem de ar quente forçado por meio de um ventilador, e os grãos permanecem parados (HENDERSON, 1966; HALL, 1971).

A secagem estacionária para o sorgo pode ser feita a temperatura de até 60,0°C e camadas não superiores a 0,80-1,00 m. A temperatura do ar só poderá ser mais elevada, se a espessura da camada não superar 0,50 m e se for removida, à medida que fique seca. A temperatura precisa ser controlada porque se ultrapassar 60,0°C, pode prejudicar o valor alimentício do grão pela oxidação dos carboidratos (INFORME AGROPECUÁRIO, 1979; INFORME AGROPECUÁRIO, 1986; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 1986).

Segundo CLASER (1995), não existe uma curva de secagem padrão que satisfaça a todos os produtos agrícolas, em razão das diferenças na constituição biológica. Para cada tipo de produto agrícola existe uma curva característica de secagem, a qual depende da constituição biológica do produto (oleaginosa ou amilácea), forma física do grão, do cultivar, do processo de secagem, da temperatura, umidade relativa e vazão do ar de secagem.

GUSTAFSON & MOREY (1980) reportam que os secadores de fluxos cruzados apresentam a desvantagem de permitir o estabelecimento de gradientes de temperatura e de umidade ao longo da espessura da massa de grãos. Estes gradientes surgem porque os grãos, mais próximos ao local da entrada do ar, secam e se aquecem mais do que os grãos localizados na região de exaustão do ar. Por esta razão estes secadores normalmente operam com alto fluxo de ar e com uma coluna de secagem mais delgada.

MOREY et al. (1976) trabalhando com secadores convencionais de fluxos cruzados concluíram que ocorre uma redução nos gradientes de umidade e temperatura do grão, quando se eleva o fluxo de ar ou se reduz sua temperatura.

DALBELLO (1995) concluiu que os gradientes de umidade e temperatura, na coluna de secagem, para o amendoim e milho-pipoca, aumentaram com o aumento da temperatura e reduziram com o aumento do fluxo de ar de secagem. O maior teor de umidade inicial proporcionou um maior gradiente de umidade e menor gradiente de temperatura na coluna de secagem. A taxa de secagem aumentou com o aumento da temperatura e fluxo de ar.

3.5.2. Parâmetros básicos que influenciam a secagem

Os parâmetros que influenciam a secagem são principalmente, a temperatura e a umidade relativa do ambiente, temperatura e fluxo do ar de secagem, teor de umidade inicial, final e de equilíbrio dos grãos, temperatura dos grãos no secador, bem como as propriedades químicas e físicas dos grãos (BAKKER-ARKEMA et al., 1978; DALPASQUALE & SILVA, 1983).

3.5.2.1. Tipo de grão

A secagem de produtos agrícolas depende de vários fatores: tipo de grão, sua forma, tamanho, composição química, estrutura do grão e o conhecimento das propriedades térmicas que nos fornecem informações importantes para a secagem e armazenamento. Cada grão possui características diferentes, que devem ser levadas em consideração no ato da secagem.

O destino dos grãos é variável e devido a isto, o tratamento deve ser diferenciado para cada finalidade específica. Além disso, como os produtos agrícolas possuem características próprias, diferentes métodos de secagem são empregados no seu processamento (DALPASQUALE & SILVA, 1983).

3.5.2.2. Umidades inicial e final

O teor de umidade dos grãos tem um efeito concreto na operação de colheita e na qualidade do produto obtido, no pré-processamento, no armazenamento e/ou no

processamento dos produtos para utilização. Para cada um desses processos, há um teor de umidade ótimo ou crítico, acima ou abaixo do qual os resultados não são satisfatórios (DALPASQUALE & SILVA, 1983).

O teor de umidade inicial está relacionado com a quantidade de água a ser removida durante a secagem. A maioria dos cereais, leguminosas e oleaginosas, é classificada como possuindo baixo teor de umidade inicial (da ordem de 15-35%) segundo ROSSI & ROA (1980). O sorgo pode ser colhido satisfatoriamente quando sua umidade se encontrar entre 18 e 25% (COELHO et al., 1979; INFORME AGROPECUÁRIO, 1986; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 1986).

O teor de umidade final do produto é aquele que se deseja chegar para proporcionar um armazenamento seguro, mantendo as qualidades desejadas de acordo com o destino do produto (ROSSI & ROA, 1980).

BROOKER et al. (1974) relatam que as principais desvantagens dos secadores de camada fixa são: heterogeneidade dos teores de umidade final da camada de grãos, baixa eficiência e baixa capacidade de secagem. A modificação de qualquer das variáveis do sistema de secagem em camada fixa (temperatura do ar, fluxo do ar, altura da camada de grãos e teor de umidade inicial do produto) compromete a eficiência, a uniformidade da umidade final na camada e a capacidade de secagem (SABBAH et al., 1977; STEVENS et al., 1976).

CALDERWOOD (1961), estudando a secagem de arroz em secadores de ar aquecido e a aeração como tratamento suplementar, concluiu que o resfriamento à temperatura ambiente, com aeração durante o período de repouso resulta em economia de

combustível e menor tempo de funcionamento do secador. Essa economia foi atribuída à redução de umidade que ocorre durante o resfriamento.

3.5.2.3. Altura da camada de grãos

Trata-se de um fator com grande influência sobre a resistência oferecida à passagem do ar. Quando é usado ar aquecido para secagem de grãos, a altura da camada deve ser menor, pois o ar aquecido provoca gradientes de umidade entre a camada próxima à entrada do ar e as sucessivas. Para evitar que a camada próxima à entrada do ar sofra uma supersecagem, o mais recomendado é que se reduza a altura da camada de grãos. Segundo COELHO et al. (1979) e CARVALHO (1994), a altura máxima da camada de grãos de sorgo granífero na secagem estacionária com ar aquecido deve ser de 0,50 m. Quanto maior a altura da camada de produto, menor deverá ser a temperatura do ar de secagem e maior deverá ser a vazão de ar. O aumento da vazão de ar, com o fim de diminuir a desuniformidade da umidade final da camada, é limitado pela capacidade do ventilador (STEVENS & THOMPSON, 1976).

3.5.2.4. Temperatura de secagem

Ao se submeter os grãos a uma corrente de ar aquecido, deve-se considerar que o uso de temperaturas excessivamente elevadas causa muitos danos, tais como: perda do poder germinativo em temperaturas acima de 45,0°C; modificações nas propriedades químicas do amido e das proteínas, em temperaturas acima de 65,0°C, tornando os produtos

impróprios ao processo industrial; perdas de substâncias voláteis, comprometendo a qualidade química dos grãos; trincamento dos grãos causado por gradiente de umidade alto (a umidade é rapidamente extraída das camadas mais externas dos grãos, dando origem a um gradiente de umidade do centro para a periferia) (MACHADO et al., 1977; CAVARIANI & BAUDET, 1982).

GUSTAFSON & MOREY (1974), concluíram que a suscetibilidade dos grãos à quebra aumenta com temperaturas maiores e com menores teores de umidade, e diminuem com a utilização de resfriamento lento ou de seca-aeração. Em secador de camada fixa, altas temperaturas e baixos fluxos de ar aumentam o gradiente de umidade na coluna de secagem. YOUNG & DICKENS (1975) e STEVENS & THOMPSON (1976) advertem que em secadores de camada fixa, a temperatura do ar deve ser mantida em níveis relativamente baixos, visando reduzir a supersecagem nas camadas inferiores e a subsecagem nas superiores.

O parâmetro de maior flexibilidade num sistema de secagem em altas temperaturas é a temperatura do ar de secagem. Esta temperatura, conjugada com o fluxo de ar, são os fatores responsáveis pela quantidade de água removida no processo de secagem e na qualidade final do produto.

O aumento da temperatura implica em menor gasto de energia por unidade de água removida, maior taxa de secagem e maior gradiente de temperatura e umidade, enquanto que um aumento no fluxo de ar reduz a eficiência energética, mas aumenta a velocidade de secagem (BAKKER-ARKEMA et al., 1978; LASSERAN, 1978; BAKER et al., 1993).

Segundo (PUZZI, 1986), a secagem com baixas temperaturas permite que certas substâncias voláteis permaneçam no grão, conservando suas qualidades originais. A

temperatura máxima admissível fica na dependência da natureza do produto e do fim para o qual se destina o grão seco. No caso do sorgo, a temperatura máxima de secagem para semente seria de 40,0°C, para extração de amido de 60,0°C e para alimentação animal de 82,0°C. A temperatura também fica na dependência do teor de umidade inicial do grão: umidades menores podem admitir maiores temperaturas.

BROOKER et al. (1992) e LI & MOREY (1984) concluíram que a temperatura do ar de secagem é o parâmetro que exerce maior influência sobre a taxa de secagem entre todas as variáveis estudadas (fluxo de ar, umidade inicial do produto e umidade relativa do ar) e que a umidade relativa do ar apresenta menor efeito sobre a taxa de secagem quando comparado com a umidade inicial do produto, podendo ser desconsiderada quando se utilizam altas temperaturas e camadas finas.

3.5.2.5. Umidade relativa do ar secante

Para efetuar a secagem é necessário que a pressão de vapor do ar de secagem seja inferior à pressão de vapor do produto, isto é, que a umidade relativa do ar de secagem seja inferior àquela em que a semente está em equilíbrio, de acordo com Harrington (1973a) citado por VALENTINI (1992).

3.5.2.6. Fluxo de Ar

É o volume de ar insuflado em uma massa de grãos para que se retire a umidade do produto. Durante a secagem é recomendado o controle de fluxo de ar para que haja uma

distribuição uniforme pela massa de grãos visando uniformidade do processo e a qualidade do produto final.

O fluxo de ar é um parâmetro que depende das condições climáticas pois quanto mais úmida for a região, ou a época, em que se estiver fazendo a secagem, maior deve ser o volume de ar a se insuflar na massa de grãos, Toledo (1969) citado por CARVALHO & NAKAGAWA (1988).

GUNASEKARAN & JACKSON (1988), estudando a resistência do grão de sorgo ao fluxo de ar, determinaram que a faixa de fluxo de ar requerida para o grão de sorgo varia de 3 à 18 m³/min.m², para uma camada de grãos variando de 0,15 a 1,20 m e o teor de umidade inicial variando de 16,5 a 23,0 %b.s. Observaram também que, a resistência do grão ao fluxo de ar aumenta com o aumento do fluxo, da altura da camada e a redução do conteúdo de umidade.

A homogeneidade dos teores de umidade final na secagem de camada fixa é mais sensível à variação da temperatura do que do fluxo de ar. O efeito do fluxo de ar sobre a uniformidade está relacionado também com o tempo de residência do ar em cada subcamada de grãos e tem sido pouco pesquisado (OLIVEROS TASCÓN, 1984). HUKILL & SCHMIDT (1960) usaram velocidades que variaram de 10,7 m.min⁻¹ a 73,1 m.min⁻¹ na secagem de grãos de sorgo e concluíram que a taxa de secagem era influenciada pela velocidade.

3.6. Qualidade do produto

A qualidade dos grãos agrícolas depende, dentre outros fatores, do método de secagem e de como esta é conduzida. Todos os métodos de secagem que empregam o ar quente produzem certa quantidade de grãos trincados. A maior percentagem de grãos trincados é formada durante as últimas etapas de secagem.

A qualidade do produto final é determinada também pela cultivar, condução e desenvolvimento da cultura, época e método de colheita, impurezas e condições de armazenamento. O período e a época de colheita são importantes, uma vez que grãos expostos a condições adversas de clima, após sua maturação, estão sujeitos a maior incidência de fungos. A incidência de pragas aumenta com o tempo de permanência do produto no campo. Grãos com teor de umidade adequado dos grãos normalmente apresentam menores danos ao produto durante a colheita e seu manuseio (DONZELES, 1982; BROOKER et al., 1992).

Estudando o efeito da secagem na germinação de sementes de feijão, SATHLER (1979) concluiu que, aumentando a temperatura do ar de secagem, reduz a porcentagem de germinação. Este fato é atribuído à desnaturação e reestruturação das moléculas protéicas dos grãos de cereais, principalmente, quando submetidos a altas temperaturas e com alto teor de umidade.

HUKILL (1974) afirma que antes de submeter um produto a secagem é preciso saber o fim a que se destina, a espécie e o tipo de grão. Um dado tratamento pode prejudicar o potencial de germinação por ter sido exposto a altas temperaturas, mas é possível que não tenha perdido seu valor nutritivo para alimentação animal. Os componentes nutricionais como os carboidratos, proteínas e vitaminas, reagem diferentemente ao tratamento de

temperatura. Animais, como porcos, aves domésticas e ruminantes diferem quanto à sensibilidade da qualidade desses elementos.

CABELL et al. (1958) afirmam que a proteína é mais sensível ao calor do que outros componentes nutricionais. Segundo Muhlbauer & Christ citados por NELLIST (1982), para a alimentação de não ruminantes deve-se evitar a desnaturação de proteínas, evitando que ultrapasse 10%. Já para os ruminantes, os grãos podem estar ligeiramente tostados.

De acordo com NELLIST (1982), a qualidade do grão é influenciada pela temperatura do ar de secagem. A diferença entre a temperatura do ar de secagem e a temperatura do grão depende do projeto do secador. Atualmente os secadores permitem que a máxima temperatura que o grão atinge fique abaixo da temperatura do ar.

Um dos fatores limitantes para a utilização do sorgo, tanto para consumo humano como animal, é a presença de compostos fenólicos sobretudo o tanino, o qual se encontra associado ao grão. O tanino condensado tem a capacidade de se complexar a proteína da dieta, como também com as enzimas digestivas, reduzindo assim a sua disponibilidade e digestibilidade. Estes efeitos repercutem principalmente na redução do crescimento e da eficiência alimentar (MARTINHO, 1982).

Segundo PRICE & BUTLER (1980), o tanino pode afetar a nutrição de diversas formas: diminuindo o consumo de alimentos pelos animais, formando complexos com a proteína endógena e do próprio trato alimentar, e ainda, sendo absorvido o tanino ou seus produtos de hidrólise, pode acarretar efeito tóxico ao organismo.

A presença de tanino em certas variedades de sorgo é indesejável do ponto de vista nutricional e devido a isto têm surgido várias linhas de pesquisa visando a eliminação dos

efeitos antinutricionais do tanino depois de colhido. Considerando que o tanino está concentrado na camada externa do grão (testa), alguns pesquisadores procuraram remover fisicamente esta camada. Há uma grande preocupação de um grupo de pesquisadores em encontrar um produto ou um tratamento que possa modificar o tanino no próprio grão, antes que o mesmo seja incorporado à dieta, (MARTINHO, 1982; RODRIGUES, 1996).

PRICE et al. (1978) afirmam que o sorgo com tanino seria uma cultura mais satisfatória em áreas sujeitas ao ataque de pássaros, desde que fosse encontrado um produto ou um tratamento que reduzisse os efeitos antinutricionais do tanino, sem perdas de nutrientes.

DALPASQUALE & SILVA (1983) afirmam que outras características físicas e químicas que indicam a qualidade do grão também são afetadas pela alta temperatura de secagem. São elas: consistência, conteúdo de energia, palatibilidade, dureza, cor, umidade, teor de proteínas, aminoácidos, e rendimento de grãos inteiros.

3.6.1. Rendimento no beneficiamento

As etapas básicas do processamento do sorgo para produção de farinha são: limpeza, descorticação e moagem. Dentre estas etapas, a descorticação é importante para o sorgo pois, o pericarpo é rico em compostos fenólicos, polissacarídeos complexos e fitatos, que são indesejáveis do ponto de vista nutricional por formarem complexos com proteínas e minerais limitando sua disponibilidade (ROONEY et al., 1972). Além disso o farelo de sorgo é duro, influenciando negativamente na qualidade tecnológica da farinha.

A facilidade de descascamento depende do grau de adesão entre o endosperma e as camadas do pericarpo, assim como da dureza do grão. A forma e o tamanho do grão também influem no rendimento do descascamento.

Mustafa (1978) citado por GUERRA (1984) afirma que o grau de remoção da casca e os rendimentos em grãos descorticados ou descascados inteiros dependem do condicionamento, da velocidade de descorticação e do tipo de equipamento utilizado.

GUERRA (1984) e BUSTOS (1988) usaram para a descorticação do sorgo, os moinhos beneficiadores Kepler Weber e Suzuki, em escala de laboratório, os quais são muito eficientes para arroz, os quais mostraram resultados satisfatórios para o sorgo. GUERRA (1984) concluiu que para a beneficiadora Kepler Weber, o tempo ótimo para descorticação do grão, com teor de umidade de 12,85%, foi de quatro minutos, proporcionando um rendimento de 85,34% de grãos descorticados. Porém junto com o farelo (14,66%) foram eliminados 50% dos lipídeos e fibras e 65% das cinzas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Secagem e Laboratório de Matérias-Primas do Departamento de Pré-Processamento de Produtos Agropecuários, Faculdade de Engenharia Agrícola (Feagri), da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) onde foram realizadas as operações de secagem artificial, pré-limpeza dos grãos, determinações do teor de umidade, rendimento no descascamento e granulometria das respectivas amostras.

4.1. Matéria prima

O material utilizado foi o sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench), Híbrido BR 303, de cor vermelha, proveniente da EMBRAPA-CNPMS, Sete Lagoas-MG. O plantio foi efetuado no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola (Feagri) e os tratamentos culturais foram os normalmente dispensados à cultura. Quando o sorgo atingiu a maturação fisiológica, aos 125 dias, iniciou-se o acompanhamento do teor de umidade periodicamente, mediante amostragens das partes inferiores e superiores das panículas até a obtenção dos teores de umidade desejados. Considera-se o estágio de maturação fisiológica do sorgo quando os grãos situados na parte inferior da panícula apresentam 35% de

umidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 1986). A primeira colheita ocorreu com teor de umidade em torno de 24% e a segunda colheita com teor de umidade de 21%. O produto foi colhido manualmente, debulhado mecanicamente e submetido a uma pré-limpeza, homogeneizado e acondicionado em sacos plásticos de 150 μ m. Posteriormente, foi armazenado em uma câmara fria a 10,0°C, visando a preservação de suas características. Durante a execução do trabalho, o produto era retirado da câmara fria cerca de 24 horas antes dos testes e permanecia à temperatura do laboratório, para que entrasse em equilíbrio com as condições ambientes antes de ser submetido à secagem. Para cada teste de secagem foram utilizados cerca de 21 kg de sorgo.

4.2. Procedimento experimental

4.2.1. Secagem artificial

Para a secagem artificial foram adotados os seguintes tratamentos:

- 3 níveis de temperaturas no plenum (45,0, 60,0 e 75,0°C)
- 2 fluxos de ar (9 e 18m³/min.m²)
- 1 altura de camada de grãos (0,50m)

A temperatura de 60,0°C e a altura de 0,50m foram estabelecidas de acordo com a revisão de literatura, os quais são recomendados para a secagem estacionária. A partir daí foi escolhido um valor abaixo e outro acima do citado para a investigação dos efeitos da temperatura. Quanto ao fluxo baseou-se na faixa recomendada citada na revisão e após testes preliminares optou-se por estes valores. Foram realizados 17 testes, um por vez, com dois níveis de teor de umidade inicial (na faixa de 21,0 e 24,0 %).

4.2.1.1. Secador

Para a secagem artificial foi utilizado um secador de madeira de base quadrada em escala de laboratório construído por GUALBERTO (1990), com sistema de secagem em coluna e camada fixa representado na Figura 1. O secador é constituído por três colunas de secagem, cada uma contendo um plenum na parte inferior e cinco bandejas teladas removíveis ($0,225 \times 0,225 \times 0,05$ m). Cada coluna, com capacidade total de $0,25 \text{ m}^3$, continha ainda quatro pequenas câmaras de secagem com fundo de tela ($0,24 \times 0,24 \times 0,225$ m) entre as bandejas móveis. Para realização do experimento foi utilizada apenas uma coluna de secagem. Para compor a altura da camada de $0,50$ m foram utilizadas duas câmaras de secagem e três bandejas, nas quais foram realizados todos os controlos dos parâmetros de secagem (temperatura e umidade do produto). A Figura 1 apresenta o esquema do secador, com os detalhes da coluna de secagem, os demais componentes serão detalhados nos itens subsequentes.

4.2.1.2. Sistema de circulação e aquecimento do ar de secagem

O sistema é composto por ventilador, aquecedor e dutos. Foi utilizado um ventilador centrífugo, com pás voltadas para trás, conjugado com um motor de 1 HP de potência e rotação de 3400 rpm. A conexão do ventilador com a câmara de secagem foi feita com um duto de madeira de secção quadrada, contendo um jogo composto por três resistências elétricas de 1000 W cada, ligadas em paralelo, protegidas por isolante térmico.

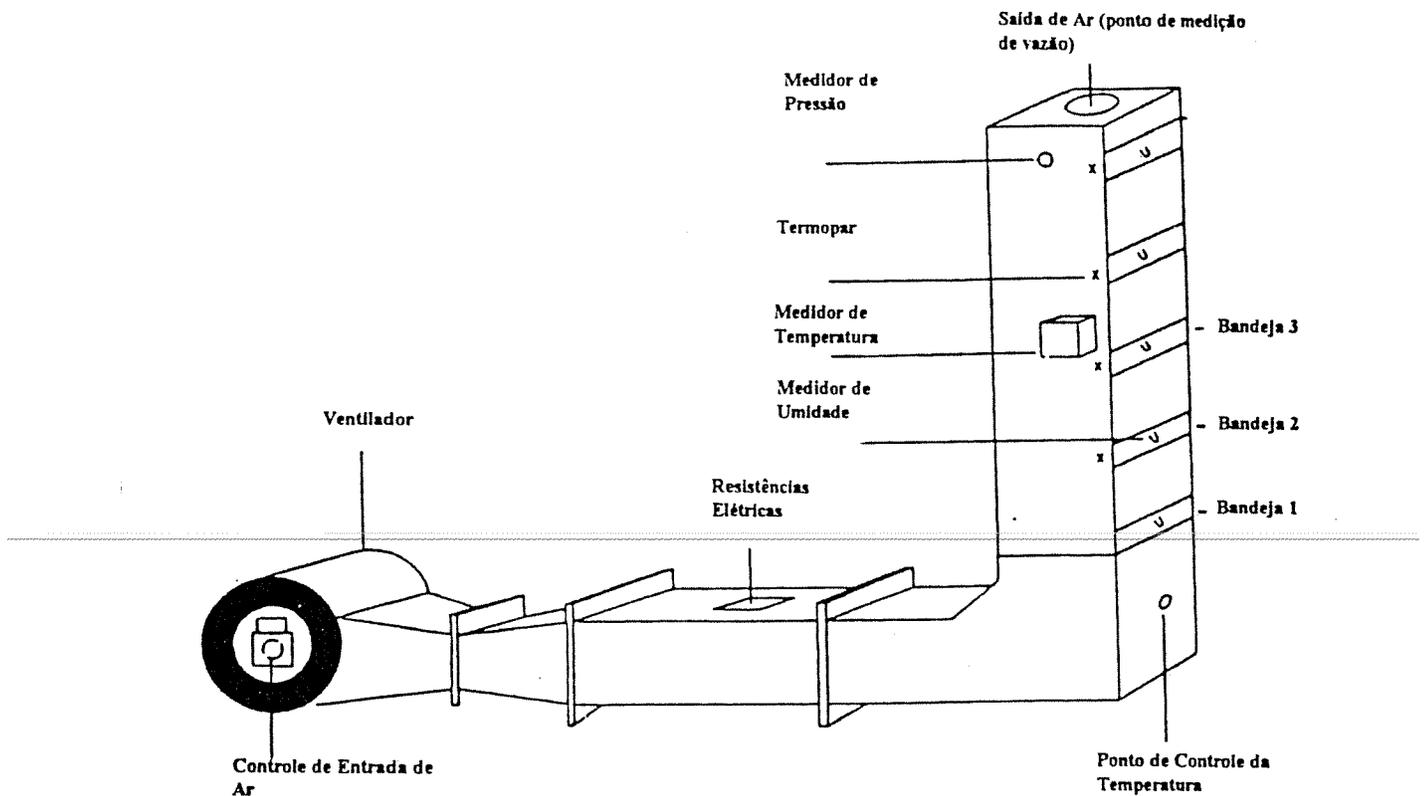


Figura 1. Esquema do secador e da posição das bandejas utilizadas (bandeja 1, 2 e 3).

4.2.1.3. Dados coletados durante a secagem

A coleta dos dados foi realizada em intervalos de 15 minutos na primeira hora de secagem e depois à cada 30 minutos, até o final do processo. Os seguintes parâmetros foram monitoradas:

- Temperatura no plenum e nas bandejas 1, 2 e 3
- fluxo de ar na saída do secador
- temperaturas do bulbo úmido e seco

- pesagem das bandejas 1, 2 e 3
- temperatura e umidade relativa do ar ambiente

4.2.1.4. Temperatura do ar de secagem

A temperatura do ar de secagem foi controlada no plenum do secador, utilizando-se termopares ligados a um termostato, o qual acionava as resistências para manter a temperatura de secagem estabelecida.

Os dados de temperatura na coluna de secagem foram obtidos através de um registrador de sinais COLE PARMER, a partir de termopares de cobre-constantan, instalados, sob cada bandeja móvel na coluna de secagem e na saída do ar de exaustão do secador. Os termopares foram previamente calibrados, e os resultados obtidos no experimento foram transformados nos seus valores correspondentes.

Os dados de temperatura de bulbo seco e bulbo úmido foram obtidos nos termômetros colocados na saída do secador e usados para calcular a umidade relativa do ar de saída (UR). As condições psicrométricas do ar ambiente durante os testes de secagem, foram monitoradas por um termohigrógrafo da marca RENÉ GRAF instalado próximo a entrada de ar no ventilador.

4.2.1.5. Fluxo do ar de secagem

O fluxo de ar foi controlado na entrada de ar no ventilador por um dispositivo de madeira tipo comporta, e sua velocidade foi medida através de um anemômetro de pás

rotativas com leitura digital em m/s, da marca AIRFLOW. A leitura foi feita na saída de ar do secador, a qual estava ajustada ao diâmetro do anemômetro (10 cm). As leituras foram realizadas no início de cada operação e ao longo do processo de secagem a cada 30 minutos.

4.2.1.6. Teor de umidade do produto

O sorgo foi amostrado aleatoriamente antes do início de cada teste e sua umidade inicial determinada. A determinação da umidade foi feita conforme o método padrão estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 3$ por 24 horas AOAC (1975) e para a pesagem do produto foi utilizada uma balança analítica com precisão de 0,0001 gramas. De posse do valor da umidade inicial pode-se calcular o peso médio das bandejas quando atinge a umidade final, utilizando a fórmula de LASSERAN (1981).

$$P_f = P_i \cdot \frac{(100 - U_i)}{(100 - U_f)} \quad (1)$$

onde:

P_f : Peso final do produto (kg)

P_i : Peso inicial do produto (kg)

U_i : Teor de umidade inicial do produto (% b.u.)

U_f : Teor de umidade final do produto (% b.u.)

4.2.1.7. Acompanhamento do processo de secagem artificial

As bandejas foram taradas e colocava-se cerca de 1500g de produto em cada bandeja. A pesagem do produto antes e durante a secagem foi feita em balança semi-

analítica com precisão de 0,01 gramas. A umidade do produto durante o tempo de secagem, foi obtida pela diferença de peso do produto nas bandejas.

As resistências foram desligadas, quando o teor médio de umidade das três bandejas atingiu o valor pré-determinado (13%b.u.), permanecendo apenas o ventilador em funcionamento até que a temperatura da massa de grãos se aproximasse da temperatura ambiente. Este período correspondeu ao resfriamento.

No final de cada teste foi retirada uma quantia equivalente a 2/3 de cada bandeja as quais foram misturadas. Esta mistura foi armazenada em câmara fria à temperatura de 10,0°C em sacos transparentes de 150µ m. Após 20 dias foi retirada apenas uma amostra para determinar o teor de umidade final do produto.

4.2.2. Secagem solar

A secagem natural foi feita numa área ensolarada, ao lado do Laboratório de Secagem sendo usada uma bandeja de 1 m² de área com uma altura de camada de grãos de 3 cm a qual comportava 10 kg de produto. O produto ficou exposto ao sol das 9 às 17 horas e a cada 2 horas de exposição procedia-se o revolvimento e pesagem da bandeja até que o produto atingisse teor de umidade final de 13 % b.u.

4.3. Avaliação do processo de secagem

Os parâmetros avaliados no processo de secagem foram: curvas de secagem dos tratamentos submetidos ao processo artificial e solar, gradiente de temperatura e umidade

(uniformidade de secagem), taxa de secagem, potencial de secagem, tempo de secagem, tempo de resfriamento e qualidade do produto final.

1) Curvas de secagem- A curva de secagem foi obtida, plotando-se o teor de umidade em função do tempo de secagem (horas). Os teores de umidade foram obtidos a partir dos pesos das bandejas utilizando a fórmula de LASSERAN (1981). As curvas médias de secagem foram obtidas pela média das três bandejas.

2) Gradiente de umidade - O gradiente de umidade foi obtido pela diferença entre o percentual do teor de umidade das bandejas superior (3) e inferior (1), durante o tempo total de secagem. Para a confecção dos gráficos de gradiente no final da secagem (Figuras 12 e 13) trabalhou-se com a média do último ponto que corresponde ao resfriamento.

3) Gradiente de temperatura - O gradiente de temperatura na coluna de secagem foi obtido pela diferença entre a temperatura do plenum e da última bandeja, durante a secagem. Para a confecção dos gráficos de gradiente de temperatura no final da secagem (Figuras 15 e 16) trabalhou-se com a média do último valor lido antes de desligar as resistências elétricas.

4) Potencial de secagem - Foi obtido através das leituras feitas nos termômetros de bulbo úmido e bulbo seco na saída do secador e calculado pelo programa PSIPROC obtendo assim a umidade relativa do ar de saída do secador, segundo metodologia usada por DALBELLO, 1995.

5) Taxa média de secagem - foi obtida através da relação entre a água retirada, em 4.500 g de grãos de sorgo, e o tempo total de secagem.

$$Tx = \text{Água}_1/t_s \quad (2)$$

6) Tempo de resfriamento - considerado aquele após a secagem, em que desligou-se as resistências elétricas e permaneceu apenas o ventilador para que promovesse o resfriamento do produto, até que a temperatura da bandeja superior ficasse próxima da temperatura ambiente. O último ponto das curvas de secagem representa o resfriamento do produto.

4.4. Qualidade

A análise da qualidade foi realizada com o produto original e após a realização de alguns tratamentos de secagem, sendo avaliada quanto aos aspectos químicos e físicos.

4.4.1. Análises químicas

As análises do teor de proteína, extrato etéreo e fibra foram realizadas no laboratório da CATI/Campinas segundo métodos oficiais publicado no Diário Oficial, Portaria nº 108 de 04/09/91, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. A determinação do teor de proteína bruta foi realizada pelo Método Macro Kjeldahl. Para a determinação do extrato etéreo foi usado o aparelho extrator de Soxhlet e as amostras foram aproveitadas para a determinação da fibra.

A análise do teor de tanino foi realizada no Laboratório de Fisiologia Vegetal, EMBRAPA-CNPMS, Sete Lagoas-MG. A extração do tanino foi feita pelo método proposto por PRICE & BUTLER (1977) e o teor determinado pelo método Azul da Prússia, segundo metodologia descrita por RODRIGUES (1996).

4.4.2. Aspectos físicos

4.4.2.1. Rendimento no descascamento

Foram separadas três amostras de 100 g de cada tratamento, estas foram processadas na máquina classificadora e beneficiadora de arroz SUZUKI durante 3 min. A seguir foi feita a pesagem dos grãos descascados e do resto (cascas e grãos quebrados). O rendimento foi obtido pela relação entre o peso dos grãos descascados dividido pelo peso total, média das três amostras.

4.4.2.2. Moagem e análise granulométrica

A moagem do produto foi realizada no Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL).

Utilizou-se 1500 g de produto resultante da mistura das 3 bandejas utilizadas na secagem. A moagem foi feita em moinho de martelo TREU & Cia Ltda, usando a peneira de 3,2 mm. Os tratamentos escolhidos para este teste incluíram as três temperaturas e os dois valores de fluxo de ar. Foi feita a determinação da umidade do grão inteiro pelo método padrão estufa a 105,0°C por 24 horas AOAC (1975) e para o grão moído utilizou-se o

método BRASIL (1980) a 130,0°C por 2 horas. A temperatura inicial do produto e após a moagem foi medida por um termômetro de mercúrio. O tempo de moagem foi marcado por um cronômetro. Foi feita a limpeza da peneira a cada teste para evitar contaminação da amostra.

Para a análise granulométrica utilizou-se o aparelho PRODUTEST com o conjunto de peneiras 8, 14, 28, 48 e 100 mesh. Amostras de 250 g foram submetidas ao peneiramento durante 5 min numa vibração de 10, sendo feitas três repetições. Logo em seguida foram pesadas as frações retidas em cada peneira, determinando-se o diâmetro médio das partículas segundo HENDERSON & PERRY (1966). O diâmetro médio dos grãos inteiros foi determinado em classificadora vibratória para grãos.

4.5. Análise estatística

Para se investigar o efeito dos parâmetros temperatura e fluxo de ar sobre os resultados da secagem, foi realizada análise de variância somente para os tratamentos do fatorial (3 x 2) com teor de umidade inicial de 24% aproximadamente. As variáveis analisadas foram: tempo de secagem mais resfriamento, água retirada (secagem mais resfriamento), taxa de secagem (secagem mais resfriamento), tempo de resfriamento, gradiente de temperatura e gradiente de umidade. O experimento foi analisado em fatorial com delineamento inteiramente casualizado, com duas repetições. O efeito dos tratamentos foi desdobrado nos dois fatores (temperatura e fluxo) e na interação temperatura versus fluxo segundo esquema da Tabela 2, (GOMES, 1990).

Tabela 2 - Esquema da análise de variância para experimento em fatorial.

F. V.	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	5	QM5	QM5/QM1
Temperatura(A)	2	QM4	QM4/QM1
Fluxo(B)	1	QM3	QM3/QM1
Interação A x B	2	QM2	QM2/QM1
Erro	6	QM1	
Total	11		

Para a análise de variância das variáveis teor de umidade final, tempo de secagem, água retirada na secagem, taxa de secagem e rendimento no descascamento além dos tratamentos do fatorial (3 x 2), foi incluído o tratamento solar, todos com teor de umidade inicial de 24% aproximadamente. Assim a análise de variância foi feita considerando experimento em fatorial (3 x 2) com tratamento adicional (solar), com duas repetições, segundo esquema da Tabela 3 (GOMES, 1990).

Tabela 3 - Esquema da análise de variância para experimento em fatorial com tratamento adicional.

F. V.	G.L.	Q.M.	F
Tratamento	6	QM6	QM6/QM1
Temperatura(A)	2	QM5	QM5/QM1
Fluxo(B)	1	QM4	QM4/QM1
Interação A x B	2	QM3	QM3/QM1
T.(fatorial) x T.(adicional)	1	QM2	QM2/QM1
Erro	7	QM1	
Total	13		

O nível de significância estabelecido para o teste F foi de 5% ($\alpha = 0,05$). O teste para comparação de médias foi o de Tukey, com nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Condições ambientais durante a secagem artificial e solar do grão de sorgo.

Para cada teste experimental foram registradas a temperatura e umidade relativa do ar dentro do laboratório. Os valores máximos, mínimos e médios obtidos durante o período experimental são apresentados na Tabela 4. Durante o período da coleta de dados, a temperatura média do ar foi de 26,3°C, com um coeficiente de variação de 11,4% e a umidade relativa média durante o período foi de 73,1%, com um coeficiente de variação de 14,6%. Os dados de umidade relativa do ar sofreram uma maior variação como pode ser observado no caso do teste 8 ($T = 60^{\circ}\text{C}$, $Q = 9\text{m}^3/\text{min.m}^2$) onde a amplitude foi de 41 pontos percentuais (Tabela 4). Na Tabela 5 são apresentadas as condições ambientais durante o experimento de secagem solar em terreiro.

Na Tabela 6 são apresentados os dados obtidos durante todo o experimento realizado, no total de 17 testes com secagem artificial e 3 testes com secagem solar em terreiro.

Tabela 4 - Condições ambientais de temperatura e umidade relativa dentro do laboratório durante a realização dos testes de secagem do grão de sorgo.

Teste	T/Q	Temperatura do ar (°C)			Umidade relativa do ar (%)		
		Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima
1	45/9	34,0	29,4	22,0	79,0	65,3	55,0
2	45/9	32,0	29,4	27,5	81,0	69,2	60,0
3	45/18	26,0	23,0	19,5	80,0	68,6	55,0
4	45/18	24,8	23,6	22,0	76,0	62,7	54,0
5	45/18	31,0	29,7	28,0	78,0	71,7	65,0
6	60/9	27,0	23,7	20,2	84,0	71,3	59,0
7	60/9	34,0	30,5	23,0	84,0	69,5	60,0
8	60/9	25,0	21,8	18,0	84,0	60,5	43,0
9	60/18	24,5	23,5	22,0	74,0	63,1	56,0
10	60/18	25,0	24,0	23,0	74,0	66,9	60,0
11	60/18	30,0	28,4	27,0	96,0	92,6	86,0
12	60/18	29,0	28,5	28,0	94,0	92,2	88,0
13	75/9	29,0	28,0	27,0	96,0	88,1	82,0
14	75/9	25,0	22,1	20,0	84,0	70,7	54,0
15	75/18	26,0	24,9	24,0	78,0	70,4	59,5
16	75/18	29,5	29,2	29,0	92,0	90,8	89,0
17	75/18	32,0	27,4	20,5	81,0	69,3	52,0
	Média	28,5	26,3	23,6	83,2	73,1	63,4
	D. padrao	3,3	3,0	3,5	7,2	10,7	13,9
	CV (%)	11,6	11,4	14,8	8,7	14,6	21,9

Tabela 5 - Condição ambiental diária de temperatura, umidade relativa (UR), velocidade média do vento (VM), nebulosidade (N) e horas de insolação (I) durante a realização dos testes de secagem solar do grão de sorgo.

Teste	Dia	Temperatura (°C)			UR (%)		VM (m/s)	N (0 a 10)	I (horas)
		MAX.	MIN.	MEDIA	9:00	15:00			
18	1	28,8	16,2	22,5	68	37	0,7	2,0	10,3
18	2	29,6	15,6	22,6	65	33	0,0	0,7	10,5
18	3	30,2	17,4	23,8	71	52	0,0	2,3	10,5
18	4	29,6	16,6	23,1	55	29	2,7	3,7	9,3
	Média	29,6	16,4	23,0	65	38	0,9	2,2	10,2
19	1	22,6	10,8	16,7	65	29	1,7	3,0	9,9
19	2	21,8	13,4	17,6	96	34	3,0	4,0	6,3
19	3	24,6	12,6	18,6	65	35	4,3	2,7	9,1
	Média	23,0	12,3	17,6	75	33	3,0	3,2	8,4
20	1	25,4	14,2	19,8	73	37	4,0	1,3	9,9
20	2	25,8	13,0	19,4	82	40	1,0	1,0	9,6
	Média	25,6	13,6	19,6	78	39	2,5	1,2	9,8

Tabela 6 - Resultados obtidos na secagem de sorgo com teores de umidade iniciais variando de 20,5 a 24,5% na secagem artificial e na secagem solar.

N.t.	T/Q	μ_0 (%)	μ_f (%)	t_s (h)	Água ₁ (g)	Tx_s (g/h)	t_r (h)	$t_{(s+r)}$ (h)	Água _{1(s+r)} (g)	$Tx_{(s+r)}$ (g/h)
1	45/9	23,9	12,6	16,50	558,30	33,84	0,75	17,25	571,70	33,14
2	45/9	24,0	12,2	15,00	568,60	37,91	0,58	15,58	583,20	37,43
3	45/18	21,0	12,3	8,50	414,18	48,73	0,65	9,15	429,20	46,91
4	45/18	23,5	12,4	8,00	544,03	67,50	0,75	8,75	561,98	64,23
5	45/18	24,0	12,5	10,50	569,60	54,25	0,75	11,25	585,70	52,06
6	60/9	21,0	12,2	8,00	411,85	51,48	0,83	8,83	429,27	48,62
7	60/9	23,4	11,1	9,50	543,00	57,16	1,25	10,75	590,70	54,95
8	60/9	24,1	11,5	10,50	582,14	55,44	0,75	11,25	606,42	53,90
9	60/18	20,5	12,3	4,00	384,54	96,14	0,83	4,83	411,78	85,26
10	60/18	21,0	12,4	5,50	414,93	75,44	0,40	5,90	429,84	72,85
11	60/18	23,9	12,1	7,00	564,45	80,64	0,80	7,80	589,11	75,53
12	60/18	23,9	12,2	7,00	564,01	80,57	0,75	7,75	584,41	75,41
13	75/9	23,9	11,7	8,50	559,67	65,84	0,75	9,25	581,52	62,87
14	75/9	24,0	11,3	8,00	570,56	71,32	0,75	8,75	597,63	68,30
15	75/18	20,5	11,2	4,00	418,51	104,63	1,00	5,00	459,64	91,93
16	75/18	23,9	11,7	5,00	563,93	112,79	0,90	5,90	594,78	100,81
17	75/18	23,9	11,6	6,50	560,76	86,27	0,75	7,25	613,60	84,63
18	Solar	24,5	13,0	26,00	1320,00	50,77				
19	Solar	24,0	13,3	20,00	1230,00	61,50				
20	Solar	21,0	13,6	14,00	850,00	60,71				

5.2. Curvas de secagem

5.2.1. Secagem artificial

As curvas experimentais de secagem para o grão de sorgo, em três alturas da camada (bandejas 1, 2 e 3), para as diferentes condições do ar e de teor de umidade inicial estão representadas nas Figuras 2 a 8. Estas apresentam uma mesma tendência de decréscimo do teor de umidade no decorrer do tempo tendendo a uma taxa de secagem constante.

A influência apenas do teor de umidade inicial pode ser verificada, comparando-se os testes dois a dois (3 e 5, 6 e 8, 10 e 11 e 15 e 17). Observa-se que para teor de umidade maior, o tempo de secagem foi em média 2,15 horas maior (Tabela 6). Comparando as Figuras 2 e 3 (testes 6 e 8) observa-se uma super secagem da camada inferior (bandeja 1) nos dois casos, sendo mais pronunciada no teste 8, cujos grãos apresentavam teor de umidade inicial maior e o produto ficou exposto por maior tempo a alta temperatura.

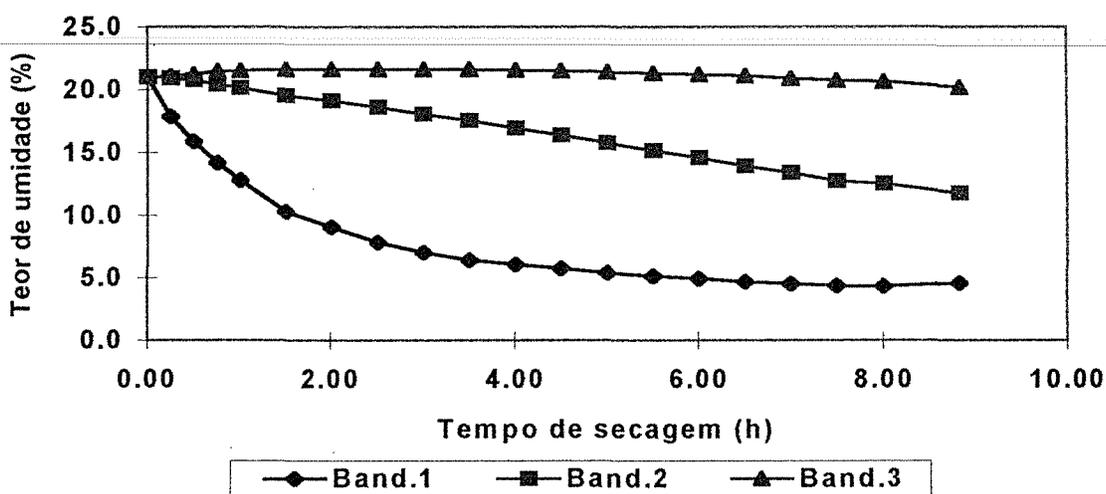


Figura 2 - Curvas de secagem do sorgo para o teste 6 ($T = 60^{\circ}\text{C}$, $Q = 9\text{m}^3/\text{min.m}^2$) com teor de umidade inicial de 21,0%.

O efeito individual do fluxo de ar sobre o comportamento da secagem pode ser observado, comparando-se os testes dois a dois 1 e 5, 8 e 12 e 13 e 17. De uma forma geral, observa-se que: o tempo de secagem foi maior nos testes onde os valores de fluxo de ar eram menores e a diferença entre os tempos de secagem reduziu com o aumento da temperatura (Tabela 6); nas situações de menor fluxo de ar houve migração de umidade para a bandeja superior até o final da secagem e super secagem da bandeja inferior (Figura 3); nos testes com fluxos de ar maior o reumedecimento da bandeja superior ocorreu apenas no

início do processo e a secagem na bandeja inferior foi menor (Figura 4); com relação a bandeja intermediária, a secagem foi uniforme para os dois valores de fluxo, no entanto, para o fluxo menor houve um reumedecimento no início da secagem.

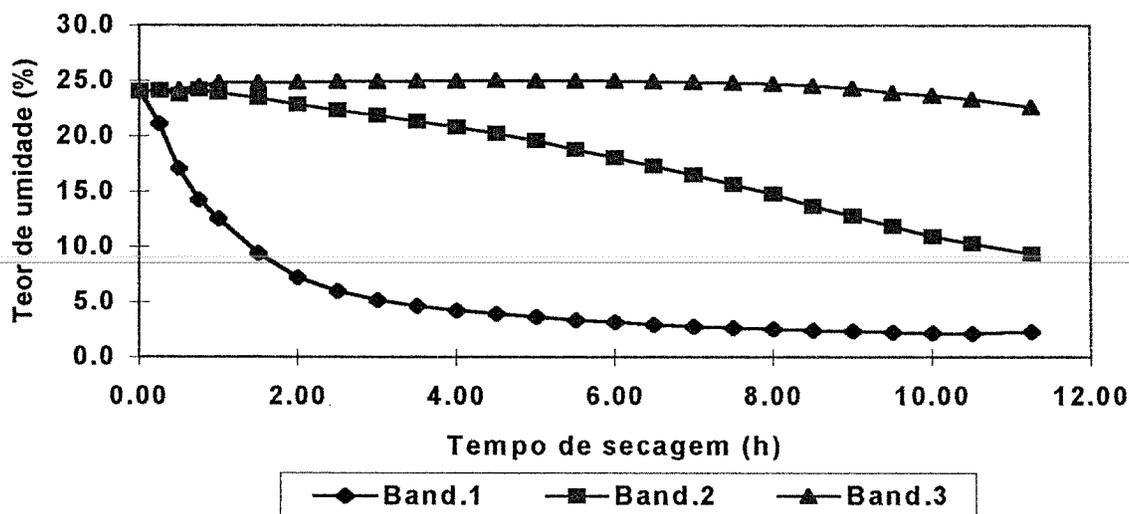


Figura 3 - Curvas de secagem do sorgo para o teste 8 ($T = 60^{\circ}\text{C}$, $Q = 9\text{m}^3/\text{min.m}^2$) com teor de umidade inicial de 24,1%.

Comparando-se as curvas de secagem dos testes 5 e 8 (trat. 45/18 e 60/9) representadas nas Figuras 7 e 3, respectivamente, observa-se diferenças quanto à uniformidade da secagem na camada de grãos. O teste 5 apresentou secagem uniforme da camada de grãos, provavelmente devido à conjugação de uma temperatura menor com o fluxo de ar maior (Figura 7).

Entretanto, o teste 8 apresentou secagem desuniforme da camada de grãos, o que pode ser atribuído ao menor fluxo de ar, que resultou em uma super secagem do produto na camada inferior (bandeja 1), e na camada superior (bandeja 3) o sorgo praticamente não perdeu umidade (Figura 3).

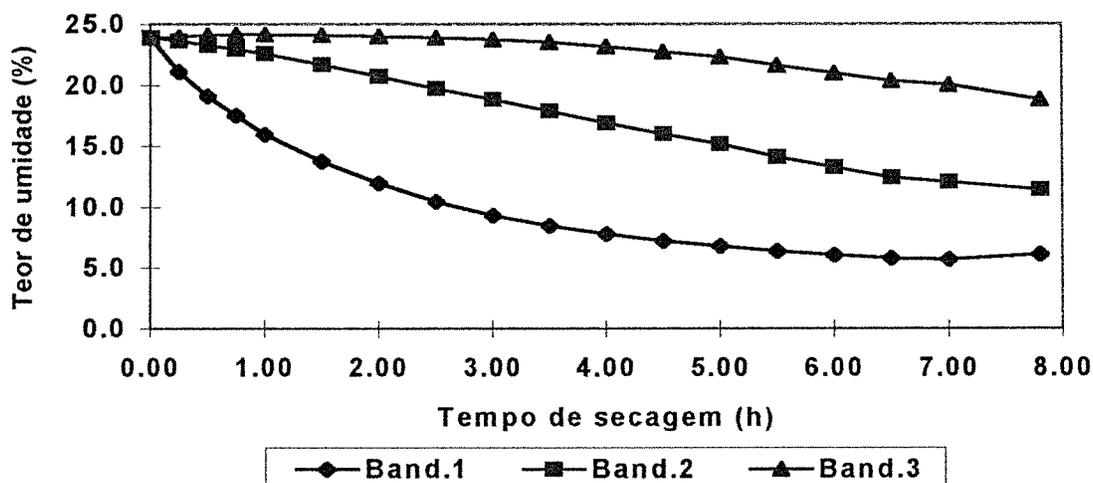


Figura 4 - Curvas de secagem do sorgo para o teste 12 ($T = 60^{\circ}\text{C}$, $Q = 18\text{m}^3/\text{min.m}^2$) com teor de umidade inicial de 23,9%.

Observando as curvas dos testes 13 e 1 (trat. 75/9 e 45/9) nas Figuras 6 e 8 respectivamente, nota-se que: em ambos os casos praticamente não houve redução de umidade na camada superior (bandeja 3). A secagem no trat. 75/9 apresentou-se desuniforme comprometendo a qualidade do produto (Figura 6); no trat. 45/9 (Figura 8) a curva de secagem da camada inferior (bandeja 1) foi menos pronunciada não atingindo valores tão baixos como no tratamento 75/9. O tempo de secagem gasto para atingir a umidade final desejada no trat. 45/9 foi quase o dobro do trat. 75/9.

Comparando-se as curvas de secagem dos testes 6, 12 e 3 (Figuras 2, 4 e 5, respectivamente), observa-se que nas bandejas 1 e 2 a perda de água começou a partir do primeiro instante de secagem, não havendo transferência de umidade da bandeja 1 para a bandeja 2. Já nos testes 8 e 13 (Figuras 3 e 6, respectivamente) houve reumedecimento da bandeja 2 até 0,75 horas, após o início da secagem.

Observando as curvas de secagem dos testes 6, 8 e 13 representados nas Figuras 2, 3 e 6, respectivamente, constata-se que a camada superior (bandeja 3) praticamente não

perdeu umidade durante o processo de secagem. Enquanto que os testes 3 e 5 representados nas Figuras 5 e 7 respectivamente, ao final da secagem os grãos da bandeja superior apresentaram teor de umidade em torno de 17,5%, em ambos os casos.

Os tratamentos com temperaturas de 60,0 e 75,0°C e fluxo de 9m³/min.m² resultaram em uma super secagem do produto na camada inferior, conforme pode ser observado nas Figuras 3 e 6. Nestes tratamentos, após três horas de secagem, os teores de umidade atingidos são menores do que aqueles referentes aos testes 12, 3, 5 e 1 (Figuras 4, 5, 7 e 8, respectivamente) ao final da secagem. Temperaturas altas e fluxos baixos apresentam uma tendência de maior aquecimento das camadas inferiores, ocorrendo assim uma super secagem. Esta observação foi também constatada por GUSTAFSON & MOREY (1974), YOUNG & DICKENS (1975) e STEVENS & THOMPSON (1976).

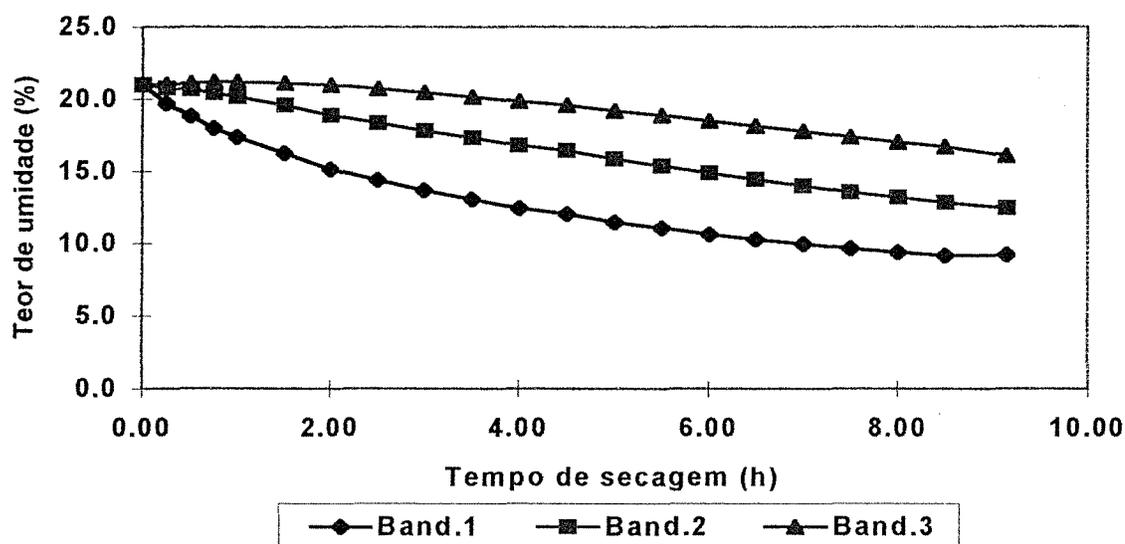


Figura 5 - Curvas de secagem do sorgo para o teste 3 ($T = 45^{\circ}\text{C}$, $Q = 18\text{m}^3/\text{min.m}^2$) com teor de umidade inicial 21,0%.

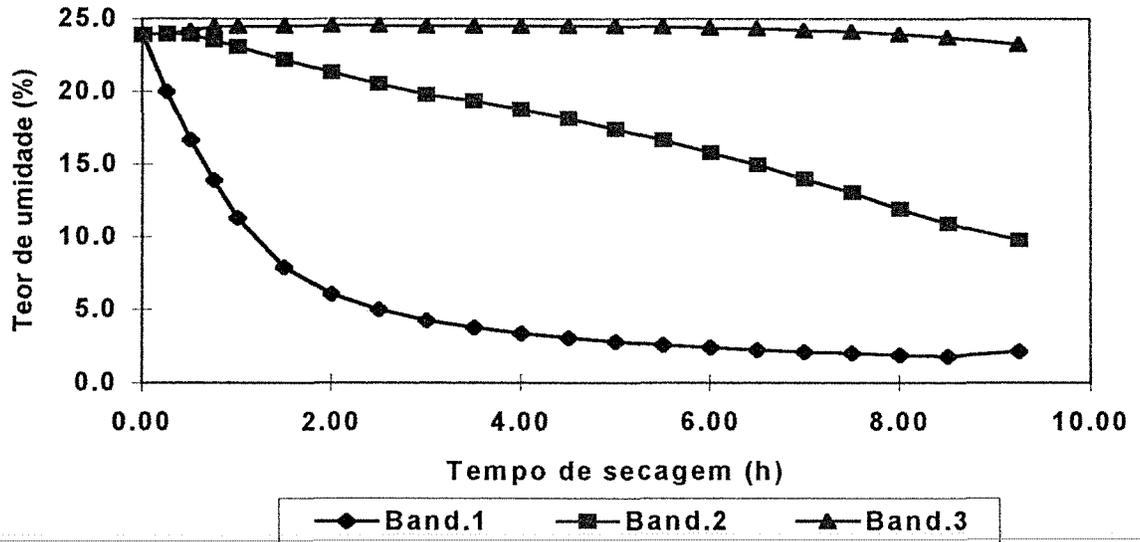


Figura 6 - Curvas de secagem do sorgo para o teste 13 ($T = 75^{\circ}\text{C}$, $Q = 9\text{m}^3/\text{min.m}^2$) com teor de umidade inicial de 23,9%.

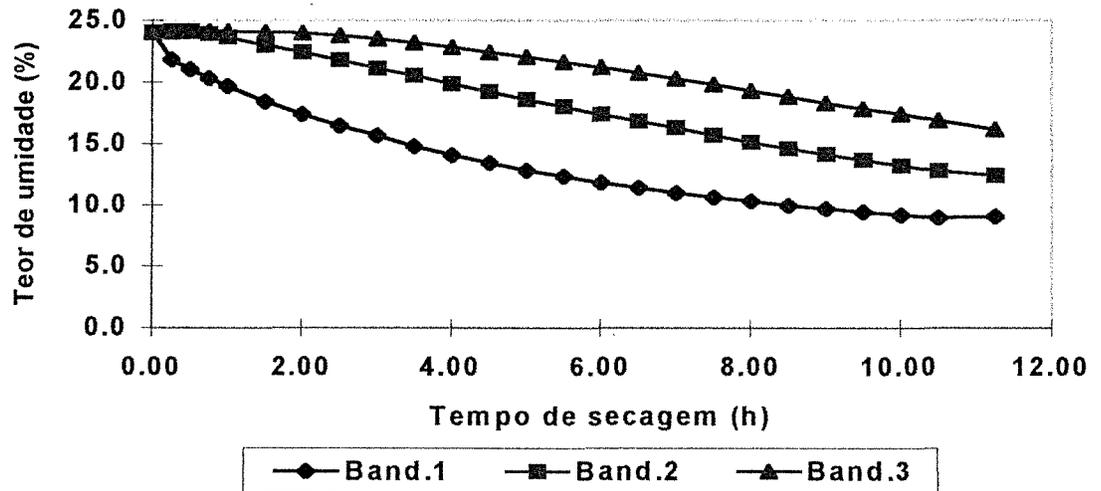


Figura 7 - Curvas de secagem do sorgo para o teste 5 ($T = 45^{\circ}\text{C}$, $Q = 18\text{m}^3/\text{min.m}^2$) com teor de umidade inicial de 24,0%.

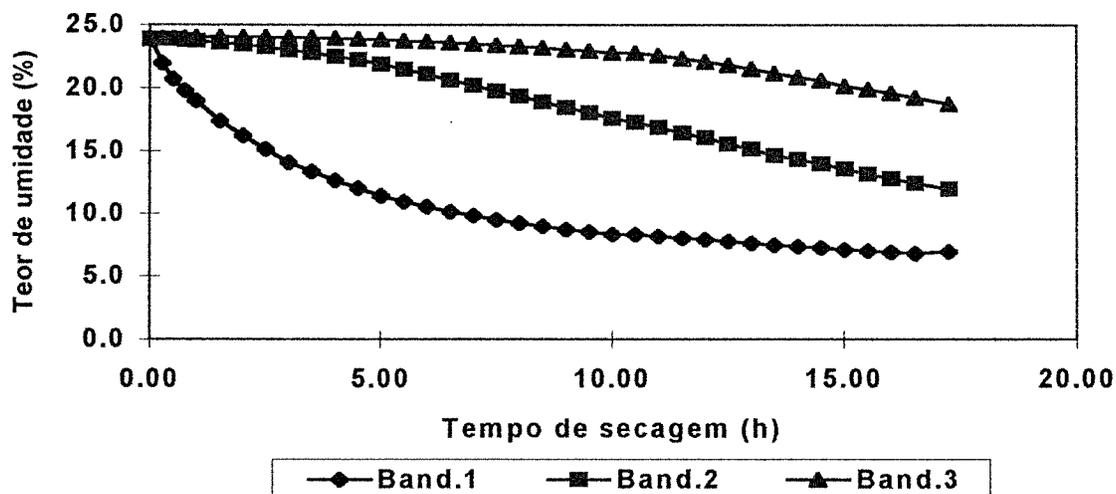


Figura 8 - Curvas de secagem do sorgo para o teste 1 ($T = 45^{\circ}\text{C}$, $Q = 9\text{m}^3/\text{min.m}^2$) com teor de umidade inicial de 23,9%.

5.2.2. Secagem solar em terreiro

A secagem solar em terreiro é dependente das condições climáticas locais portanto a temperatura e umidade relativa do ar, horas de insolação, nebulosidade e velocidade do vento são fatores fundamentais na taxa de secagem do produto, uma vez que, para cada condição do ar existe uma capacidade máxima em evaporar a umidade. As condições ambientais durante a realização da secagem solar são apresentadas na Tabela 5.

Os dados obtidos na secagem do grão de sorgo submetido a secagem solar são apresentados também na Tabela 6 (Testes 18, 19 e 20) e a curva de secagem é apresentada na Figura 9. O teste 19 apresentou uma taxa de secagem maior que o teste 18, como pode ser observado na Figura 9 pela maior inclinação da curva de secagem. O menor tempo de secagem apresentado pelo teste 19 foi provavelmente devido a maior velocidade do vento, apesar de ter apresentado menor temperatura e horas de insolação, e maior nebulosidade (Tabela 5).

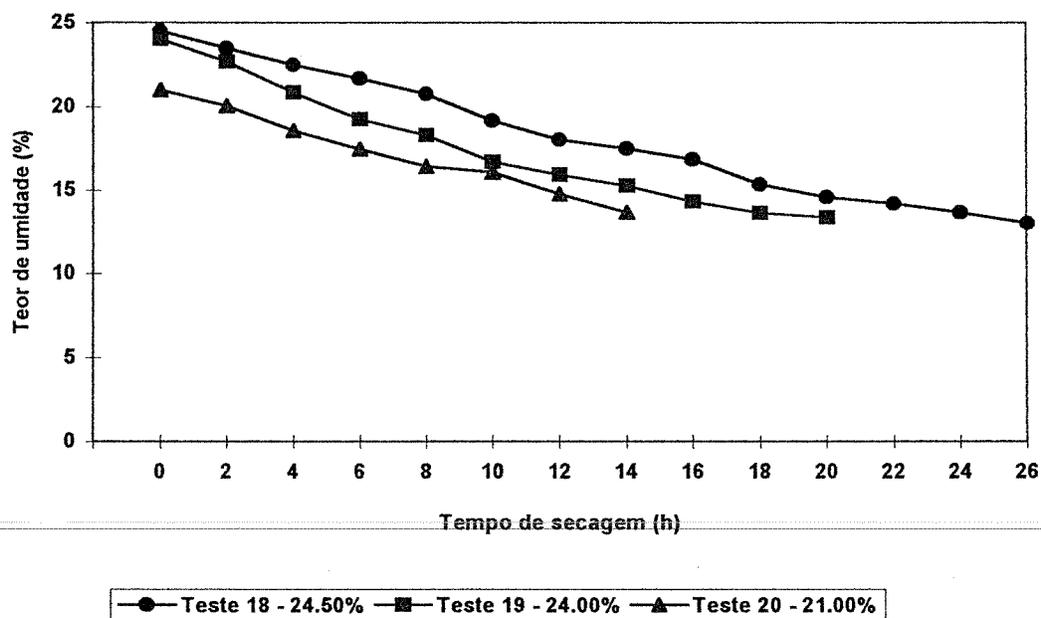


Figura 9 - Curvas de secagem solar do grão de sorgo com umidade inicial de 24,5, 24,0 e 21,0%.

5.3. Gradientes de umidade e temperatura

5.3.1. Gradiente de umidade durante a secagem

As curvas médias de secagem e as curvas de gradiente de umidade para os testes 5 e 8 (trat. 45/18 e 60/9) com teores de umidade iniciais de 24,0 e 24,1%, respectivamente, são representadas na Figura 10. Independentemente do tratamento, o gradiente de umidade apresentou uma fase crescente, até aproximadamente 2,5 horas do início da secagem, em seguida uma fase de pequenos acréscimos ou até mesmo estável e no final da secagem uma fase de pequena redução. Simultaneamente as curvas médias de secagem mostram uma maior redução da umidade dos grãos no início do processo de secagem, tendendo a um valor de equilíbrio no final.

Observa-se que o tratamento 60/9 apresentou maior gradiente de umidade até o final da secagem comparado com o tratamento 45/18, devido a temperatura maior e ao fluxo de ar menor. A temperatura sendo maior e fluxo menor ocorreu uma super secagem da bandeja 1 e reumedecimento da bandeja 3 até 9h após o início da secagem aumentando este gradiente (Figuras 3 e 7). Para o caso do tratamento 45/18 a temperatura menor e o fluxo maior contribuíram para maior uniformidade do processo, sendo que a secagem da bandeja 1 foi menor e a bandeja 3 somente iniciou a secagem após 1,50h, diminuindo assim o gradiente de umidade.

Também na Figura 10 observa-se que as curvas médias de secagem dos tratamentos tenderam a aproximação no final da secagem (10,50h), apresentando teores finais de umidade de 12,8% e 11,9% para os tratamentos 45/18 e 60/9 respectivamente.

As curvas de secagem médias e as curvas dos gradientes de umidade para os testes 1 e 13 (tratamentos 45/9 e 75/9) com teor de umidade inicial de 23,9% são representadas na Figura 11. O gradiente de umidade destes tratamentos tiveram comportamento semelhante ao dos tratamentos apresentados na Figura 10. A curva de secagem média do tratamento 75/9 foi mais acentuada no início e, a partir da segunda hora de secagem a retirada de água foi mais homogênea, o mesmo aconteceu para o tratamento 60/9 (Figuras 11 e 10, respectivamente). Já para o tratamento 45/9 a retirada de água foi homogênea desde o início como aconteceu para o tratamento 45/18 (Figuras 11 e 10, respectivamente).

Em ambos os casos quanto maior a temperatura de secagem, maior foi o gradiente de umidade, o que confirma a relação observada por MOREY et al. (1976) e DALBELLO (1995). No entanto, quando variou-se o fluxo de ar, e manteve-se a temperatura e o teor de umidade inicial constantes, (tratamentos 45/9 e 45/18) o gradiente de umidade foi maior

para o fluxo menor como pode ser observado comparando-se as Figuras 10 e 11, particularmente o tratamento a 45°C.

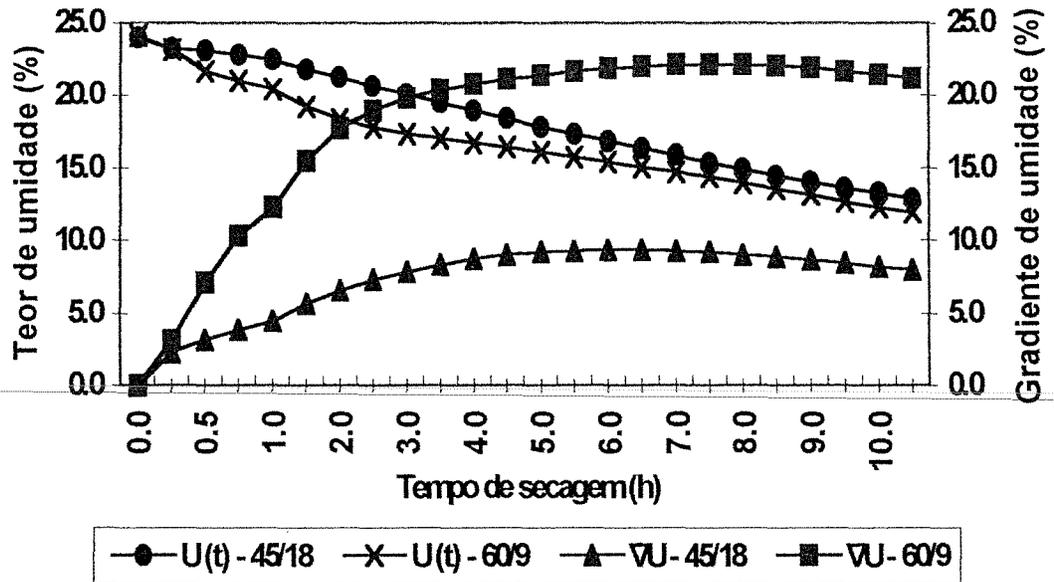


Figura 10 - Curvas médias de secagem e gradiente de umidade durante a secagem do sorgo para os testes 5 e 8 ($T = 45^{\circ}\text{C}$, $Q = 18\text{m}^3/\text{min}\cdot\text{m}^2$ e $T = 60^{\circ}\text{C}$, $Q = 9\text{m}^3/\text{min}\cdot\text{m}^2$) com teor de umidade inicial de 24,0 e 24,1%, respectivamente.

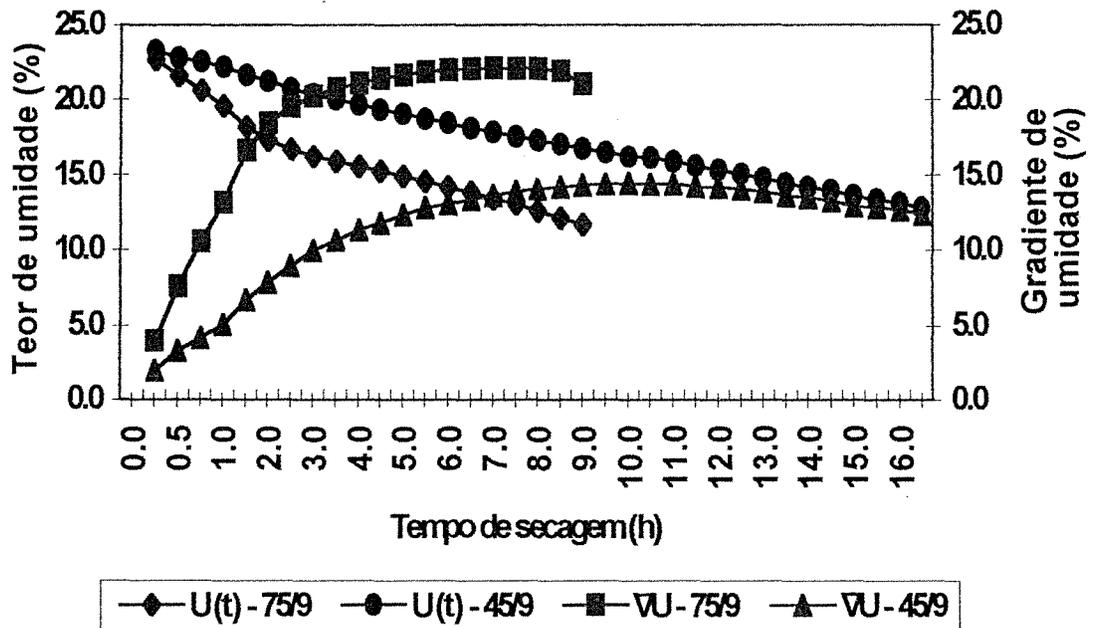


Figura 11 - Curvas médias de secagem e gradiente de umidade durante a secagem do sorgo para os testes 1 e 13 ($T = 45^{\circ}\text{C}$, $Q = 9\text{m}^3/\text{min}\cdot\text{m}^2$ e $T = 75^{\circ}\text{C}$, $Q = 9\text{m}^3/\text{min}\cdot\text{m}^2$) com teor de umidade inicial de 23,9%.

O resultado do gradiente de umidade no final do processo de secagem para os teores de umidade iniciais próximos de 21,0 e 24,0% são representados nas Figuras 12 e 13, respectivamente. Para um mesmo fluxo de ar, o gradiente de umidade aumentou com o aumento da temperatura do ar de secagem. E para uma mesma temperatura, o gradiente de umidade diminuiu quando se aumentou o fluxo de ar.

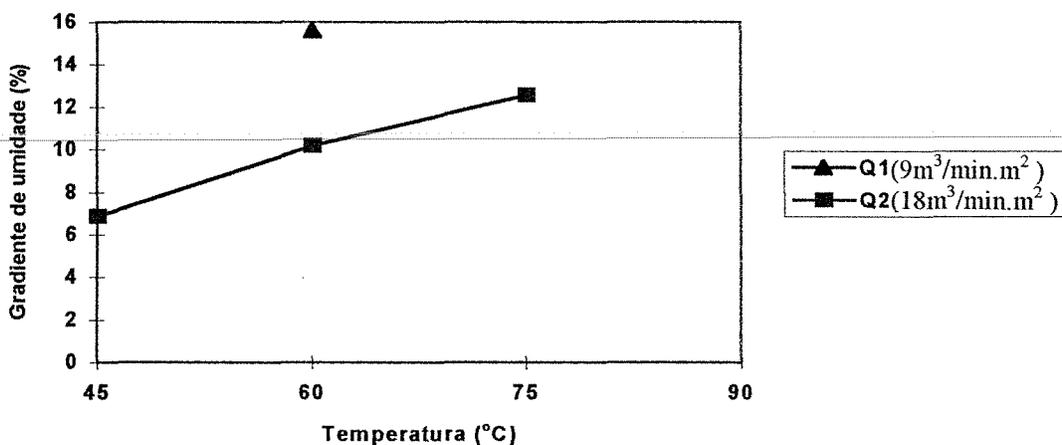


Figura 12- Gradiente de umidade no final da secagem do grão de sorgo para teor de umidade próximo de 21,0%.

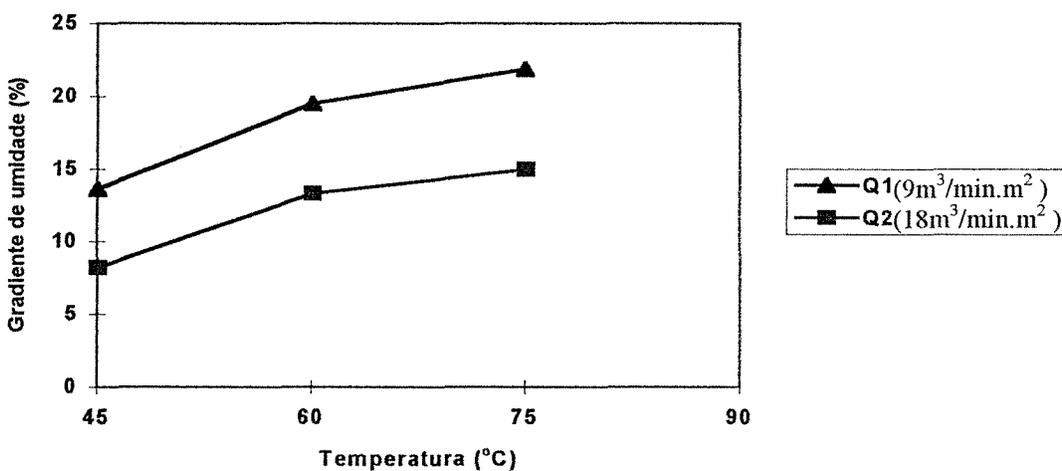


Figura 13 - Gradiente de umidade no final da secagem do grão de sorgo para teor de umidade inicial próximo de 24,0%.

Observando-se as Figuras 12 e 13 pode-se afirmar que os fatores temperatura e fluxo do ar de secagem e teor de umidade inicial do produto influenciam no gradiente final de umidade na coluna de secagem. O maior gradiente foi obtido com temperatura de 75,0°C, fluxo de 9 m³/min.m² e teor de umidade inicial de 24,0% com um valor de 21,9 pontos percentuais (Figura 13). O menor gradiente foi obtido com a menor temperatura 45,0°C, fluxo de 18m³/min.m² e teor de umidade inicial de 21,0% sendo de 6,87 pontos percentuais (Figura 12).

O resumo da análise de variância para gradiente de umidade (∇U) se encontra na Tabela 7. Observa-se que esta variável foi significativamente influenciada pelos fatores individuais de temperatura e fluxo. Porém a interação temperatura X fluxo foi não significativa. As médias são apresentadas na Tabela 8, observa-se que a temperatura de 45,0 e 60,0°C foram estatisticamente iguais e juntamente com o fluxo de 18m³/min.m² proporcionaram o menor gradiente de umidade. Quanto menor o gradiente de umidade mais uniforme é a secagem em camada fixa (GUSTAFSON & MOREY, 1974; YOUNG & DICKENS, 1975; STEVENS & THOMPSON, 1976).

Tabela 7 - Resumo da análise de variância para $t_{(s+r)}$, $Agua_{1(s+r)}$, $Tx_{(s+r)}$, t_r , gradiente de temperatura (∇T) e gradiente de umidade (∇U) para os tratamentos (fatorial 3 x 2), com teor de umidade inicial de aproximadamente 24,0%, submetidos a secagem artificial.

F.V.	G.L.	Q.M.					
		$t_{(s+r)}$	$Agua_{1(s+r)}$	$Tx_{(s+r)}$	t_r	∇T	∇U
Trat.	5	23,894**	23,811	50,530**	0,035	175,647**	47,739**
Temp.(A)	2	32,755**	43,600	70,592**	0,003	433,683**	61,629**
Fluxo (B)	1	51,237**	0,015	109,989**	0,001	4,688	114,207**
A x B	2	4,705	15,921	0,761	0,031	3,093	0,617
Erro	6	0,947	11,372	2,395	0,025	2,087	4,837
Média		10,128	150,436	16,268	0,794	25,575	15,245
CV%		9,610	2,240	9,510	20,040	5,650	14,430

** Significativo ao nível de 1% pelo teste F.

5.3.2. Gradiente de temperatura

O gradiente de temperatura mostra o comportamento das diferenças de temperatura numa massa de grãos durante o processo de secagem, quando se trabalha com camada fixa. Pelos dados obtidos, observa-se que o gradiente de temperatura foi influenciado pela temperatura, pelo fluxo de ar e umidade inicial do grão (Figura 14). Pelo resumo da análise de variância observa-se efeito significativo da temperatura e não significância dos fluxos de ar estudados sob o gradiente de temperatura (Tabela 7).

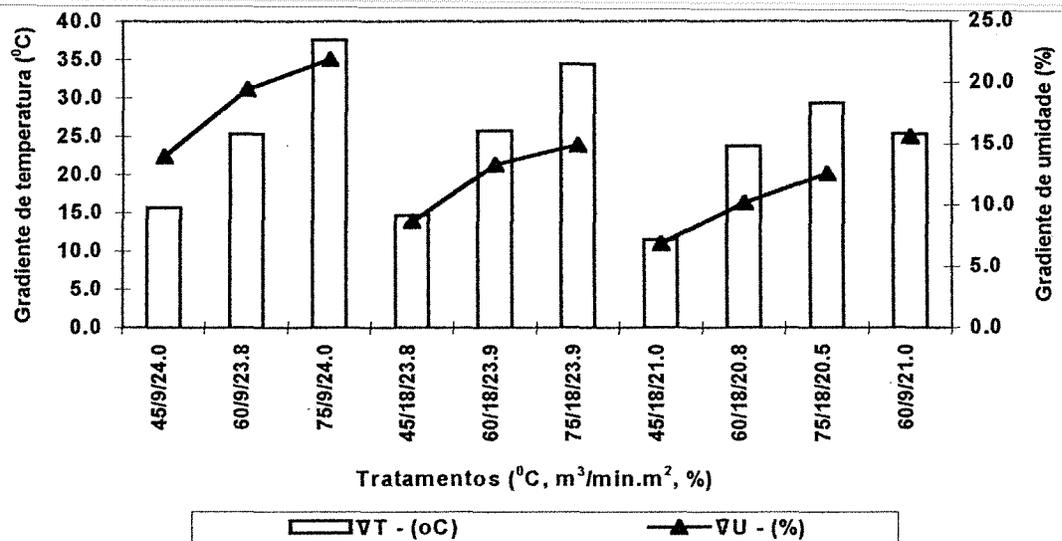


Figura 14 - Valores médios dos gradientes de temperatura e gradientes de umidade final em função das condições de secagem.

O gradiente de temperatura final médio foi de 15,1, 25,5 e 36,0 para as temperaturas de 45,0, 60,0 e 75,0°C, respectivamente. Estas médias são estatisticamente diferentes pelo Teste de Tukey (Tabela 8). O aumento do gradiente de temperatura apresentou uma tendência de crescimento linear com o aumento da temperatura do ar de secagem, nos dois fluxos (Figura 14), para um mesmo teor de umidade inicial.

Tabela 8 - Médias das variáveis analisadas por tratamento, temperatura, fluxo para o grão de sorgo submetido a secagem artificial e solar com teor de umidade inicial de aproximadamente 24,0%.

Tratamento	Rend.desc (%)	μ_f (%)	t_s (h)	Agua ₁ (gH ₂ O/kg seco)	Tx _s (gH ₂ O/kgseco.h)	$t_{(s+r)}$ (h)	t_r (h)	Agua _{1(s+r)} (gH ₂ O/kgseco)	Tx _(s+r) (gH ₂ O/kgseco.h)	∇T (°C)	∇U (%)
T/Q											
45/9	83,00ab	12,40c	15,75c	143,13a	9,11c	16,41c	0,66a	147,21a	9,00c	15,70a	13,55ab
45/18	87,58a	12,45c	9,25ab	141,22a	15,49bc	10,00ab	0,75a	146,17a	14,81bc	16,65a	8,17a
60/9	69,90c	11,30a	10,00b	142,91a	14,29bc	11,00b	1,00a	153,42a	13,95bc	25,35b	19,53b
60/18	86,55a	12,15bc	7,00ab	143,36a	20,48ab	7,77ab	0,77a	149,94a	19,28ab	25,75b	13,34ab
75/9	67,55c	11,50ab	8,25ab	143,62a	17,43abc	9,00ab	0,75a	150,77a	16,77b	37,55c	21,91b
75/18	73,30bc	11,65abc	5,75a	142,81a	25,27a	6,57a	0,82a	155,09a	23,79a	34,45c	14,96ab
T(°C)											
45	85,25a	12,42b	12,50b	142,18a	12,30b	13,21b		146,69a	11,90b	15,17a	10,86a
60	78,22ab	11,72a	8,50a	143,13a	17,39ab	9,39a		151,68a	16,62ab	25,55b	16,43ab
75	70,42b	11,57a	7,00a	143,21a	21,35a	7,79a		152,93a	20,28a	36,00c	18,44b
Fluxo (Q) (m³/min.m²)											
9	73,48b	11,73a	11,33b	143,22a	13,61b	12,14b		150,47a	13,24b	26,20a	18,33b
18	82,45a	12,08b	7,33a	142,46a	20,42a	8,12a		150,40a	19,29a	24,95a	12,16a
Secagem											
artificial	77,97a	11,91a	9,33a	142,84a	17,01a						
solar	85,75a	13,18b	23,00b	146,16a	6,43b						

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Comparando os gradientes de temperatura nas três temperaturas, fluxo de $18 \text{ m}^3/\text{min.m}^2$ e teores de umidades iniciais de 21,0 e 24,0% (Figuras 15 e 16 respectivamente). Observa-se que, quando o produto apresenta menor teor de umidade inicial, os gradientes de temperatura durante a secagem são menores. O maior gradiente de temperatura ($37,6^\circ\text{C}$) foi obtido com a maior temperatura, menor fluxo de ar e umidade inicial de 24,0% (Figura 16) e o menor gradiente ($11,5^\circ\text{C}$) foi obtido com a menor temperatura, maior fluxo de ar e umidade inicial de 21,0% (Figura 15).

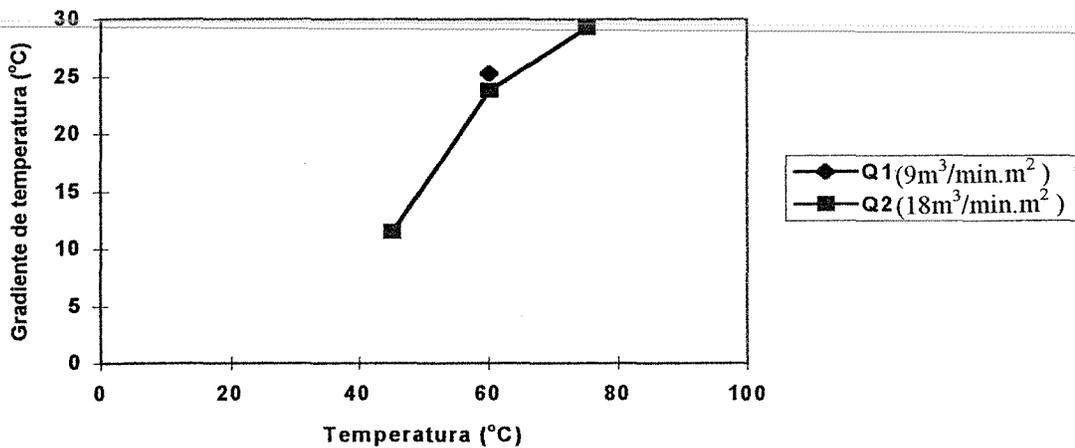


Figura 15 - Gradiente de temperatura no final da secagem do grão de sorgo com teor de umidade inicial de aproximadamente 21,0%.

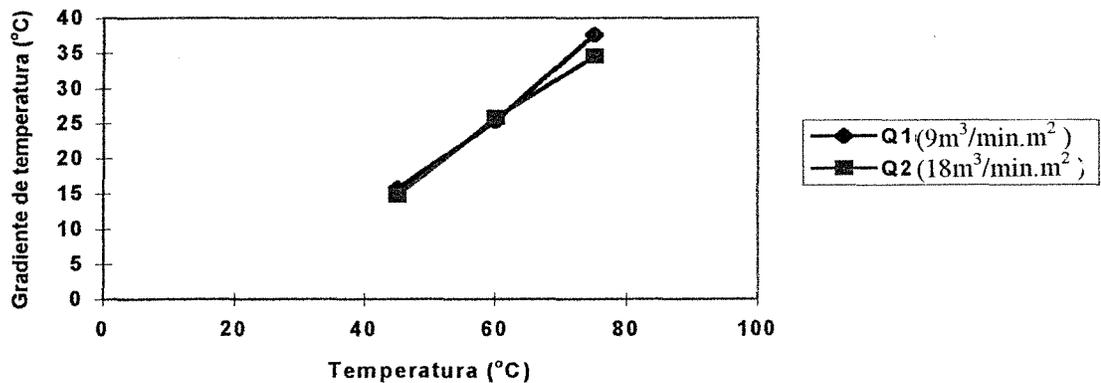


Figura 16 - Gradiente de temperatura no final da secagem do grão de sorgo com teor de umidade inicial de aproximadamente 24,0%.

5.4. Taxa média de secagem

A taxa média de secagem foi obtida do total de água retirada em cada teste pelo período de horas utilizadas para completar o processo de secagem. Observa-se que o teste 1 (tratamento 45/9) foi o que apresentou menor taxa de secagem (33,84g/h) e a maior (112,79g/h) foi a do teste 16 (tratamento 75/18) ambos com teor de umidade inicial de 24%. Podemos atribuir estes resultados a temperatura de secagem e fluxo de ar, uma vez que temperatura e fluxos baixos proporcionaram um maior tempo de secagem (16,50h). O inverso ocorreu para o teste 16 (tratamento 75/18) onde o tempo de secagem foi de 5 horas.

Observa-se que aumentando a temperatura e o fluxo do ar de secagem houve uma tendência de aumento na taxa de secagem (Figura 17). A maior taxa de secagem foi obtida quando se utilizou a maior temperatura e fluxo de ar de secagem (tratamento 75/18 com teores de umidade iniciais de 20,5 e 23,9%) onde foram retirados respectivamente 104,63 e 99,53g de água por hora (Tabela 9). A menor taxa de secagem foi apresentada pelo tratamento 45/9, o de menor temperatura e fluxo de ar, sendo de 35,88 g de água por hora para a umidade de 24,0% (Tabela 9).

Tabela 9 - Resultados médios obtidos pela secagem artificial de 4500g de grão de sorgo, com teores de umidade inicial variando de 20,5 a 24,5%.

T/Q	μ_0 (%)	μ_f (%)	t_s (h)	Água ₁ (g)	Tx _s (g/h)	t_r (h)	$t_{(s+r)}$ (h)	Água _{1(s+r)} (g)	Tx _(s+r) (g/h)
45/9	24,0	12,4	15,75	563,45	35,88	0,67	16,42	577,45	35,29
45/18	21,0	12,3	8,50	414,18	48,73	0,65	9,15	429,20	46,91
45/18	23,8	12,5	9,25	556,82	60,88	0,75	10,00	573,84	58,15
60/9	21,0	12,2	8,00	411,85	51,48	0,83	8,83	429,27	48,62
60/9	23,7	11,3	10,00	562,57	56,26	1,00	11,00	598,56	54,43
60/18	20,8	12,4	4,75	399,74	85,79	0,62	5,37	420,81	79,06
60/18	23,9	12,2	7,00	564,23	80,60	0,78	7,78	586,76	75,47
75/9	24,0	11,5	8,25	565,12	68,58	0,75	9,00	589,58	65,59
75/18	20,5	11,2	4,00	418,51	104,63	1,00	5,00	459,78	91,93
75/18	23,9	11,7	5,75	562,35	99,53	0,83	6,58	604,19	92,72
solar	24,3	13,2	23,00	1275,00	56,13				
solar	21,0	13,6	14,00	850,00	60,71				

O resumo da análise de variância para taxa de secagem se encontra na Tabela 10, nota-se que esta variável foi significativamente influenciada pela temperatura e fluxo. A interação temperatura e fluxo mostrou-se não significativa, enquanto o contraste entre a média da secagem artificial versus secagem solar foi significativo. Observa-se que a temperatura de 60,0 e 75,0°C e o fluxo de 18m³/min.m² foram as condições que proporcionaram as maiores taxas (Figura 17). Este fato pode ser atribuído ao menor tempo de secagem, uma vez que não houve diferença significativa entre os tratamentos para a variável água retirada pela secagem (Tabela 10). Os mesmos resultados foram obtidos para a variável taxa de secagem mais resfriamento (Tabela 7).

Tabela 10 - Resumo da análise de variância para rendimento no descascamento, teor de umidade final, tempo de secagem, água retirada e taxa de secagem para os tratamentos, com teor de umidade inicial de 24,0%, submetidos a secagem artificial e solar.

F.V.	G.L.	Q.M.				
		Rend.desc.	μ_f	t_s	Agua ₁	Tx _s
Trat.	6	145,725*	0,861**	73,726**	4,343	82,875**
Temp.(A)	2	219,981*	0,823**	32,333*	1,333	82,321**
Fluxo (B)	1	241,203*	0,367*	48,000**	7,725	138,924**
A x B	2	44,666	0,190	4,750	1,400	0,821
T _f vs T _{ad}	1	103,852	2,773**	320,190**	18,867	192,043**
Erro	7	24,596	0,044	3,429	24,522	4,406
Média		79,079	12,090	11,286	143,316	15,502
CV%		6,270	1,730	16,410	3,460	13,540

* e ** significativos aos níveis de 5 e 1% pelo teste F, respectivamente.

5.5. Potencial de secagem

O potencial de secagem dos testes 5 e 16 (tratamentos 45/18 e 75/18) com teores de umidade iniciais próximo de 24,0% é mostrado na Figura 18. Observa-se que o potencial

de secagem é maior no início do processo e vai reduzindo gradualmente à medida que a secagem avança, independentemente da temperatura. Temperatura mais elevada mantém um potencial médio de secagem superior. Para o tratamento 75/18 o potencial médio foi de 78,69% enquanto que para o tratamento 45/18 foi de 68,55%.

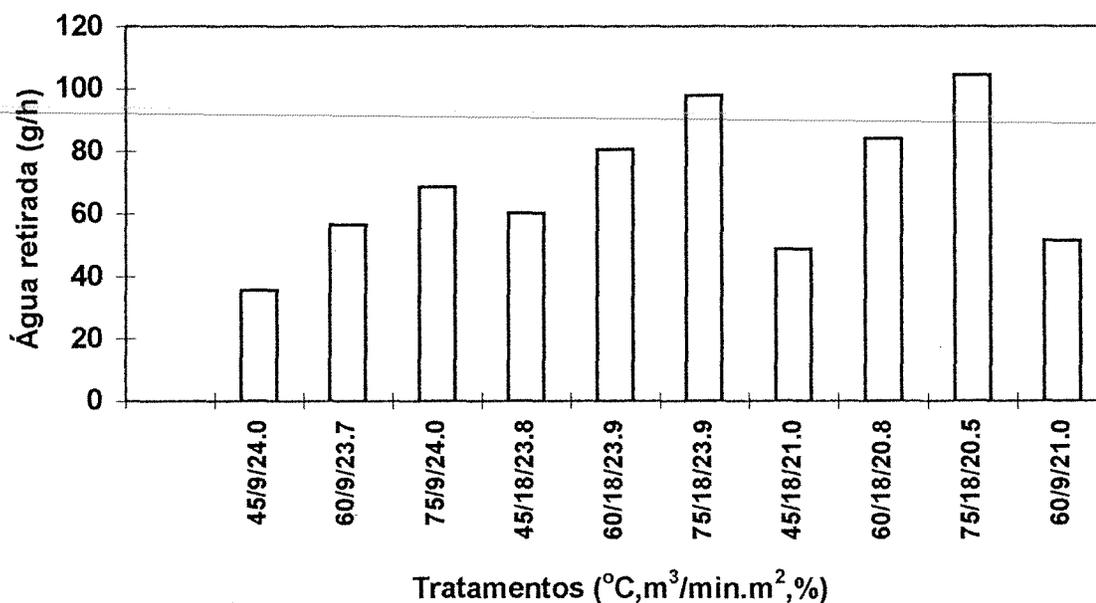


Figura 17 - Taxa média de secagem (g/h) para o grão de sorgo, para teores de umidade inicial variando de 20,5 a 24,0%.

O potencial de secagem dos testes 13 e 16 (tratamentos 75/9 e 75/18) com teor de umidade inicial de 23,9% é mostrado na Figura 19. Observa-se que no menor fluxo ($9\text{m}^3/\text{min.m}^2$) o potencial de secagem foi praticamente constante, enquanto que no fluxo maior houve uma redução de 26,43% durante o processo.

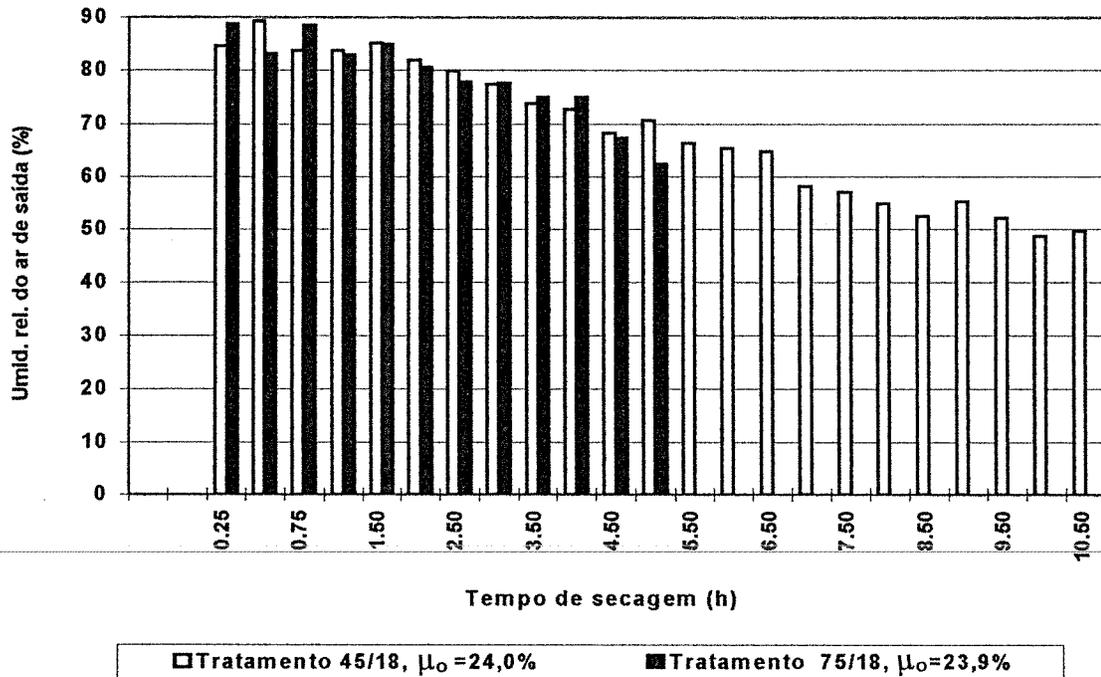


Figura 18 - Condições do ar de secagem na saída do secador para os testes 5 e 16 ($T = 45^\circ\text{C}$, $Q = 18\text{m}^3/\text{min.m}^2$) e ($T = 75^\circ\text{C}$, $Q = 18\text{m}^3/\text{min.m}^2$) com teores de umidade iniciais de 24,0 e 23,9%, respectivamente.

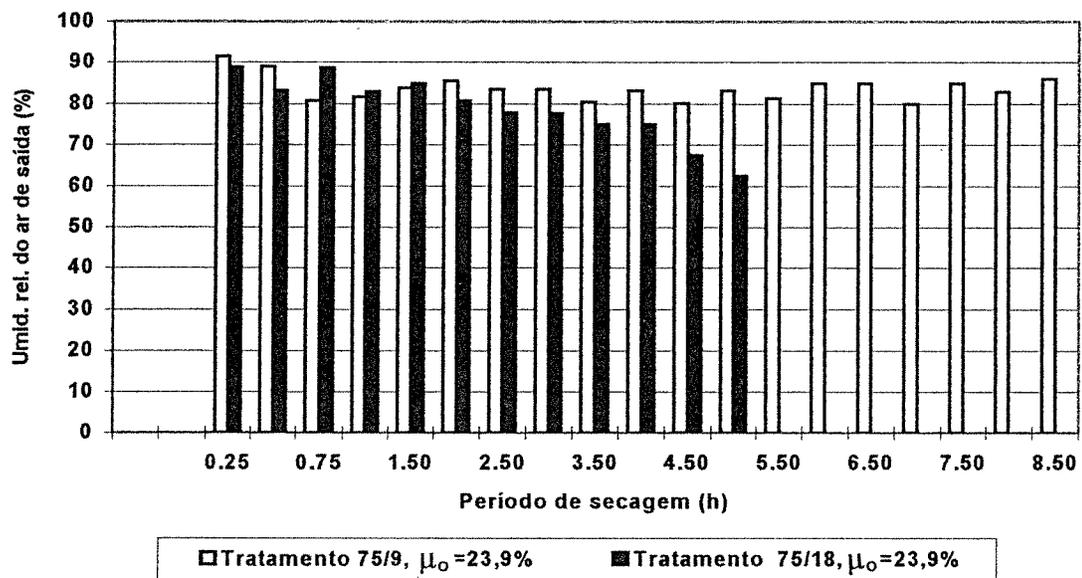


Figura 19 - Condições do ar de secagem na saída do secador para os testes 13 e 16 ($T = 75^\circ\text{C}$, $Q = 9\text{m}^3/\text{min.m}^2$ e $T = 75^\circ\text{C}$, $Q = 18\text{m}^3/\text{min.m}^2$) com teor de umidade inicial de 23,9%.

5.6. Tempo de secagem

Observa-se que o tempo total de secagem manteve a tendência de redução, à medida que se aumentou a temperatura e o fluxo do ar de secagem (Tabela 9). Mantendo temperatura e fluxo constantes, o tempo de secagem aumentou com o aumento da umidade inicial.

O resumo da análise de variância para tempo de secagem se encontra na Tabela 10. Observa-se que esta variável foi significativamente influenciada pela temperatura e fluxo. A interação temperatura e fluxo foi não significativa e o contraste entre a média da secagem artificial versus secagem solar foi significativa. O tempo médio necessário na secagem solar foi quase o dobro do tempo médio nos tratamentos submetidos a temperatura de 45,0°C. Observa-se também que nas temperaturas de 60,0 e 75,0°C, houve uma redução significativa no tempo de secagem, quando comparado com o tempo dos tratamentos submetidos à temperatura de 45,0°C. O fluxo de 18m³/min.m² foi o que proporcionou menor tempo de secagem (Tabela 8).

O tempo de secagem também foi influenciado pelas condições ambientais pela precariedade dos controles dos parâmetros de temperatura e umidade relativa dentro do laboratório durante o processo de secagem. Tratamentos iguais tiveram tempo de secagem diferente como foi o caso dos testes 16 e 17, 7 e 8, 18 e 19. Para os testes 16 e 7 o tempo de secagem foi menor quando comparado com os testes 17 e 8, respectivamente, devido a temperatura média do ar ter sido maior, apesar da umidade relativa média do ar ter sido menor durante os testes 17 e 8. O tempo de secagem do teste 17 foi 1.50h maior que do teste 16, isto ocorreu porque durante a secagem do teste 16 a temperatura do ar dentro do laboratório foi praticamente constante com média de 29,2°C. Já para o teste 17 a média foi

de 27,4°C com variação de 20,5 a 32,0°C, apesar da umidade relativa do ar menor (Tabela 4). O menor tempo de secagem apresentado pelo teste 19 foi provavelmente devido a maior velocidade do vento, embora durante a sua realização as condições médias de temperatura e horas de insolação fossem menores e maior nebulosidade (Tabela 5). Tratamentos iguais tiveram tempo de secagem semelhante quando as condições ambientais foram semelhantes como foi o caso dos testes 11 e 12 (Tabela 4).

5.7. Tempo de resfriamento.

O tempo de resfriamento após a secagem torna-se de fundamental importância, uma vez que para armazenar seguramente o produto é preciso que este esteja seco e frio. Pode-se observar que houve reumedecimento do produto na camada inferior (bandeja 1) em todos os tratamentos representados nas Figuras 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Este reumedecimento foi mais pronunciado no tratamento representado na Figura 6 onde se tem fluxo de ar menor, temperatura de secagem e teor de umidade inicial altos.

O tempo de resfriamento também é influenciado pelas condições ambientais. Quando a temperatura média do ar foi maior, o tempo de resfriamento foi maior como ocorreu para os testes 7 e 16 quando comparado com os testes 8 e 17, respectivamente (Tabelas 4 e 6). O tempo de resfriamento apresentou semelhança quando a temperatura do ar foi semelhante como ocorreu nos testes 11 e 12 (Tabelas 4 e 6). A análise de variância para tempo de resfriamento não detectou significância para os fatores estudados (Tabela 7).

5.8. Teor de umidade final

Todos os tratamentos apresentaram teor de umidade final menor do que o valor pré-determinado de 13,0% (Tabela 6). A análise de variância para teor de umidade final mostrou haver diferença significativa para os fatores temperatura e fluxo (Tabela 7). O teor de umidade final apresentado pelos tratamentos submetidos a temperatura de 45,0°C foi significativamente maior que o apresentado pelos tratamentos submetidos à temperatura de 60,0 e 75,0°C (Tabela 8). Por outro lado, o teor de umidade apresentado pelos tratamentos submetidos ao fluxo menor foi estatisticamente menor que o apresentado pelos tratamentos submetidos ao fluxo maior (Tabela 8). Provavelmente porque os grãos quando expostos a temperaturas maiores e fluxos menores mantêm um calor sensível maior proporcionando uma perda de umidade maior durante e após o tempo de resfriamento.

5.9. Qualidade do produto

5.9.1. Aspectos químicos

Para a análise dos parâmetros nutricionais foram escolhidos 3 tratamentos com secagem artificial nas diferentes temperaturas e com fluxo constante ($18\text{m}^3/\text{min.m}^2$), um tratamento com secagem solar e o material original armazenado em câmara fria.

Os valores dos teores de proteína, extrato etéreo, fibra e fenóis totais são apresentados na Tabela 10. Observa-se que não houve diferença significativa dos componentes nos diversos tratamentos submetidos a secagem. No entanto, os valores encontrados para o material que não foi submetido a secagem se apresentam menores, isto

porque no produto armazenado com alta umidade ocorre uma perda maior das substâncias nutritivas PUZZI, (1986).

A presença de tanino é detectada quando o teor de fenóis totais se encontra acima de 0,80% (RODRIGUES, 1996). Como os valores encontrados para os tratamentos analisados foram abaixo deste valor, considera-se ausência de tanino. Os teores de fenóis totais encontrados nos diversos tratamentos não diferem entre si, isto mostra que a secagem não influenciou na composição destas substâncias (Tabela 11).

Tabela 11 - Valores dos teores de proteína, extrato etéreo, fibra e tanino para o grão de sorgo submetido a secagem artificial e solar, e original.

N.t.	T _s (°C)	t _s (h)	Umidade (%)	Prot. Bruta (%)	Ex. etéreo (%)	Fibra (%)	Fenóis totais (%)
T-4	45,0	8,00	13,71	10,02	3,13	1,48	0,16
T-11	60,0	7,00	13,05	10,08	3,17	1,62	0,16
T-17	75,0	6,50	14,01	9,63	3,18	1,41	0,17
solar			12,81	9,35	3,03	1,45	0,18
original			22,99	8,31	2,65	1,32	0,13

5.9.2. Aspectos físicos

Quanto aos aspectos físicos foram avaliados rendimento no descascamento, moagem e análise granulométrica.

O teste para rendimento no descascamento foi feito com todos os tratamentos e os valores obtidos são mostrados na Tabela 12. A análise de variância para esta variável se encontra na Tabela 10. Observa-se que o rendimento no descascamento foi significativamente influenciado pelos fatores temperatura e fluxo isoladamente, porém interação (temperatura X fluxo) e o contraste entre as médias (secagem artificial versus secagem solar) foram não significativas.

Tabela 12 - Valores obtidos para rendimento no descascamento do grão de sorgo submetido a secagem artificial e solar.

N.t.	T _s (°C)	Q (m ³ /min.m ²)	μ _o (%)	μ _f (%)	t _s (h)	Rend. desc. (%)
1	45	9	23,9	12,6	16,5	82,2
2	45	9	24,0	12,2	15,0	83,8
3	45	18	21,0	12,3	8,5	89,3
4	45	18	23,5	12,4	8,0	84,5
5	45	18	24,0	12,5	10,5	90,5
6	60	9	21,0	12,2	8,0	81,1
7	60	9	23,4	11,1	9,5	67,3
8	60	9	24,0	11,5	10,5	72,5
9	60	18	20,5	12,3	4,0	83,5
10	60	18	21,0	12,4	5,5	84,5
11	60	18	23,9	12,1	7,0	87,7
12	60	18	23,9	12,2	7,0	85,4
13	75	9	23,9	11,7	8,5	65,6
14	75	9	24,0	11,3	8,0	69,5
15	75	18	20,5	11,2	4,0	67,0
16	75	18	23,9	11,7	5,0	65,3
17	75	18	23,9	11,6	6,5	81,3
18-solar			24,5	13,0	26,0	86,5
19-solar			24,0	13,3	20,0	85,0
20-solar			21,0	13,6	14,0	85,3

As médias para a variável rendimento no descascamento são mostradas na Tabela 8. Observa-se que a temperatura que proporcionou maior rendimento foi a de 45,0°C, diferindo da temperatura de 75,0°C pelo teste Tukey. Os valores para rendimento no descascamento nos tratamentos com temperaturas de secagem de 45,0 e 60,0°C e secagem solar são similares aos obtidos por GUERRA (1984). O fluxo que proporcionou maior rendimento foi o de 18m³/min.m² provavelmente por ter propiciado uma secagem mais uniforme da camada de grãos (Tabela 8).

Para o teste de moagem e análise granulométrica foi escolhido um teste de cada tratamento, com umidade inicial de aproximadamente de 24,0%. Os valores obtidos no teste de moagem e análise granulométrica são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Valores de umidade, temperatura, tempo de moagem e diâmetro médio obtidos durante o teste de moagem usando uma peneira de 3,2 mm.

N.t.	T/Q	t _s (h)	μ(gr.inteiro) (%)	T.inicial (°C)	t _m (s)	T _m (°C)	μ(gr.moído) (%)	D. médio gr.moído(mm)
2	45/9	15,00	14,71	21,1	29,66	29,3	14,89	1,2108
5	45/18	10,50	14,33	21,1	30,49	28,5	14,37	0,7997
8	60/9	10,50	13,44	21,1	37,83	29,5	13,77	1,0320
11	60/18	7,00	13,88	21,1	27,69	26,2	14,35	1,1868
14	75/9	8,00	13,47	21,2	38,73	26,5	13,85	1,0179
17	75/18	6,50	13,22	21,5	30,00	27,2	13,70	1,1962
18	solar	26,00	12,94	21,5	36,97	30,2	13,57	0,7981

No caso da moagem para o teste de secagem realizado à temperatura de 45,0°C, praticamente não houve diferença da temperatura final de moagem (T_{f.m.}) e tempo de moagem (t_m), quando se compara os dois fluxos (Tabela 13). Por outro lado, para as temperaturas de 60,0 e 75,0°C, o tempo de moagem foi menor quando se utilizou fluxo de 18m³/min.m² em comparação com o fluxo de 9m³/min.m² (Tabela 13). Para o teste solar o tempo de moagem foi similar ao apresentado para os testes nas temperaturas de 60,0 e 75,0°C no fluxo 9m³/min.m² (Tabela 13).

Observa-se que com temperatura de 60,0 e 75,0°C e fluxo de 9m³/min.m², o tempo de moagem foi maior em relação ao fluxo de 18m³/min.m², isto provavelmente ocorreu devido ao maior tempo de secagem, que permitiu que os grãos ficassem mais tempo expostos a estas temperaturas, causando um endurecimento dos mesmos. Comportamento similar aconteceu para o tratamento submetido a secagem solar (Tabela 13).

6. CONCLUSÕES

Os processos de secagem solar e artificial apresentaram a mesma eficiência quanto a secagem e parâmetros de qualidade nutricional avaliados. Todavia a secagem natural demanda mais tempo e é dependente das condições ambientais.

O efeito dos níveis de temperatura afetaram diferentemente a uniformidade da secagem na camada de grãos. O nível de 45,0°C possibilitou uma secagem mais uniforme, no entanto demandou mais tempo. O nível de 60,0°C apresentou tempo de secagem estatisticamente igual ao de 75,0°C e uniformidade da secagem ligeiramente inferior ao nível de 45,0°C.

O fluxo de 18m³/min.m² mostrou-se superior ao fluxo de 9m³/min.m² para os parâmetros analisados e possibilitou uma secagem mais uniforme da camada de grãos.

O gradiente de temperatura, o gradiente de umidade e a taxa de secagem aumentaram com o aumento da temperatura de secagem, independentemente do fluxo de ar. Os gradientes de temperatura e umidade reduziram com o aumento do fluxo de ar, enquanto a taxa de secagem aumentou.

O potencial de secagem é maior no início da secagem e reduz gradualmente com o avanço da secagem, independentemente da temperatura. Porém temperaturas maiores

mantém um potencial médio maior. O fluxo de ar de $9\text{m}^3/\text{min.m}^2$ manteve um potencial de secagem aproximadamente constante durante o processo enquanto o fluxo de $18\text{m}^3/\text{min.m}^2$ reduziu com o avanço da secagem.

A secagem nas temperaturas de $45,0$ e $60,0^\circ\text{C}$ e secagem solar propiciaram melhor rendimento no descascamento.

Os parâmetros de qualidade (proteína bruta, extrato etéreo, fibra bruta e fenóis totais) não alteraram com a secagem.

7. SUMMARY

The sorghum (*Sorghum bicolor* L. MOENCH) in spite of being a very ancient culture, its development in many agriculture region of the world is recent, it's the fifth cereal more planted in the world. In Brazil of crop sorghum has started in the 70th in Rio Grande do Sul. The drying is one of the most important steps of the processing, must be well conducted to ensure the quality of the product end to allow storage assurance. This work had the proposal to evaluate the processes of natural and artificial drying of the sorghum (hybrid BR-303) and the main parameters engaged in the processes. The parameters studied in the artificial drying were: temperature (45, 60 and 75°C); initial moisture content (20.5 to 24.1% W.S.) and air flows (9 and 18m³/min.m²). The experiment was done in the drying laboratory of Feagri/Unicamp, utilized the dryer with a stationery bed of the grains 0.50m high. To the natural drying of sorghum was placed in an tray of one m² of area, with layer of 0.03m high, on show at sun of 9:00 at 17:00 hours. It was performed 17 tests artificial drying and 3 tests natural drying. The statistics analysis it were considered 12 tests of artificial drying and two of natural drying, with average moisture content 24%, this tests were analyzed in factorial (3 x 2) with one extra treatment (natural drying) total up 7 treatments, in rondon complete design, with two replications. The variables evaluate were:

peeling yield, finish moisture content, drying time, water removed in drying, average rate drying, cooling time, temperature gradient and moisture content gradient. The processes of drying natural and artificial showed equal efficiency at finish content moisture and parameters of nutritive quality, however, natural drying demanded more time and dependent conditions environments. The drying temperature of 60°C showed to be best for all analysed parameters. The air flow of 18m³/min.m² showed superiority on the flows of 9m³/min.m², all through temperatures, to all analysed parameters besides of having make possible a better uniform drying of the mass. The temperatures of 45 and 60°C showed major peeling yield.

The drying temperatures was no influence milling and the content of brute protein, etereo extract, brute fibre and total phenols.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL. FNP Consultoria & Comércio. p.387-88, 1997.

ALMANAQUE ABRIL. Editora Abril. S.P. Brasil, 1994. ANO XX.

ALVARENGA, L. C. Transporte de água em grãos de feijão preto sob condições de secagem e repouso. Viçosa, UFV, 1979. 58 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 1979.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL. Rio de Janeiro : **IBGE**, 1993.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 1975.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO. Sorgo Granífero: Cultivo e Utilização. Pelotas, RS. 1986, 41 p. (GRUPO PRÓ-SORGO-SUL).

BAKKER-ARKEMA, F. W., BROOK, R. C., BROOKER, D. B. Energy and capacity performance evaluation of grain dryers. St. Joseph, MI: ASAE, 1978. 14 p. Paper n. 78-3532.

BAKER, K. D., PAULSEN, M. R., ZWEDEN, J. V. Temperature effects on seed corn dryer performance. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 9, n. 1, p. 79-83, 1993.

- BIAGGIONI, M. A. M. **Análise da secagem de grãos de milho (*Zea mays* L.), com ar em temperatura próxima à ambiente, para as condições climáticas de Botucatu-SP.** Viçosa: UFV, 1995. 62 p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Univ. Federal de Viçosa, 1995.
- BROOKER, D. B., BAKKER-ARKEMA, F. W., HALL, C. W. **Drying cereal grains.** Westport, AVI. Publ. Comp. Inc., 1974. 265 p.
- BROOKER, D. B., BAKKER-ARKEMA, F. W., HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 450 p.
- BUSTOS, F. M. **Obtenção de Farinhas Instantâneas de sorgo para "Tortilhas" pelo processo de extrusão.** Campinas: UNICAMP, 1988. 160 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Univ. Estadual de Campinas, 1988.
- CABELL, C. A., DAVIS, R. E., SAUL, R. A. Relation of drying air temperature, time , and air flow rate to the nutritive value of field -shelled corn. **A technical progress report.** ARS 44-41. Agr. Res. Service, U.S. Dep. Agr. 1958.
- CALDERWOOD, D. L. Drying rice in heated air dryers with aeration as a supplemental treatment. Washington, D. C., USA, 1961. 22 p. (**Marketing Research Report, 508**).
- CARVALHO, N. M., NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção.** 3 ed. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1988. 424 p.
- CARVALHO, N. M. de **A secagem de sementes.** Jaboticabal : FUNEP, 1994. 165 p.
- CAVARIANI, C., BAUDET, L. Secagem de sementes. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, MG, v. 8, n. 91, p. 44-49, Julho 1982.
- CLASER, C. A. **Efeito da temperatura e da umidade relativa do ar de secagem na germinação de sementes de soja (*Glycine max.* L. Merrill) .** Viçosa: UFV, 1995. 79 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Univ. Federal de Viçosa, 1995.

- COELHO, A. M., ANDRADE, L. A. B., FINCH, E. O. Secagem e armazenamento de grãos e sementes. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, MG, v. 5, n. 56, p. 55-59, Ago. 1979.
- DALBELLO, O. **Eficiência do processo de secagem do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) e milho-pipoca (*Zea mays* L.)**. Campinas: UNICAMP, 1995. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Univ. Estadual de Campinas, 1995.
- DALPASQUALE, V. A., SILVA, J. de S. Secagem de grãos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, MG, v. 9, n. 99, p. 8-11, Março 1983.
- DONZELES, S. M. L. **Curvas de quebra e de secagem de milho em camadas finas na faixa de temperatura de 45 a 150°C**. Viçosa: UFV, 1982. 43 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, 1982.
- EL-DASH, A., CHANG, Y. K., CAMPOS, J. E., MAZZARI, M. R. Tecnologia de produção de farinha de sorgo para alimentação humana. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, MG, v. 12, n. 144, p. 6-10, Dez. 1986.
- EMBRAPA-CNPMS. **Recomendações Técnicas para o cultivo do sorgo**. 3. ed., Sete Lagoas, MG, 1988. 80 p. (EMBRAPA/CNPMS. Circular técnica, 01).
- FANCELLI, A. L. **Plantas alimentícias: Guia para aula, estudos e discussão**. ESALQ-CALQ. Piracicaba, SP. 1986.
- GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 13 ed.. Piracicaba, SP: Livraria Nobel S.A, 1980. 468 p.
- GUALBERTO, J. A. G. **Efeitos de parâmetros de secagem na qualidade do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) previamente aerado**. Campinas: UNICAMP, 1990. 29 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola em andamento) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Univ. Estadual de Campinas, 1990.
- GUERRA, M. M. J. **Desenvolvimento de um proceso de moagem de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) e de produção de farinhas pré-gelatinizadas**. Campinas: UNICAMP, 1983. 160 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Univ. Estadual de campinas, 1983.

- GUNASEKARAN, S., JACKSON, C. Y. Resistance to Airflow of Grain Sorghum. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, MI, v. 31, n. 4, p. 1237-1240, Julho-Agosto 1988.
- GUSTAFSON, R. J. MOREY, R. V. Moisture and quality variations across the column of a crossflow grain dryer. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, MI, 1980. 15 p. Paper n. 80-3513.
- GUSTAFSON, R. J. MOREY, R. V. Study of factors affecting quality changes during high-temperature drying. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, MI, v. 22, n. 4, p. 932-62, 1974.
- ~~HALL, C. W. **Drying farm crops**. Ann Arbor, MI: Edwards Brothers, 1971. 336 p.~~
- HENDERSON, S. M.; PERRY, R. L. **Agricultural process engineering**. 2 ed. Califórnia: University of California, 1966. 442p.
- HUKILL, W. V. Drying of grain. In: CRHISTENSEN, C. M. **Storage of cereal grain and their products**. St. Paul, 1974. Vol. 2 p. 481-508.
- HUKILL, W. V., SCHMIDT, J. T. Drying rate of fully exposed grain kernels. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, MI, v. 3, n. 1, p 71-80, 1960.
- INFORME AGROPECUÁRIO. **Sorgo/Tecnologia de Produção**. Belo Horizonte-MG: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais -EPAMIG, v. 5, n. 56, Ago. 1979.
- INFORME AGROPECUÁRIO. **Sorgo**. Belo Horizonte-MG: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais -EPAMIG, v. 12, n. 144, Dez. 1986.
- LASSERAN, J. C. **Aeração de grãos**. Tradução de José Carlos Celaro, Miriam S. Celaro e Miriam Costa Val Gomide. Viçosa, Centro de Treinamento em Armazenagem. 1981. 128 p. (Série Centreinar n. 2). Tradução de: La Ventilation des Grains.
- LASSERAN, J. C. Princípios gerais de secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, MG, v. 3, n. 3, p. 17-46, Julho, 1978.

LI, H., MOREY, R. U. Thin-layer drying of yellow dent corn. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, MI, v. 27, n 2 , p. 581-585, 1984.

MACHADO, E. C., PRATES, H. S., FRATTINI, J. A. **Manual de Armazenamento de Grãos**. Campinas, Coordenadoria de Assistência Integral, 1977. 118 p.

MARTINHO, M. N. de O. **Digestibilidade protéico-energética do sorgo (*Sorghum bicolor*), variedade BR-54 submetido a tratamento com hidróxido de amônio e extrusão**. Viçosa: UFV, 1982. 58 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Univ. Federal de Viçosa, 1982.

MORE, H. G. **Effect of heat treatment on quality parameters and the disinfestation of sorghum**. Ph. D. Thesis (In Agricultural Engineering) - Granfield Institute of Technology Silsoe College, 1991.

MOREY, R. V., CLOUD, H.A., LUESCHEN, W. E. Practices of the efficient utilization of energy for drying corn. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, MI, v. 19. n. 1, p. 151-155, 1976.

NELLIST, M. E. Developments in continuous flow grain driers. **The Agricultural Engineering**, Autumn, 1982. p. 74-80.

OLIVEROS TASCÓN, C. E. **Simulação de secagem de café, em camada fixa, com inversão de sentido de fluxo de ar**. Viçosa : UFV, 1984. 64 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Univ. Federal de Viçosa, 1984.

PARK, K.J. **Fundamentos de Secagem**. 1988. 26 p. (datilografado). [S.I.].

PRICE, M. L., BUTLER, L. G., Rapid visual estimation and spectrophotometric determination of tannin content of sorghum grain. **J. agric. food chem.**, v. 25, n. 6, p. 1268-1273, 1977.

PRICE, M. L., BUTLER, L. G., FEATHERSTON, W. R., ROGLER, J.G. , Detoxification of high tannin sorghum grain. **Nutr. Rep. Intern.**, v. 17, n. 12, p. 229-235, 1978.

PRICE, M. L., BUTLER, L. G. **Tannins and nutrition**. West Lafayette. Indiana : Purdue university 1980. 37 p. (bol. n 272).

- PUZZI, D. **Abastecimento e armazenagem de grãos.** Campinas, SP: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1986. 603 p.
- RODRIGUES, W.A. **Tanino em sorgo: métodos de determinação e análise genética.** Piracicaba, ESALQ, 1996. 81p. (Dissertação de Doutorado).
- ROONEY, L. W., CLARK, L. E. The Chemistry & Processing of Sorghum Grain. **Cereal Science Today**, v. 13, n. 7, p. 259-285, july 1968.
- ROONEY, L. W., GRUAR, W. B., CATER, C. M. Protein and amino acid contents of successive layers removed by abrasive milling of sorghum grain. **Cereal Chemistry**, v. 49, n. 4, p. 399-406, july 1972.
-
- ROONEY, L. W., JOHNSON, J. W., ROSENOW, D. T. Sorghum Quality Improvement : Types for Food. **Cereal Science Today**, v. 15, n. 8, p. 240-243, august 1970.
- ROSSI, S. J., ROA, G. **Secagem e armazenamento de produtos agropecuários com uso de energia solar e ar natural.** São Paulo : Academia de ciências-ACISESP, 1980. 295 p.
- SABBAH, M. A., MEYER, G. E., KEENER, H. M., ROLLER, W. L. Reversed-direction-air-flow drying for soybean seed. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, MI, v. 20, n. 4, p. 562-570, 1977.
- SATHLER, M. G. B. **Secagem de feijão em camadas finas, a baixas temperaturas e seus efeitos na germinação de sementes.** Viçosa : UFV, 1979. 39 p. Tese Mestrado.
- SOARES, J. B. **Curvas de secagem em camada fina e propriedades físicas de soja (*Glycine max* L.).** Viçosa : UFV, 1986. 91 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Univ. Federal de Viçosa, 1986.
- STEVENS, G. R.; THOMPSON, T. L. Improving crossflow grain dryer design using simulation. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, MI, v.19, n. 3, p. 778-781, 1976.

VALENTINI, S.R. de T. **Efeito de secagem e do armazenamento sobre a germinação de sementes de peroba-rosa (*Aspidosperma polyneuron* M. Arg.)**. Campinas : UNICAMP, 1992. 69 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1992.

WALL, J. S., BLESSIN, C. W. **Composition & Structure of Sorghum Grains**. *Cereal Science Today*, v. 14, n. 8, p. 264-276, august 1969.

WALL, J. S., ROSS, W. **Produccion y usos del sorgo**. Buenos Aires, Argentina: Editorial Hemisferio Sur, 1975. 399 p.

YOUNG, J. H., DICKENS, J. W. **Evaluation of costs for drying in batch or cross-flow systems**. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, MI, v. 18, n. 4, p. 734-739, 1975.