

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**SECAGEM INTERMITENTE COM FLUXO CRUZADO
E ALTAS TEMPERATURAS E SUA INFLUÊNCIA NA QUALIDADE
DO TRIGO DURO (*Triticum durum* L.)**

POR

RICARDO RAMOS MARTINS

Parecer

Este exemplar corresponde a redação final da dissertação de Mestrado defendida por Ricardo Ramos Martins e aprovada pela Comissão Julgadora em 28 de agosto de 1997. Campinas, 02 de setembro de 1998.

ORIENTADOR:

Prof. Dr. JOÃO DOMINGOS BIAGI

Presidente da Banca

Dissertação apresentada em cumprimento parcial dos requisitos para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Agrícola: Área de Concentração em Pré-Processamento de Produtos Agropecuários**

**Agosto/1997
CAMPINAS
Estado de São Paulo
BRASIL**

9823091



UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	UNICAMP
	M.º
	Ex.
NUM. BC/	35.825
PROJ.	395/98
	0 <input type="checkbox"/> 0 <input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	14/11/98
N.º CPD	

CM-00118788-9

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

M366s Martins, Ricardo Ramos
 Secagem intermitente com fluxo cruzado e altas temperaturas e sua influência na qualidade do trigo duro (*Triticum durum* L.). / Ricardo Ramos Martins.--Campinas, SP: [s.n.], 1997.

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

1. Trigo - Qualidade. 2. Nutrição animal. 3. Grãos - Secagem. 4. Trigo - Moagem. I. Biagi, João Domingos. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

À minha mãe Yeda pela luta e pela vida.

*Ao meu pai Divo (*in memoriam*) pelo trabalho.*

*Aos meus avós Euclides e Alaides (*in memoriam*) pela convivência.*

Aos meus sogros Cláudio e Teresinha pela presença, carinho e incentivo.

A tia Iara que possibilitou que eu seguisse minha vocação.

*À minha esposa Heloisa e minha filha Bibiana
razões maiores de minha existência.*

Ao precursor do serviço de Extensão Rural,

"Um homem pode duvidar do que ouve;

Pode também duvidar do que ele vê;

Só não pode, porém, duvidar do que ele faz."

SEAMAN KNAPP

AGRADECIMENTOS

Ao Professor João Domingos Biagi , pela orientação, apoio, incentivo e pela amizade durante o curso de mestrado.

Aos amigos Paulo Armando Victória de Oliveira, José Boaventura da Rosa Franco e Luis Otávio Nunes da Silva pela convivência fraterna e pelos ensinamentos.

À Cristina de Paula R. S. Magno pela competência, dedicação, ensinamentos e também juntamente com o Marcelo pela amizade e convivência fraterna.

Ao Valdir Silveira de Ávila e ao Henrique Augusto dos Santos Bartels pela amizade e fundamental ajuda na conclusão deste trabalho.

Ao Professor Paulo Martins Leal pela amizade, ensinamentos e apoio.

A Professora Marlene Rita de Queiróz pelos ensinamentos e amizade, e pelas participações nas bancas de exame de qualificação e de defesa de dissertação.

Ao Professor José Fernando Machado Mentem pela participação na banca de defesa de dissertação.

Aos Professores Benedito Carlos Benedetti, Kil Jin Park, Silvio Luis Honório e Paulo Sérgio Graziano Magalhães pelos ensinamentos e convivência e a Faculdade de Engenharia Agrícola pela oportunidade concedida para a realização do curso.

Ao Gustavo J.M.M. de Lima pela constante disposição em ajudar e pela amizade.

Ao amigo Eduardo Teixeira da Silva pelas trocas de experiências, trabalhos desenvolvidos e convívio fraterno.

Aos Professores do Departamento de Zootecnia da Faculdade de Agronomia/UFRGS, em especial ao Professor Antonio Mario Penz Jr, que tornou possível a conclusão deste trabalho.

À ASCAR/EMATER-RS que oportunizou a realização deste curso e aos colegas de nossa empresa pela ajuda em tornar-me um profissional melhor.

À CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

À Aninha e a Marta, pela paciência, colaboração e pela amizade.

À todos os funcionários da FEAGRI que de alguma forma ajudaram no desenvolvimento deste trabalho, principalmente ao José Maria, Roberto, Luiz, Francisco e Dario.

Ao José Benedito dos Santos pela montagem do quadro de comando do secador.

Aos pesquisadores e técnicos do Instituto de Tecnologia de Alimentos ITAL, especialmente ao José Maria Monteiro Sigrist, Carlos Ernesto de Arruda e Silvia Helena Savoia Biondi, pelo trabalho realizado e os ensinamentos transmitidos.

Aos pesquisadores do Instituto Agrônomo de Campinas IAC, em especial ao João Carlos Felício, Marcelo Ticelli e Luiz Fernandes Razera pela ajuda na fase inicial do projeto.

Aos baianos Celso, Neila e Tati; aos catarinenses Dalbello, Isaura, Aline e Pablo; aos gaúchos Neiva e Nataniel; aos paulistas Cintia, Victor, Valdomiro, Roseli e Álvaro Bruno e aos cariocas Marcelo, Cláudia, Gabriel, Bete e Daniel pela amizade e convívio fraterno.

À Nala pela presença nos momentos difíceis.

Ao meu cunhado Dado pela assessoria na parte de informática.

Aos meus irmãos Cláudia e Roberto pela amizade e convívio fraterno.

Aos cunhados Jorge, Nara, Eraldo e Lúcia pelo carinho e incentivo.

Ao pequeno produtor do nosso estado que, ao tirar o sustento da terra alimenta seus semelhantes.

SUMÁRIO

PÁGINA DE ROSTO	i
DEDICATÓRIA	ii
AGRADECIMENTOS	iii
SUMÁRIO	v
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO.....	xv
SUMMARY	xvi
1.INTRODUÇÃO	1
2.OBJETIVOS	6
3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
3.1.Classificação e Caracterização do Produto	7
3.1.1.Classificação do Trigo	7
3.1.2.Caracterização do Trigo.....	9
3.1.3.Características do Trigo Duro	16
3.2.Princípios Gerais da Secagem	19
3.3.Secagem com Ar Aquecido.....	22
3.3.1.Classificação dos Secadores de Acordo com o Fluxo de Ar e o Fluxo do Produto	23
3.4.Avaliação da Secagem e dos Secadores de Fluxos Cruzados	26
3.4.1.Secagem em Fluxo Cruzado.....	27
3.4.2.Secadores e Secagem Intermitente	31
3.4.2.1.Estudos de Curvas de Secagem em Secadores Intermitentes.....	36
3.5.Principais Testes Usados para a Avaliação da Qualidade Industrial do Trigo	38
3.5.1.Testes Físicos-Químicos.....	38
3.5.1.1.Peso do Hectolitro (PH)	38
3.5.1.2.Proteínas.....	38
3.5.1.3.Cinzas ou Resíduo Mineral Fixo.....	39

3.5.1.4. Moagem Experimental	40
3.5.1.5. Número de Queda ou Falling Number (Método Hagberg)	41
3.5.2. Testes de Reologia de Massa	42
3.5.2.1. Alveografia	42
3.5.2.2. Farinografia	44
3.5.3. Teste Instrumental de Panificação	45
3.5.4. Qualidade das Massas Alimentícias	46
3.6. Análise do Problema Energético na Secagem	49
3.7. Qualidade dos Grãos Utilizados como Ração Animal	56
3.8. Estudos da Granulometria de Rações	61
4. MATERIAL E MÉTODOS	65
4.1. Produto	65
4.2. Secador Experimental	68
4.2.1. Descarga do Produto no Secador Experimental	71
4.2.2. Sistema de Circulação e Aquecimento de Ar	71
4.3. Aquisição de Dados de Temperatura	74
4.4. Velocidade do Ar	76
4.5. Determinação da Umidade do Grão Durante a Secagem	76
4.6. Controle da Operação de Secagem	79
4.6.1. Secagem Artificial	79
4.6.2. Secagem ao Sol	79
4.7. Tratamentos de Secagem do Produto	79
4.7.1. Tratamento dos Dados de Secagem	80
4.8. Caracterização da Matéria Prima para Uso Industrial	82
4.8.1. Moagem Experimental	82
4.8.2. Análises do Trigo	82
4.8.3. Análises da Farinha	83
4.8.4. Teste de Panificação e Determinação do Volume Específico	83
4.8.5. Testes de Qualidade de Massas Alimentícias	83
4.9. Caracterização e Utilização da Matéria-Prima como Ração Animal	84

4.9.1. Moagem do Trigo Destinado a Produção de Rações	84
4.9.2. Granulometria do Trigo	84
4.9.3. Análises do trigo	85
4.9.4. Formulação das Rações para Frangos de Corte na Fase Inicial	85
4.10. Experimento com Frangos de Corte na Fase Inicial	85
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	88
5.1. Caracterização do Produto para Uso Industrial	88
5.2. Análise da Secagem	93
5.3. Granulometria do Trigo	112
5.4. Desempenho dos Frangos de Corte	113
6.0. CONCLUSÕES	118
7.0. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119
APÊNDICES	129
Apêndice A	130
Apêndice B	132
Apêndice C	134
Apêndice D	136
Apêndice E	140

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - O princípio da secagem por movimentação de água (arraste)	20
Figura 2 - Curva típica de secagem.	21
Figura 3 - Secador contínuo de fluxo misto da CASP S/A Indústria e comércio, modelo CA-8 com capacidade de secagem de 8 t por hora	24
Figura 4 - Desenhos esquemáticos dos 4 tipos de secadores de alta temperatura: a) fluxos cruzados, b) fluxos concorrentes, c) fluxos contracorrentes, e d) fluxos mistos.	26
Figura 5 - Secador intermitente da CASP S/A Indústria e Comércio, modelo 93 BL, com capacidade de carga de 9000 litros.	33
Figura 6 - Relação entre hfg^*/hfg para o trigo “durum”, trigo “hard”, trigo “soft”, cevada e trigo Gallaher.	51
Figura 7 - Relação entre hfg^*/hfg para a soja, sorgo, feijão, milho e arroz.	51
Figura 8 - Colheitadeira marca Wintersteiger em operação na lavoura de trigo.	66
Figura 9 - Disposição das embalagens nas caixas e na câmara de secagem.	68
Figura 10 - Vista geral do protótipo de secador: a) ventilador centrífugo, b) conjunto de resistências elétricas, c) câmara de repouso, d) câmara de secagem e e) caracol de descarga.	69
Figura 11 - Croqui do protótipo de secador intermitente.	70
Figura 12 - Croqui representando a distribuição das resistências nos dutos e o quadro de comando.	73
Figura 13 - Sistema de aquisição de dados (<i>data logger</i>).	74
Figura 14 - Croqui da disposição dos termopares no protótipo de secador intermitente.	75
Figura 15 - Relação entre a umidade dos grãos determinada pelo método padrão em estufa e determinador GEOLE 400, e o polinômio de segundo grau que ajusta os dados.	77

Figura 16 - Esquema de funcionamento do processo de secagem, a)5:25 e b)10:50.....	79
Figura 17 - Vista geral das baterias onde pode-se observar a distribuição das gaiolas (direita) e detalhe dos bebedouros e das gaiolas (esquerda).	86
Figura 18 - Aspecto do pão padrão (A) e do confeccionado a partir do trigo IAC1002 (B).	92
Figura 19 - Comportamento do teor de água dos grãos de trigo em função do tempo (secagem intermitente com temperatura do ar média de 126,8°C e tempo de residência na câmara de secagem de 10 minutos).	94
Figura 20 - Temperatura do ar de secagem (plenum) e dos termopares (T1 à T6) durante a secagem para o tratamento 12010 (T1 termopar mais próximo do ar aquecido e T6 termopar mais afastado).	95
Figura 21 - Comportamento do teor de água dos grãos de trigo em função do tempo (secagem intermitente com temperatura do ar média de 107,7°C e tempo de residência na câmara de secagem de 10 minutos).	96
Figura 22 - Comportamento do teor de água dos grãos de trigo em função do tempo (secagem intermitente com temperatura do ar média de 83,4°C e tempo de residência na câmara de secagem de 10 minutos).	97
Figura 23 - Comportamento do teor de água dos grãos de trigo em função do tempo (secagem intermitente com temperatura do ar média de 128,6°C e tempo de residência na câmara de secagem de 5 minutos).	99
Figura 24 - Comportamento do teor de água dos grãos de trigo em função do tempo (secagem intermitente com temperatura do ar média de 107,4°C e tempo de residência na câmara de secagem de 5 minutos).	100
Figura 25 - Comportamento do teor de água dos grãos de trigo em função do tempo (secagem intermitente com temperatura do ar média de 86,0°C e tempo de residência na câmara de secagem de 5 minutos).	101
Figura 26 - Comportamento do teor de água dos tratamentos 8010, 10010 e 12010 durante a secagem intermitente dos grãos de trigo.....	102
Figura 27 - Comportamento do teor de água dos tratamentos 8005, 10005 e 12005 durante a secagem intermitente dos grãos de trigo.....	103
Figura 28 - Comportamento do teor de água dos grãos de trigo em função do tempo (secagem ao sol com temperatura média de 42,6°C).....	105

Figura 29 - Relação entre calor latente de vaporização da água contida no produto e o calor latente de vaporização da água livre (hfg^*/hfg) em função do tempo de secagem para os tratamentos 12010, 10010 e 8010.	108
Figura 30 - Relação entre calor latente de vaporização da água contida no produto e o calor latente de vaporização da água livre (hfg^*/hfg) em função do tempo de secagem para os tratamentos 12005, 10005 e 8005.	109
Figura 31 - Peso dos frangos em gramas por tratamento aos 7 dias de idade ($P=0,27$).	114
Figura 32 - Peso dos frangos em gramas por tratamento aos 14 dias de idade ($P=0,07$).	115
Figura 33 - Peso dos frangos em gramas por tratamento aos 21 dias de idade ($P=0,20$).	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção mundial de trigo (milhões de t).	2
Tabela 2 - Área plantada (milhões de ha), área colhida (milhões de ha), produção obtida (milhões de t) e rendimento (kg/ha) de trigo em grão no Brasil (1985-1993).	2
Tabela 3 - Classificação do trigo nacional em classes (<i>T. aestivum</i> L.).....	8
Tabela.4 - Classificação do trigo nacional (<i>T. aestivum</i> L.).....	9
Tabela 5 - Composição média (%) do grão de trigo.	10
Tabela 6 - Principais carboidratos presentes (%) na farinha de trigo.	12
Tabela 7 - Tipos de carboidratos nos cereais.	13
Tabela 8 - Conteúdo de amilose de amidos de diversas fontes.	14
Tabela 9 - Intervalos de temperatura de gelatinização de alguns amidos.	15
Tabela 10 - Características físicas e químicas dos trigos comuns [Hard Red Spring (HRS), Hard Red Winter (HRW)] e do trigo duro.	17
Tabela 11 - Avaliação da qualidade de pães feitos com farinhas dos genótipos de trigo duro (<i>Triticum durum</i> L.), trigo comum (<i>Triticum aestivum</i> L.) e triticale (X. <i>Triticum secale</i> W.) colhidos em ensaio realizado em Monte Alegre do Sul-SP, no ano de 1987.	18
Tabela 12 - Efeito do tipo de secador sobre o ar de secagem, máxima temperatura do grão, e susceptibilidade a quebras em milho.	28
Tabela 13 - Temperatura do grão, conteúdo de umidade, e susceptibilidade a quebras em diferentes pontos da coluna de grãos em secador de fluxo cruzado convencional após a secagem sem resfriamento (Umidade inicial 25,5% e Umidade final 19%, com temperatura de secagem de 110°C).	29
Tabela 14 - Efeito do conteúdo médio de umidade final sobre a susceptibilidade a quebra de milho com 25% de umidade em secador convencional de fluxo cruzado (temperatura de 110°C).	29

Tabela 15 - Temperatura do ar de secagem, conteúdo de umidade inicial e final, densidade aparente, susceptibilidade às quebras e germinação na secagem de 7 lotes de milho.	30
Tabela 16 - Efeito das temperaturas de secagem no secador sobre a germinação (germens normais).....	35
Tabela 17 - Comparação dos resultados de germinação de semente de trigo seco as temperaturas de 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100°C, e da mesma semente após diversos períodos de armazenagem.	35
Tabela 18 - Classificação do potencial de moagem segundo o uso dos moinhos Buhler e Quadrumat e os teores de cinzas esperados em cada faixa de extração.	40
Tabela 19 - Atividade da alfa-amilase e performance de panificação da farinha de trigo em função do valor "Falling Number".....	41
Tabela 20 - Classificação da força geral do glúten determinada pelo teste de alveografia.	43
Tabela 21 - Parâmetros farinográficos característicos de farinhas com diferentes forças.	45
Tabela 22 - Avaliação global dos pães.	46
Tabela 23 - Parâmetros de cozimento de diferentes massas alimentícias.	47
Tabela 24 - Açúcares simples (mg/g) em trigo duro não germinado e germinado (72 e 120 h) em vários estágios de processamento.	48
Tabela 25 - Resíduo (mg/g), presente na água de cocção do espaguete de trigo duro germinado e não germinado.....	48
Tabela 26 - Coeficientes a e b para equação (3) dos grãos com maior importância econômica.	50
Tabela 27 - Concentração de materiais particulados ou de substâncias absorvidas pelo ar de secagem.	55
Tabela 28 - Diversos combustíveis e poder calorífico inferior (PCI).	56

Tabela 29 - Composição química e valores de energia de diferentes partidas de trigo obtidos com suínos e aves na EMBRAPA-Suínos e Aves (Valores expressos em base de matéria natural).	57
Tabela 30 - Efeito da temperatura do ar de secagem em milho e o seu valor nutritivo para ruminantes (novilhos de engorda) (21-24 % para 14% de umidade).	58
Tabela 31 - Efeito da temperatura do ar de secagem no valor nutritivo para não ruminantes (ratos), do milho seco de 28% para 11-12%.....	58
Tabela 32 - Temperatura, umidade e tempo de exposição na secagem artificial de milho.....	59
Tabela 33 - Temperatura do ar, temperatura do grão, umidade e tempo de secagem do milho.....	60
Tabela 34 - Sumário dos resultados de alimentação de suínos jovens com milho exposto a altas temperaturas.....	60
Tabela 35 - Dados para a determinação da energia específica.....	62
Tabela 36 - Capacidade e finura do grão moído.....	62
Tabela 37 - Efeito do tamanho das partículas dos cereais no desempenho de frangos de corte.....	64
Tabela 38 - Principais insumos utilizados na lavoura de trigo duro e produtividade média por hectare.....	66
Tabela 39 - Metodologia de verificação da evolução da secagem do trigo em depósito a sombra.....	67
Tabela 40 - Umidade dos grãos determinada em medidor GEOLE 400, método padrão em estufa, a estimada pelo polinômio de segundo grau e o erro padrão.....	78
Tabela 41 - Dados do preparo na massa e do teste de cozimento.....	84
Tabela 42 - Composição das Rações para frangos de corte (fase inicial).....	85
Tabela 43 - Composição centesimal, PH e solubilidade da proteína do trigo duro variedade IAC1002.....	88
Tabela 44 - Classificação da força do glúten determinada pelo teste de alveografia.....	90

Tabela 45 - Resultados do teste de farinografia.....	90
Tabela 46 - Volume específico (VE) do trigo IAC1002 comparado com o pão padrão.....	90
Tabela 47 - Análise sensorial das características físicas e organolépticas do trigo IAC1002 em comparação com o pão padrão.....	91
Tabela 48 - Avaliação de macarrão do trigo IAC1002 em comparação com o trigo duro canadense comercial.....	91
Tabela 49 - Dados de secagem ao sol sobre lona dos grãos de trigo.....	104
Tabela 50 - Parâmetros envolvidos na secagem artificial e solar para todos os tratamentos estudados.....	110
Tabela 51 - Dados referentes a moagem do trigo IAC1002, Módulo de Finura (MF), Diâmetro Geométrico Médio (DGM) e Índice de Uniformidade (IU) em relação aos tratamentos de secagem.....	112
Tabela 52 - Peso total (g) dos frangos de corte da linhagem ROSS aos 7, 14 e 21 dias de idade (médias de 5 repetições).....	113
Tabela 1A - Temperaturas médias, umidade relativa média do ar e temperatura do grão estocado na câmara fria.....	131
Tabela 1B - Produtos da moagem (peso em g) e rendimento em (%) do trigo IAC1002.....	133
Tabela 1C - Análises do trigo IAC1002 e da ração produzida com o tratamento de secagem ao sol.....	135
Tabela 1D - Dados de secagem do tratamento 12010.....	137
Tabela 1E - Dados de secagem do tratamento 10010.....	137
Tabela 1F - Dados de secagem do tratamento 8010.....	137
Tabela 1G - Dados de secagem do tratamento 12005.....	138
Tabela 1H - Dados de secagem do tratamento 10005.....	138
Tabela 1I - Dados de secagem do tratamento 8005.....	139

RESUMO

A qualidade da matéria-prima, de acordo com o seu uso final, é muito dependente das etapas do pré-processamento, principalmente durante a secagem. Este trabalho teve como finalidade investigar a secagem intermitente com fluxo cruzado e altas temperaturas e sua influência na qualidade do trigo duro (*Triticum durum* L.). O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Secagem do Departamento de Pré-Processamento de Produtos Agropecuários-DPPPA da Faculdade de Engenharia Agrícola-FEAGRI/UNICAMP/SP e no Laboratório de Ensino Zootécnico-LEZO, do Departamento de Zootecnia da Faculdade de Agronomia/UFRGS/RS. Foi construído um protótipo de secador intermitente em escala de laboratório com capacidade de 0,0182 m³ na câmara de secagem e igual capacidade na câmara de repouso. Os tratamentos utilizados foram três temperaturas (80, 100 e 120°C) e dois tempos de residência na câmara de secagem (5 e 10 minutos) e ainda uma secagem ao sol sobre lona. A matéria-prima utilizada foi o trigo duro IAC1002 sem qualidade para a indústria de farinha, conforme testes realizados (farinografia, alveografia, teste de panificação, teste de cozimento do macarrão, etc). Os resultados indicam que os tratamentos com temperaturas de secagem mais elevadas e maior tempo de residência na câmara de secagem, apresentam melhor rendimento térmico, menor tempo de secagem e conseqüentemente maior taxa de secagem e menor consumo específico de calor. Temperaturas do ar de secagem mais baixas e tempo de residência menor foram menos eficientes do que a secagem ao sol portanto desaconselhados para este tipo de equipamento. As secagens artificiais apresentaram taxas decrescentes de perda de umidade praticamente ao longo de todo o processo de secagem. O trigo seco foi avaliado ainda quanto a sua granulometria na moagem e na nutrição de frangos de corte machos sexados da linhagem ROSS na fase inicial de crescimento (1 aos 21 dias). A granulometria do trigo indica que a secagem a altas temperaturas reduz o Módulo de Finura (MF), o Diâmetro Geométrico Médio (DGM) e altera o Índice de Uniformidade (IU), quando comparados com o produto seco ao sol. Quanto à nutrição dos frangos nota-se que existe uma tendência a um maior peso final aos 21 dias (P=0,20) para os tratamentos que utilizaram temperaturas mais altas e maior tempo de residência na câmara de secagem.

SUMMARY

Product quality depend on the processing methods used and also on the end use of the product. Of all commonly used processes drying is one of the most important steps to assure grain quality. The objective of this work was to verify the influence of intermittent cross flow drying and high temperatures on IAC1002 durum wheat (*Triticum durum* L.) final quality. A laboratory scale intermittent drier was used, with a drying and tempering chambers with capacity of 0.0182 m³. The temperatures were set to 80, 100 and 120°C with residence time of 5 and 10 minutes. Also a solar drying test was conducted. Results showed that treatments with high temperatures and high residence time in the drying chamber were the most efficient, showing lower drying times and higher drying rates. Lower drying air temperatures and residence time were less efficient even when compared to the solar drying. The drying with high temperatures ground wheat showed lower fineness modulus (FM) and particles average size (D) when compared to the solar drying. The dried wheat was ground and used as feed meal ingredient of male ROSS chicks. Eighty chicks aged from 1 to 21 days, were selected for a feeding test. The chicks final weights were higher when feeded with ground dried wheat with high drying air temperature and high residence time.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e o progresso da humanidade, estão intimamente ligados à história do trigo. Escavações arqueológicas no sul da França e na Suíça descobriram grãos de trigo fossilizados junto a ossos humanos. Esses achados e muitos outros provam que, já em tempos pré-históricos, o trigo era o alimento básico do homem. A utilização do trigo começou quando, em algumas regiões do mundo, o homem deixou de ser o nômade que colhia os vegetais à medida que os encontrava, passando ao plantio ordenado de cereais. Acredita-se que as civilizações e o cultivo de grãos surgiram quase ao mesmo tempo, e talvez um em decorrência do outro (Bastos, 1987).

A entrada do trigo no Brasil dá-se nos primórdios do século XVI com as primeiras expedições européias; entretanto, seu cultivo de forma mais sistematizada ocorre por volta de 1720, com a vinda dos colonos açorianos, que implantam esta lavoura no sul do país, no estado do Rio Grande do Sul. Inicialmente este cultivo era para consumo próprio, mas, já em meados do século passado, sua produção apresenta condições de ser exportada para outros estados, entre estes a capital do país, então Rio de Janeiro. A partir de 1820, observa-se um declínio bastante grande na produção, em virtude das condições favoráveis à incidência de pragas e doenças, ao descaso do governo provincial na renovação de sementes e no apoio de outras formas de estímulo, como o financiamento da produção. Outros fatores podem ter sido o surgimento da indústria de charque no Rio Grande do Sul e a concorrência do cereal estrangeiro (Gama Alves, 1991).

O cultivo do trigo foi praticamente abandonado, ressurgindo, no século XIX, com o advento da imigração européia. Os imigrantes italianos, retomam o cultivo do trigo, novamente para consumo próprio. Associada ao processo de imigração, a urbanização, que se apresenta com maior vigor no início deste século, no Brasil, faz com que surja uma demanda maior de alimentos, muitos destes, derivados de trigo, devido aos hábitos europeus difundidos, principalmente, nos centros urbanos.

Segundo Jacobsen (1993), o trigo representa um papel especial na economia agrícola mundial. É matéria-prima utilizada em grande escala na elaboração de um expressivo número de produtos alimentícios e como ração animal, tanto em países desenvolvidos quanto em desenvolvimento. O trigo também é uma das principais “mercadorias” comercializadas no mundo, tanto em termos absolutos quanto em termos proporcionais da produção, importação e exportações mundiais, Tabela 1.

Tabela 1 - Produção mundial de trigo (milhões de t).

Discriminação	1988/89	1989/90	1990/91	1991/92 ¹
Produção	506	543	600	548
Comércio	97	94	91	106
Consumo	538	543	578	571
Estoque	116	117	138	130

Fonte: Jacobsen (1993).

¹ Estimativa.

Na Tabela 2, observa-se dados referentes à produção de trigo em grão, no Brasil, durante o período 1985-1993.

Tabela 2 - Área plantada (milhões de ha), área colhida (milhões de ha), produção obtida (milhões de t) e rendimento (kg.ha⁻¹) de trigo em grão no Brasil (1985-1993).

Ano	Área plantada	Área colhida	Quantidade produzida	Rendimento
1985	-	2,68	4,32	1612
1986	-	3,86	5,69	1474
1987	-	3,45	6,03	1748
1988	3,59	3,47 (97%) ¹	5,74	1654
1989	3,41	3,28 (96%) ¹	5,55	1692
1990	3,35	2,68 (80%) ¹	3,09	1153
1991	2,06	2,05 (99%) ¹	2,92	1423
1992	1,97	1,95 (99%) ¹	2,79	1429
1993	1,76	1,51 (86%) ¹	2,20	1454

Fonte: IBGE (1989-1994).

¹ Percentual da área colhida em relação à área plantada.

O problema do trigo no Brasil é ainda um tema bastante atual com causas antigas. Reduzida a uma fração do que já plantou e colheu, a lavoura de trigo no país chegou à safra de 1995 sem expectativa de cobrir sequer 20% do consumo nacional, situado perto de 8 milhões de toneladas.

Após a extinção em 1990 da política cartorial de comercialização e pesados subsídios que prevaleceram na área do trigo durante muito tempo, a área plantada no ano de 1995 foi a menor dos últimos 25 anos, o equivalente a 1 milhão de hectares.

A década de 80 foi marcada por grandes mudanças na triticultura nacional, quando experimentou significativos avanços na área plantada, produção e produtividade. Estes ganhos deveram-se aos avanços tecnológicos gerados pela pesquisa, à efetiva participação da assistência técnica, à política de preços e de crédito rural praticados especialmente nos anos de 1986 até 1989 (Jacobsen, 1993).

Como exemplo de avanço tecnológico, podemos citar o trabalho de Nedel (1994), que avaliou o progresso genético no rendimento de grãos de cultivares de trigo lançados para cultivo entre 1940 e 1992, concluindo que houve um ganho devido ao melhoramento de trigo, nos últimos 52 anos, de $17,3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$. O aumento no rendimento das cultivares novas em relação às antigas, deveu-se, fundamentalmente, ao aumento do índice de colheita¹.

Na seleção das cultivares postas à disposição dos produtores, além da avaliação das características agronômicas (rendimento de grãos, altura de plantas, ciclo, resistência ao acamamento e moléstias, tolerância ao alumínio, etc.), é avaliada, atualmente, a qualidade tecnológica (moagem; teor e qualidade de glúten; propriedades viscoamilográficas, farinográficas e extensográficas; teste de panificação e processamento de macarrão; etc.), visando obter trigo com alta qualidade para o posterior processamento, como pode ser observado nos trabalhos de Camargo *et al.* (1993), Felício *et al.* (1994a) e Felício *et al.* (1994b).

O Brasil chegou a produzir, aproximadamente, 6 milhões de toneladas, contrariando velhas afirmações de que nosso país não era apto a produzir trigo e, na possibilidade de produzir, este não seria de boa qualidade. Esses tabus foram vencidos, através do investimento

¹ O índice de colheita é obtido através da divisão do peso dos grãos pelo rendimento biológico (peso total da planta, grãos mais palha), por metro de linha.

ao longo dos últimos 20 anos de pesquisa, recebendo de volta a tecnologia que permitiu produzir variedades de alta produtividade e boa qualidade tecnológica. A produtividade média é baixa ($1600 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), mas é possível chegar a 3.000 quilos por hectare em lavouras manejadas com aplicação intensa de tecnologia. E a qualidade industrial do trigo nacional é comparável à do melhor trigo argentino.

Em virtude do exposto acima, parece que os problemas que afetam a produção de trigo no país concentram-se fora da porteira, onde agem as variáveis de mercado.

Ao se fazer uma análise da produção do trigo nacional, encontram-se as razões da queda na área de plantio a partir de 1990, que marca o início da retirada de subsídios e o fim do protecionismo governamental.

O trigo é um cultivo de risco na maioria das áreas produtoras do país, sujeito em função da época de semeadura, a estiagens prolongadas que podem acarretar grande incidência de pragas, pode ser prejudicado por ocasião do florescimento em virtude de ocorrência de geadas, estando sujeito, portanto, à queda de produtividade, e também, pela incidência de moléstias pela umidade elevada no período de florescimento à maturação (Reunião da Comissão Técnica de Trigo da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, 1996). Segundo a Reunião da Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Trigo (1997), muitas cultivares recomendadas para o Rio Grande do Sul e para Santa Catarina são, em grau variável, suscetíveis à germinação na espiga, quando da ocorrência de chuvas na colheita. A germinação na espiga prejudica gravemente a qualidade da farinha, do ponto de vista da panificação, conseqüentemente, pode ocorrer substancial redução no preço a ser alcançado pelo produtor.

Pode-se observar na Tabela 2, a significativa diferença na área plantada para a área colhida, nos anos de 1990 e 1993, em virtude, provavelmente, da ocorrência de um ou mais eventos mencionados anteriormente.

Este trigo de baixa qualidade para consumo humano pode ser transformado em ração animal, e mesmo o trigo de qualidade, em virtude dos baixos preços pagos aos agricultores nas últimas safras, apresentam excelentes possibilidades de uso em dietas de suínos e aves, constituindo-se em mais uma opção de comercialização para o produtor de trigo.

Segundo Lima (1996), até recentemente, não acontecia o uso intensivo do grão inteiro em rações animais, devido aos custos de produção não compensarem o emprego desse cereal para esse fim e também pela disponibilidade de outros alimentos para uso em dietas animais, passando o trigo a ser utilizado em rações apenas quando havia excedente de produção. Entretanto, as variações nos preços do milho, ocorridos nos últimos anos, atingindo altos valores em épocas de colheita e oferta de trigo e os baixos preços pagos pela indústria moageira, tem provocado o uso desse cereal em rações de suínos e aves. O trigo tem sido empregado também no preparo de rações peletizadas, devido a sua capacidade aglutinante, melhorando a qualidade dos peletes e aumentando o rendimento de peletização através da redução do percentual de finos.

Na qualidade do grão de trigo, a herança genética é o principal fator, porém esta qualidade também se expressa como resultado de uma série de fatores externos, tais como a região de plantio, devido a diferenças edáficas e climáticas, técnicas de cultivo e métodos de processamento (Pirozi, 1995).

Pode-se juntar a estes fatores, outro, passível de ser controlado, o pré-processamento, onde estão reunidas as operações de colheita, limpeza, secagem e armazenagem. A secagem, dentre essas, é uma das operações mais delicadas, com forte influência no futuro processamento do trigo, sendo em grande parte responsável pela qualidade final dos produtos colocados à disposição dos consumidores na forma de pães, bolos, biscoitos, massas ou na sua utilização como ingrediente na fabricação de rações.

Através da construção de um protótipo de secador, este trabalho teve por finalidade investigar a secagem intermitente em fluxo cruzado e altas temperaturas e sua influência na qualidade do trigo duro (*Triticum durum* L.), como ingrediente de rações de frangos de corte até 21 dias de idade (fase inicial), analisando também a influência na moagem através da granulometria do trigo. Trabalhos científicos que abordam o rendimento da secagem intermitente e a preservação da qualidade do trigo para a fabricação de rações, são praticamente inexistentes no Brasil e mesmo em nível mundial.

2.OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é estudar a secagem intermitente de trigo duro (*Triticum durum* L.), em fluxo cruzado e altas temperaturas, através de um protótipo de secador em escala de laboratório. Pretende-se atingir este objetivo através dos seguintes objetivos específicos:

- Analisar o comportamento da secagem do trigo duro, em condições diversas de temperatura do ar e tempo de residência na câmara de secagem.
- Avaliar a influência da temperatura do ar de secagem e do tempo de residência na qualidade do trigo duro como ingrediente de rações para frangos de corte até 21 dias de idade (fase inicial).
- Determinar, para os diferentes tratamentos de secagem do trigo duro, o Módulo de Finura (MF), o Índice de Uniformidade (IU) e o Diâmetro Geométrico Médio (DGM) das partículas.
- Determinar o rendimento térmico e o consumo específico de calor durante a secagem para os diversos tratamentos empregados.

3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A complexa relação entre a temperatura do ar de secagem, os teores de umidade inicial e final do grão, fluxo de ar e tipo de secador, e o tempo de exposição determinam o aquecimento dos grãos em secadores comerciais. A temperatura ótima do ar de secagem varia entre os diferentes tipos de secadores (Wall *et al.*, 1975). Segundo Nellist (1982), os critérios utilizados para determinar a qualidade de trigo destinado à moagem não são diferentes dos destinados a sementes pois em ambos os casos implicam em danos de destruição do sistema enzimático, e um nível similar de desnaturação protéica. A capacidade do grão para germinar tem sido correlacionada com o volume do pão, e este é o critério de dano para o trigo destinado a moagem especificado no British Standard para testes de secadores agrícolas de grãos. Muhlbaüer & Christ (1974) *apud* Nellist (1982) encontraram redução na disponibilidade de lisina como sendo um meio útil para medir danos causados por temperaturas elevadas e sugerem um limite aceitável abaixo de 10 %. Para tanto utilizaram combinações de temperaturas dos grãos e tempos de exposição. Temperaturas de 120°C são toleradas por períodos de 1 hora e 100°C são tolerados por períodos de 3 horas. Em função destes dados, na prática, os danos em grãos destinados a alimentação não são problemas na maioria dos secadores existentes.

O escopo deste trabalho, é determinar parâmetros de secagem intermitente para as condições nacionais, específicos para trigo duro com baixa qualidade para a indústria moageira, e que se destina a utilização como ração animal (especialmente de suínos e aves).

3.1.Classificação e Caracterização do Produto

3.1.1.Classificação do Trigo

O gênero *Triticum* abrange várias espécies, porém poucas destas são utilizadas comercialmente, sendo que podemos destacar as espécies de *T. vulgare* (trigo comum) e *T.*

durum (trigo duro) como as mais utilizadas no mundo. Para propósitos comerciais, em outros países, os trigos comuns são necessariamente classificados ainda por outras características, tais como, dureza ou maciez, coloração, e cultivo de inverno ou primavera. Em muitos países, tais como Estados Unidos, Canadá, Argentina e a União Soviética, têm sido estabelecidos padrões para grãos de trigo baseados em fatores como textura (grau de dureza), cor, impurezas, sementes quebradas, umidade e densidade (Shellenberger, 1978).

No Canadá, atualmente, os principais objetivos da Comissão Canadense de Grãos (Canadian Grain Commission), são o de regular a movimentação de grãos e o de estabelecer e de manter os padrões de qualidade do grão canadense. Com relação à secagem, a Comissão solicita que os fazendeiros voluntariamente submetam à análise amostras de grãos secos nas propriedades, para verificar possíveis danos na qualidade devido à operação inadequada. A máxima temperatura permitida pela Comissão para cevada destinada à maltaria é 43°C e para os demais grãos 82°C² (Bevilacqua, 1994).

O Brasil a partir da Portaria n° 167 de 29 de julho de 1994, aprova a Norma de Identidade, Qualidade, Embalagem e Apresentação do Trigo, somente para a espécie *T. aestivum* L. (trigo comum) (EMATER-RS, 1994).

O trigo pode ser classificado em 4 classes - Melhorador, Superior, Intermediário e Comum, em função dos parâmetros de Farinografia, de Alveografia (W), e do Índice de Queda, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação do trigo nacional em classes (*T. aestivum* L.).

Classes	Farinografia estabilidade (minutos)	Alveografia W (10 ⁻⁴ J)	Índice de Queda (segundos)
Melhorador	14 (mínimo)	280 (mínimo)	200 (mínimo)
Superior	5 (mínimo)	200 (mínimo)	200 (mínimo)
Intermediário	3 (mínimo)	140 (mínimo)	200 (mínimo)
Comum	Quando não se enquadrar em nenhuma das classes acima		

Fonte: EMATER-RS & EMBRAPA - CNPT (1995).

²A temperatura ideal de secagem para os produtos agrícolas depende muito da umidade inicial e final dos grãos. Lembramos que para o Canadá estas condições são muito diversas do Brasil.

O trigo será classificado obrigatoriamente em três tipos, expressos em algarismos de 1 a 3 e definidos em função dos limites máximos de umidade, de matérias estranhas e impurezas e de grãos danificados e, em função do limite mínimo do Peso do Hectolitro, conforme Tabela 4.

Tabela 4 - Classificação do trigo nacional¹ (*T. aestivum* L.).

Tipos	Umidade (%máximo)	Peso do Hectolitro (kg/hl) (mínimo)	Matérias Estranhas e Impurezas (%máximo)	Grãos Danificados		
				Pelo Calor, Mofados e Ardidos (%máximo)	Chocho, Triguilho e Quebrados (%máximo)	Por Insetos e/ou outras Pragas, Germinados e esverdeados (%máximo)
1	13,00 ²	78	1,00	0,50	1,50	1,0
2	13,00	75	1,50	1,00	2,50	1,5
3	13,00	72	2,00	2,00	5,00	2,0

Fonte: EMATER-RS (1995).

¹ O trigo que não atender às exigências previstas para o enquadramento em tipo será classificado como “abaixo do padrão”.

² As umidades dos produtos consideradas neste trabalho estão expressas em base úmida (bu).

3.1.2. Caracterização do Trigo

Segundo El-Dash *et al.* [ca.1982], a composição química dos grãos dos cereais varia amplamente dependendo do ambiente, solo e variedade. Para entender o comportamento do trigo e suas propriedades tecnológicas, torna-se necessário o conhecimento básico dos principais constituintes do grão. Na Tabela 5 pode-se observar a composição média, em porcentagem do grão de trigo.

Dentre os constituintes do grão de trigo, as proteínas e carboidratos são os principais componentes, em virtude de suas características especiais.

Proteínas do Trigo - As proteínas do trigo são divididas em dois grupos, um deles formado pelas albuminas e globulinas, representando 15% das proteínas totais e, o outro, formado pela

gliadina e glutenina que compreendem os restantes 85% das proteínas (El-Dash *et al.*, [ca.1982]).

Tabela 5 - Composição média (%) do grão de trigo.

	Grão	Farelo	Gérmen	Endosperma
Umidade	11-14	10-16	9-12	12-18
Proteína	9-16	10-14	17-35	8-14
Gordura	1,8-2,5	3,8-4,5	5-18	0,6-1,3
Cinza	1,6-2,0	5-10	4,3	0,3-0,5
Carboidrato	69-76	40-51	45-50	64-80
a)amido	65-71	6-7	-	60-74
b)açúcar	1,5-3,0	5-6	15-18	1,0-1,5
c)fibras	1,8-2,5	8-10	2-5	0,0-0,2

Fonte: El-Dash *et al.* [ca.1982].

A gliadina e glutenina combinadas possuem a propriedade de formar com água mais energia mecânica uma rede tridimensional viscoelástica, insolúvel em água, denominada glúten, este, extremamente importante devido a sua capacidade de influenciar a qualidade dos produtos finais, tais como, pães, macarrão e biscoitos (Bobbio & Bobbio, 1992a).

Em geral, o conteúdo de proteína é determinado pelo método de KJELDAHL ou uma de suas modificações. A determinação do conteúdo de glúten úmido pelo teste de lavagem manual (em solução salina-NaCl), embora menos precisa, é mais usada rotineiramente por ser mais rápida e não necessitar de equipamento especial (Pizzinatto *et al.*, 1996). Segundo Ciacco & Chang [ca.1982], o isolamento do glúten também pode ser feito com aparelho semi-automático Brabender para lavagem de glúten.

O glúten obtido da lavagem de um pedaço de massa contém cerca de 85% da proteína total da farinha. As proteínas solúveis e a maior parte do amido são arrastados pela água de lavagem. O glúten úmido contém 2/3 de água aproximadamente, e a matéria seca consiste de 80% de proteínas, 5 a 10% de lipídios e 10 a 15% de amido (Pizzinatto *et al.*, 1996). Sob o ponto de vista nutricional, o glúten não é bem balanceado em termos de aminoácidos

essenciais. Tomando o ovo (clara e gema) como padrão, no glúten encontram-se concentrações satisfatórias em termos de leucina, isoleucina, valina, metionina, fenilalanina, treonina e triptofano, e baixos níveis de lisina (Knight, 1965).

O glúten pode ser seco a pressões reduzidas e baixas temperaturas sem sofrer desnaturação, mas é desnaturado rapidamente à temperatura de ebulição da água ou quando exposto durante longo tempo a temperaturas mais baixas.

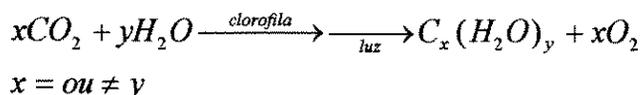
Segundo Knight (1965), o efeito do calor varia de acordo com o conteúdo de umidade do glúten. Quando o conteúdo de umidade for menor que 15%, a taxa de desnaturação a temperaturas superiores a 100°C é muito pequena. Porém, com elevados conteúdos, o dano pelo calor é grande, até aproximadamente 40% de umidade. Daí em diante, com o aumento da umidade, a taxa de desnaturação torna-se pequena novamente.

Quando são misturadas farinha de trigo e água pode-se observar a formação de uma massa constituída da rede protéica do glúten ligada a grânulos de amido. O glúten, em panificação, retém o gás carbônico produzido durante o processo fermentativo e faz com que o pão aumente de volume. Uma farinha de trigo forte possui, em geral, maior capacidade de retenção de gás carbônico. Uma farinha fraca, por sua vez, apresenta deficiência nesta característica. A expressão "força de uma farinha" normalmente é utilizada para designar a maior ou menor capacidade de uma farinha de sofrer um tratamento mecânico ao ser misturada com água, associada à maior ou menor capacidade de absorção de água pelas proteínas formadoras do glúten e combinadas com a capacidade de retenção do gás carbônico, resultando num bom produto final de panificação, ou seja, pão de bom volume, de textura interna sedosa e de granulometria aberta (Guarienti, 1993).

Em termos quantitativos, a proteína do trigo está relacionada com a utilização final da farinha, para a fabricação de pão francês; o teor de proteína ideal situa-se na faixa de 10,5 a 13%, calculado em base seca; para o pão de forma (tipo sanduíche), de 11,5 a 14,5%; para biscoitos tipo cracker, de 8,5 a 10,5%; para os demais tipos de biscoitos, de 7,5 a 9,0%; para bolos, de 5 a 7,5%; para extração de glúten vital, de 14 a 17%; para massas curtas, de 8,5 a 10,5% (Guarienti, 1993).

Carboidratos do Trigo - Os carboidratos abrangem um dos maiores grupos de compostos orgânicos encontrados na natureza, e juntamente com as proteínas formam os constituintes

principais do organismo vivo, além de serem a mais abundante e econômica fonte de energia para o homem. A natureza, através do processo da fotossíntese, a partir de dióxido de carbono e água, sintetiza carboidratos, principalmente amido, celulose e sacarose, dos quais por hidrólise, são obtidas a glicose e a frutose (Bobbio & Bobbio, 1992b).



O amido é sem dúvida o mais abundante carboidrato presente nos grãos e seus produtos, conforme podemos observar nas Tabelas 6 e 7.

Segundo Bobbio & Bobbio (1992b), o amido é um homopolissacarídeo neutro formado por duas frações: amilose e amilopectina. A primeira é composta de unidades de glicose com ligações glicosídicas α -1,4 formando assim unidades de maltose e, a segunda, por unidades de glicose unidas em α -1,4 com cadeias de glicose ligadas em α -1,6 de modo que além de unidades de maltose, temos em menor proporção isomaltose nos pontos de ramificação.

Tabela 6 - Principais carboidratos presentes (%) na farinha de trigo.

Carboidratos	% ¹
Frutose	0,02
Glicose	0,07
Sacarose	0,09
Rafinose	0,07
Maltose	0,05
Pentosanas	0,80
Amido	70,0
Amilose ²	25,0
Amilopectina ²	75,0

Fonte: Ciacco & Chang [ca.1982].

¹ Expresso na base de 14% de umidade.

² Porcentagem presente no amido.

Tabela 7 - Tipos de carboidratos nos cereais.

	Arroz		Milho		Trigo	
	Integral	Polido	Integral	Endosperma	Integral	Farinha
Açúcares livres	0,6	0,1	2,0	0,6	2,6	1,2
Amidos	73	78	72	85	65	79
Pentosanas	1	0,3	3,5	-	5,2	1,6
Fibras	0,8	0,3	2,1	0,5	2,2	0,2

Fonte: El-Dash *et al.* [ca.1982].

A presença de açúcares é de grande importância nos processos de panificação por eles servirem de substrato para o fermento biológico que produz gás carbônico responsável pelo crescimento da massa. Os açúcares, juntamente com as proteínas, são responsáveis pela cor, sabor e aroma dos produtos de panificação devido à reação de escurecimento não enzimático (reação de Maillard) que ocorre durante o cozimento da massa no forno (El-Dash *et al.*, [ca.1982]).

As proporções de amilose e amilopectina são variáveis entre os amidos procedentes de diferentes espécies vegetais, e mesmo entre amidos provenientes da mesma espécie, as proporções de amilose e amilopectina variam de acordo com o grau de maturação das plantas (Tabela 8). As proporções de amilose e amilopectina influem na viscosidade e no poder de gelificação do amido (Bobbio & Bobbio, 1992a).

O grânulo de amido natural tem uma capacidade limitada de absorver água fria (30% do seu peso em água). Esta capacidade é controlada pela estrutura cristalina do grânulo que, por sua vez, depende do grau de associação e arranjo molecular dos componentes do amido (Ciacco & Cruz, [ca.1982]). Quando grãos de amido são suspensos em água e a temperatura é aumentada gradualmente, nada acontece até atingir uma determinada temperatura, mais exatamente um intervalo de temperatura, que é chamado de temperatura de gelatinização. Nesta temperatura, específica para amidos de diferentes origens, as ligações de hidrogênio mais fracas entre as cadeias de amilose e de amilopectina são rompidas e os grãos de amido nessas regiões começam a entumecer e formar soluções consideravelmente viscosas. O

Tabela 8 - Conteúdo de amilose de amidos de diversas fontes.

Fontes de amido	Teor de amilose (%)
Arroz ceroso ¹	0
Milho ceroso ¹	0
Milho	25
Arroz	16
Batata doce	18
Mandioca	18
Batata	18
Banana	21
Trigo	24
Ervilha	30
Milho com alto teor de amilose	80

Fonte: Bobbio & Bobbio (1992a).

¹ Amido contendo só amilopectina.

entumescimento dos grãos e, portanto, o aumento de viscosidade das soluções está relacionado com a quantidade de água presente; a 120°C todos os grãos estarão dissolvidos (Bobbio & Bobbio, 1992a). Na Tabela 9 são apresentados valores de temperaturas de gelatinização de alguns amidos. Após a faixa de gelatinização, as pontes de hidrogênio continuam a ser rompidas, o grânulo a inchar, e a amilose começa a ser lixiviada. Como consequência direta do entumescimento, ocorre um aumento na solubilidade do amido, claridade e viscosidade da pasta. O entumescimento dos grânulos continua até que estes sejam rompidos, e a estrutura granular deixa de existir. Com o rompimento dos grânulos, a viscosidade decresce abruptamente (Ciacco & Cruz, [ca.1982]).

A tecnologia da gelatinização do amido é muito importante na indústria alimentícia, sendo que podemos citar: o aumento da solubilidade com a gelatinização é a base para a confecção de alimentos amiláceos pré-preparados, como por exemplo, pudins, purê de batata pré-preparado, polenta, cuscuz, etc. Em determinados produtos embutidos (frescal) de carne,

Tabela 9 - Intervalos de temperatura de gelatinização de alguns amidos.

Amido	Intervalo de temperatura de gelatinização (°C)
Batata	56-66
Mandioca	58-70
Milho	62-72
Sorgo	68-75
Trigo	52-63
Arroz	61-77
Milho ceroso	63-72

Fonte: Bobbio & Bobbio (1992a).

o amido é usado como estabilizante de emulsão. Como esta propriedade do amido ocorre com a gelatinização, é necessário usar um amido que tenha temperatura de gelatinização menor que a temperatura de cocção do embutido (normalmente 72°C no interior da peça) (Ciacco & Cruz, [ca.1982]).

Pode-se citar outro exemplo onde se deseja modificar o alimento (Mello Jr, 1991), para melhorar sua digestibilidade. Para ruminantes, no processo de laminação ou floculação a vapor do milho, o amido dos grãos sofre modificação tanto na estrutura química (gelatinização), como na estrutura física (laminação ou floculação).

Moran (1987) *apud* Penz & Maiorka (1996), comenta que nas peletizações de rações ocorre um aumento da digestibilidade dos nutrientes pelo processo mecânico e pela ação da temperatura. A digestibilidade dos carboidratos aumenta porque a amilose e a amilopectina estão organizadas em grânulos e o tratamento térmico desagrega estes grânulos, facilitando a ação enzimática. A peletização também solubiliza parcialmente as proteínas, pela alteração das suas estruturas naturais e libera nutrientes com a ruptura da parede das células. Entretanto, o autor chama a atenção que o excesso de temperatura durante a peletização, ao contrário, pode comprometer a disponibilidade de lisina (reação de Maillard).

Fica claro que a gelatinização do amido deve ser um processo de opção, frente a alguma necessidade específica de processamento, e não em virtude de falhas no pré-processamento dos grãos (por exemplo durante a secagem inadequada).

3.1.3. Características do Trigo Duro (*T. durum* L.)

Cultiva-se extensivamente dois tipos comerciais de trigo: para pão ou panificável (*Triticum aestivum* L.), o único produzido comercialmente no Brasil, e o trigo duro ou trigo para macarrão (*Triticum durum* L.). O primeiro ocupa aproximadamente 90% da área semeada e 94% da produção mundial de grãos de trigo, enquanto o trigo duro cobre cerca de 9% da área, mas representa apenas 5% da produção tritícola mundial (Camargo *et al.*, 1993). No Brasil não se produz nem se consome o trigo duro, sendo usado inadequadamente o *T. aestivum* L. para a produção de massas alimentícias.

Segundo os mesmos autores, os grãos de trigo duro são tipicamente maiores, mais pesados e mais duros do que os do panificável. A massa do trigo duro é menos elástica e, como consequência, de qualidade inferior para produção de pães onde se utiliza fermento (levedura). A semolina de trigo duro é matéria-prima excelente para elaboração de massas alimentícias em geral, devido as suas características de maior estabilidade no cozimento. Essas pastas não tendem a se desintegrar ou apresentar gomosidade na fervura nem tornar-se moles ou pastosas se mantidas na água após o cozimento. No mercado internacional, os trigos duros de boa qualidade geralmente alcançam preços mais altos que os obtidos para os trigos para panificação.

Na Tabela 10, pode-se observar a caracterização em termos das propriedades físicas e químicas do trigo duro e do trigo comum.

Embora o trigo duro seja tradicionalmente utilizado para produzir massas, certos países, usam-no para produzir pão. Boyacoglu & D'Appolonia (1994a) e Boyacoglu & D'Appolonia (1994b) estudaram farinhas obtidas da moagem do trigo duro e trigo comum, para determinar as diferenças químicas, reológicas e as suas propriedades de panificação, misturas de farinhas e utilização de vários aditivos. Em virtude dos resultados

Tabela 10 - Características físicas e químicas dos trigos comuns [Hard Red Spring (HRS), Hard Red Winter (HRW)] e do trigo duro.

Trigo amostrado	Densidade aparente (kg/m ³)	Peso de 1000 grãos (g)	Tamanho do grão (%)			Umidade (%)	Proteína (%)	Cinzas (%)	Extração total (%)
			Longos	Médios	Pequenos				
HRS	780,6	36,8	54,5	43,5	00,0	11,7	13,8	1,605	77,1
Duro	783,1	50,5	45,5	54,5	00,0	12,5	13,6	1,510	68,1
HRW	769,6	37,3	24,0	61,5	14,5	11,9	11,7	1,645	77,2

Fonte: Dick (1981).

obtidos, os autores estimam um grande potencial de panificação da farinha de trigo duro, desde que sejam incorporados aditivos e modifiquem-se os procedimentos na panificação, o que poderá resultar em pão com características melhor aceitáveis.

No Brasil, o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), vem efetuando avaliações das características agrônômicas e tecnológicas de genótipos de trigo duro, trigo comum e triticale. Na Tabela 11 pode-se observar a qualidade dos pães feitos a partir destas farinhas (Camargo *et al.*, 1993).

Os autores chegaram a conclusão, que os cultivares de trigo comum GLENNSON-81, IAC-24 e IAC-60 revelaram qualidade adequada para a produção de pão; entretanto, as linhagens de trigo duro avaliadas (1, 2, 3, 20 e 22) e o cultivar de triticale CANANEA 79 não são recomendados para este fim.

Segundo Felicio (1996), os cultivares de trigo duro selecionadas pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC 1001, IAC 1002 e IAC 1003), são próprias para produção de massas, principalmente a cultivar IAC 1003, que apresenta boa força e estabilidade de glúten, além de coloração adequada. O trigo duro deverá ser preferencialmente cultivado em regiões acima do paralelo 24 sul e sua utilização na fabricação de pães deverá ser feita com misturas de trigo comum.

Tabela 11 - Avaliação da qualidade de pães feitos com farinhas dos genótipos de trigo duro (*Triticum durum* L.), trigo comum (*Triticum aestivum* L.) e triticales (*X. Triticum secale* W.) colhidos em ensaio realizado em Monte Alegre do Sul-SP, no ano de 1987.

Linhas e/ou cultivares	Características								Aroma	Gosto	Contagem geral
	Volume ¹ cm ³ .g ⁻¹ .x3,33	Crosta ²	Quebra	Simetria	Crosta ³	Miolo ⁴	Estrutura ⁵	Textura ⁶			
TRIGO DURO											
3.ATO "S"x AA"S"-PLC"S"/D67.2	7,1	4,0	0,0	2,0	1,0	2,0	1,0	1,0	10,0	15,0	43,1
22.STIL"S"x YAV"S"	7,6	3,0	0,0	1,0	1,0	3,5	1,0	1,0	10,0	15,0	43,1
2.TELL-76	7,0	4,0	0,0	2,0	1,0	3,5	1,0	3,0	10,0	15,0	46,5
20.DACK"S"- RABI"S"x ROK"S"	8,1	5,0	1,5	3,0	1,0	2,0	3,0	1,0	10,0	15,0	49,5
1.YAV-79	7,2	3,0	0,0	1,0	1,0	3,5	1,0	1,0	10,0	15,0	42,7
TRIGO COMUM											
27.GLENNSON-81	12,2	8,5	3,5	4,0	5,0	5,0	7,0	9,0	10,0	15,0	79,2
28.IAC-24	13,2	9,0	4,0	4,5	4,0	9,5	9,0	10,0	10,0	15,0	88,2
29.IAC-60	12,9	7,0	3,5	3,5	2,5	9,0	8,0	9,0	10,0	15,0	80,4
TRITICALE											
26.CANANEA 79	9,3	6,0	2,5	3,0	3,0	5,0	4,0	5,0	10,0	15,0	62,7
Valor máximo	20,0	10,0	5,0	5,0	5,0	10,0	10,0	10,0	10,0	15,0	100,00

Fonte: CAMARGO et al. (1994).

¹Volume específico. ²Cor. ³Qualidade. ⁴Cor. ⁵Célula do miolo. ⁶Miolo.

3.2.Princípios Gerais da Secagem

A secagem é uma operação crítica dentro da seqüência de processamento dos grãos - colheita, secagem, armazenagem, manuseio e transporte. É também consenso geral que a secagem inadequada é a maior causa de deterioração dos grãos nesta série de processos. Em função da secagem, pode ocorrer uma maior suscetibilidade a quebras em milho e soja e um decréscimo na qualidade de moagem em trigo e arroz. Afortunadamente, a secagem de trigo³ e soja é menos freqüentemente requerida do que a secagem do milho e arroz (Brooker *et al.*, 1992).

Segundo Lasseran (1988), equivalente a várias outras técnicas (filtração, centrifugação, prensagem, evaporação, liofilização, etc.), o resultado geral da secagem é a separação parcial entre o líquido (geralmente a água) e a matriz sólida. No caso dos produtos agrícolas, a matriz sólida é um alimento contendo proporções variáveis dos seguintes constituintes bioquímicos: carboidratos, proteínas, lipídios e minerais. A particularidade da secagem, comparada com outras técnicas de separação, é que a remoção das moléculas de água é obtida por uma movimentação da água (arraste), em virtude da diferença da pressão parcial de vapor entre a superfície do produto a ser secado e o ar que o envolve. A condição necessária e suficiente para que o produto seja submetido ao fenômeno de secagem (Figura 1) é a seguinte:

$$fg > f \quad (1)$$

onde:

fg = pressão parcial do vapor de água na superfície do produto;

f = pressão parcial do vapor de água no ar.

se:

$$fg = f \quad (2)$$

Não ocorre secagem, mas equilíbrio higroscópico entre o produto e o ar.

³Esta afirmação é válida para o meio oeste dos Estados Unidos e alguns estados do Brasil. Já para o Rio Grande do Sul, por exemplo, a época de colheita coincide com período de chuvas, necessitando portanto de secagem artificial. Segundo Franco (1996), que gerenciou o silo da CESA em Estréla/RS, a umidade média de recebimento do trigo naquela unidade durante este período foi de 16-18%.

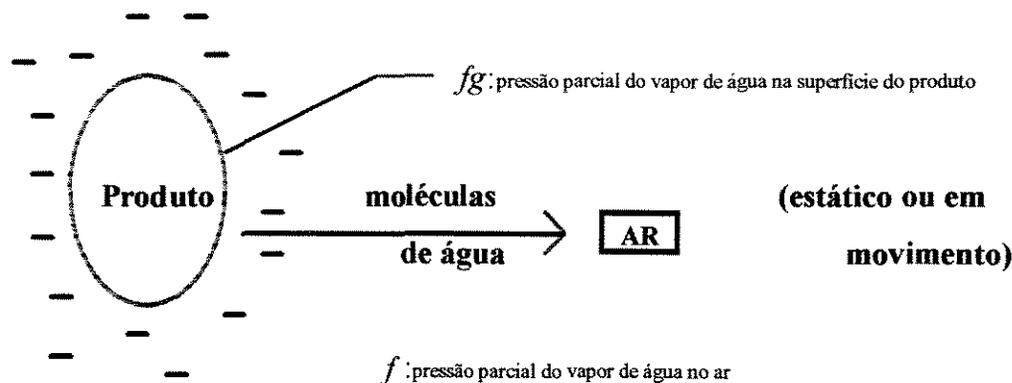


Figura 1 - O princípio da secagem por movimentação de água (arraste) (Lasseran, 1988).

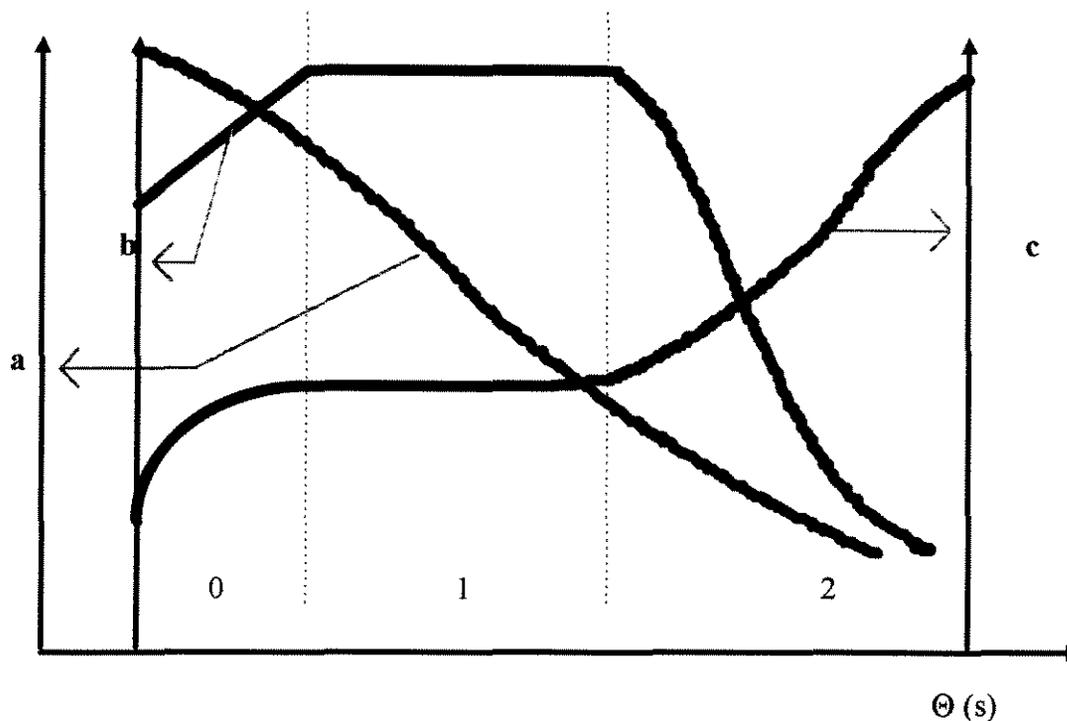
A secagem de grãos envolve dois processos fundamentais quando o produto é colocado em contato com o ar quente: (1) a transferência de calor do ar para o produto pelo efeito da diferença de temperatura existente entre eles e (2) a transferência de massa para o ar pela diferença de pressão parcial de vapor de água existente entre o ar e a superfície do produto. As condições externas e os mecanismos internos do movimento de umidade dos grãos durante a secagem são muito importantes. O movimento de água do interior do material até a superfície é analisada pelos mecanismos de transferência de massa, que indicarão a dificuldade de secagem dos materiais. Durante a secagem, para que haja a evaporação de água da superfície do material ao ambiente, a água deve ser transportada do interior do sólido até a superfície (Hall, 1980 e Park, 1991).

Os mecanismos mais importantes são:

- (1) Difusão líquida - ocorre devido a existência do gradiente de concentração.
- (2) Difusão de vapor - ocorre devido ao gradiente de pressão de vapor, causado pelo gradiente de temperatura.
- (3) Escoamento de líquido e vapor - ocorrem devido a diferença de pressão externa, de concentração, capilaridade e alta temperatura.

As características específicas de cada produto, associadas às propriedades do ar de secagem e ao meio de transferência de calor adotado, determinam diversas condições de secagem. Entretanto, a transferência de calor e de massa entre o ar de secagem e o produto é

fenômeno comum a qualquer condição de secagem. O processo de secagem, baseado na transferência de calor e de massa, dividi-se em três fases (Figura 2)(Biagi *et al.*, 1992):



a) evolução do teor de água no produto - (g.H₂O/g.ms).

b) cinética de secagem - $dw/d\Theta$ (g.H₂O/g.ms.s).

c) evolução da temperatura do produto.

Figura 2 - Curva típica de secagem (Biagi *et al.*, 1992).

A **curva a** representa a redução do teor de água do produto ao longo da secagem.

A **curva b** representa a taxa de secagem do produto, a variação do teor de umidade do produto por período de tempo.

A **curva c** representa a variação da temperatura do produto ao longo do período de secagem.

Segundo Biagi *et al.* (1992) e Park (1991), descrevendo os três períodos temos:

(1) O período 0 representa o início da secagem, sendo este o período de se entrar em regime operacional; o produto é geralmente mais frio do que o ar e a pressão parcial de vapor da água na superfície do produto é débil; e por consequência a transferência de massa e a velocidade de secagem também são débeis. Com a elevação gradual da temperatura do produto e da pressão de vapor de água chega-se até o ponto em que a transferência de calor seja equivalente à transferência de massa.

(2) No período 1 a taxa de secagem é constante. Durante este período, como no anterior, a quantidade de água dentro do produto é bem grande. A água evaporada é água livre. A transferência de massa e de calor é equivalente e, portanto, a velocidade de secagem é constante. Este período continua, enquanto a migração de água do interior até a superfície do produto seja suficiente para acompanhar a perda por evaporação de água da superfície. Deve-se ressaltar que para materiais biológicos é difícil a existência deste período, pois as condições operacionais de secagem são tais que, as resistências de transferências de massa encontram-se essencialmente no interior do produto, fazendo com que a taxa de evaporação da superfície ao ambiente seja bem superior à taxa de reposição de umidade do interior à superfície do material.

(3) Período 2 neste período a velocidade (taxa) de secagem é decrescente. A quantidade de água presente na superfície do produto é menor, reduzindo-se, portanto, a transferência de massa. A transferência de calor não é compensada pela transferência de massa; o fator limitante nessa fase é a redução da migração de umidade do interior para a superfície do produto. A temperatura do produto aumenta, tendendo a temperatura do ar de secagem. Quando o produto atinge o ponto de umidade de equilíbrio em relação ao ar de secagem, o processo é encerrado.

3.3.Secagem com Ar Aquecido

Segundo Carvalho (1994), neste tipo de secagem, o ar que se insufla na massa de sementes é sempre aquecido, tendo-se por principal objetivo garantir uma secagem mais rápida. É freqüentemente, o tipo de secagem que mais se adapta a esquemas de produção de sementes, tendo em vista a rapidez com que os teores altos de água (acima de 15-16%) podem afetar a germinação e o vigor, o que torna obrigatório que a secagem seja rápida também. Mesmo para a produção de grãos, principalmente para grandes quantidades, esse sistema costuma ser o mais adequado, tendo em vista possibilitar grandes reduções de investimento em ventiladores e sistemas de distribuição de ar.

3.3.1. Classificação dos Secadores de Acordo com o Fluxo de Ar e o Fluxo do Produto

Os métodos de secagem artificial, quanto ao fluxo do produto no secador, podem ser classificados em duas categorias a) secagem estacionária - consiste basicamente em se forçar um fluxo de ar através da massa de sementes que permanece em repouso; b) secagem de fluxo contínuo - consiste em submeter as sementes a uma corrente de ar, enquanto elas fluem continuamente através do secador (Figura 3). A secagem estacionária se processa da base para o topo da camada de sementes, em secador de fundo falso perfurado⁴, e do centro para a periferia, em secador de tubo central perfurado; ocorre por camadas, em virtude da formação da zona de secagem, correspondente à região onde efetiva-se o intercâmbio de água da semente para o ar. Anteriormente à zona de secagem tem-se sementes secas e alta temperatura e, posteriormente, sementes úmidas e baixa temperatura (Villela, 1991).

A secagem de fluxo contínuo, leva em conta o fluxo de ar em relação ao fluxo do produto, e os secadores podem ser classificados em quatro grupos principais, segundo Hall (1980), Bakker-Arkema (1984), Lasseran (1988), Villela (1991), Biagi *et al.* (1992), Brooker *et al.* (1992), Arnosti Junior (1993), Bakker-Arkema (1994):

Secadores de fluxos cruzados: neste tipo de secador, o produto úmido é colocado em uma moega superior e por gravidade vai descendo pelo secador, onde é secado até um determinado teor de umidade, resfriado e descarregado na parte inferior. A secagem e o resfriamento são realizados por meio de fluxo de ar perpendicular ao fluxo de grãos. O secador possui um plenum envolvido por colunas de grãos de 30 a 40 cm de espessura e são conhecidos como secadores de lote ou de coluna. O fluxo de grãos é regulado por um mecanismo localizado no fim da coluna de secagem. Secadores de fluxo cruzado não secam o grão uniformemente (Figura 4a). Estes equipamentos quando utilizados para milho, sem reversão de ar ou inversão de grãos apresenta gradientes no sentido transversal na coluna de até 20% de conteúdo de umidade e 50% de grãos trincados.

⁴Estes secadores são largamente utilizados por pequenos produtores dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, em virtude de sua versatilidade. São conhecidos como secadores de camada fixa ou leito fixo e utilizam fluxo de ar entre 0,18 a 0,50 m³.s⁻¹.m², com altura de camada de até 0,5 m e temperaturas de secagem na faixa de 60-70°C.

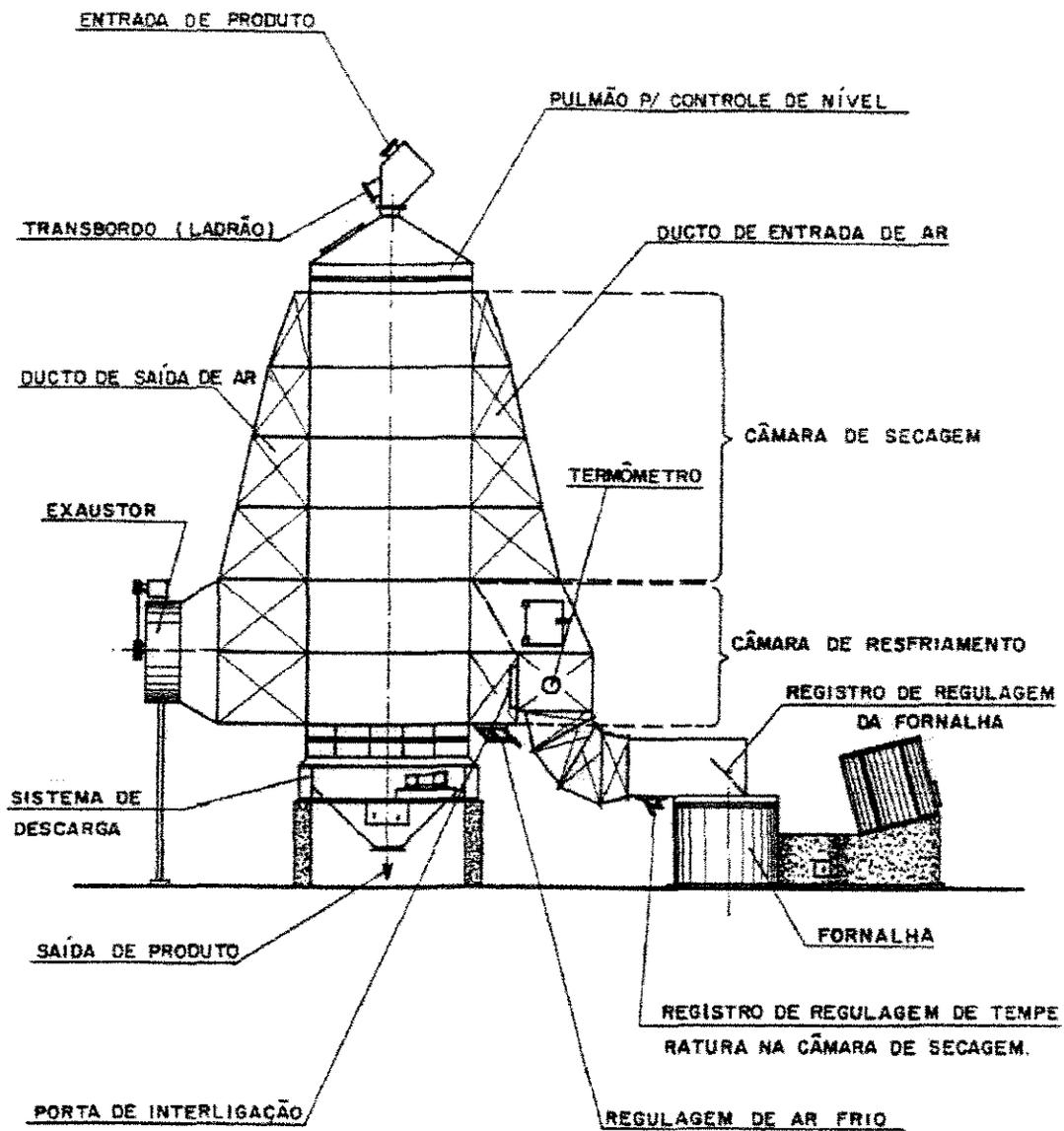


Figura 3 - Secador contínuo de fluxo misto da CASP S/A Indústria e Comércio, modelo CA-8 com capacidade de secagem de 8 t por hora⁵.

⁵Os equipamentos citados neste trabalho não são necessariamente os recomendados pelo autor.

Secadores de fluxos concorrentes: nos secadores de fluxos concorrentes, ar e grão fluem no mesmo sentido. O ar mais quente encontra o grão mais úmido, e a alta taxa de evaporação causa rápido resfriamento desse ar. Isso possibilita o uso de temperaturas mais elevadas que as utilizadas em secadores de fluxos cruzados. O produto final é homogêneo quanto à temperatura e umidade. Muitos especialistas em secagem afirmam que os secadores de fluxos concorrentes são teoricamente, tecnicamente e operacionalmente superiores ao de fluxos cruzados e mistos, com respeito às características qualitativas do grão e eficiência energética (Figura 4b).

Secadores de fluxos contracorrentes : nos secadores de fluxos contracorrentes o ar aquecido é forçado a passar pela massa de grãos em sentido contrário ao fluxo de grãos. Nesse tipo de secador, à medida que o produto vai descendo pela coluna de secagem sua temperatura vai sendo aumentada gradualmente, atingindo o valor máximo no final da coluna de secagem que coincide com o ponto de entrada do ar aquecido. É conveniente neste tipo de secador trabalhar no sistema de seca-aeração, pois o grão apresenta elevada quantidade de energia armazenada na forma de calor sensível (Figura 4c).

Secadores de fluxos mistos : neste tipo de secador, o grão é secado pela mistura de fluxos cruzados, concorrentes e contracorrentes. No Brasil estes secadores são conhecidos como tipo cascata e são amplamente utilizados em unidades armazenadoras de grande porte, em virtude da sua capacidade de secagem (capacidades nominais variam de 8 a 100 t/h), para redução do teor de umidade de grãos de 18 para 13%. As câmaras de secagem e resfriamento são constituídas por uma série de calhas em forma de "V" invertido, dispostas em linhas alternadas ou cruzadas dentro do corpo do secador. Os grãos movem-se para baixo, sob a ação da gravidade e sobre as calhas invertidas. O ar de secagem entra numa linha de calhas e sai nas outras imediatamente adjacentes (superior ou inferior). Os secadores de fluxos mistos são muito caros e requerem um bom sistema de controle de poluição do ar, ao contrário dos secadores de fluxos cruzados (mais baratos e com menores problemas quanto à poluição). Por estas razões, a quantidade de secadores de fluxos mistos fabricados na América do Norte vem diminuindo. No Leste Europeu, ao contrário, estes secadores continuam a predominar entre os secadores de fluxo contínuo (Figura 4d).

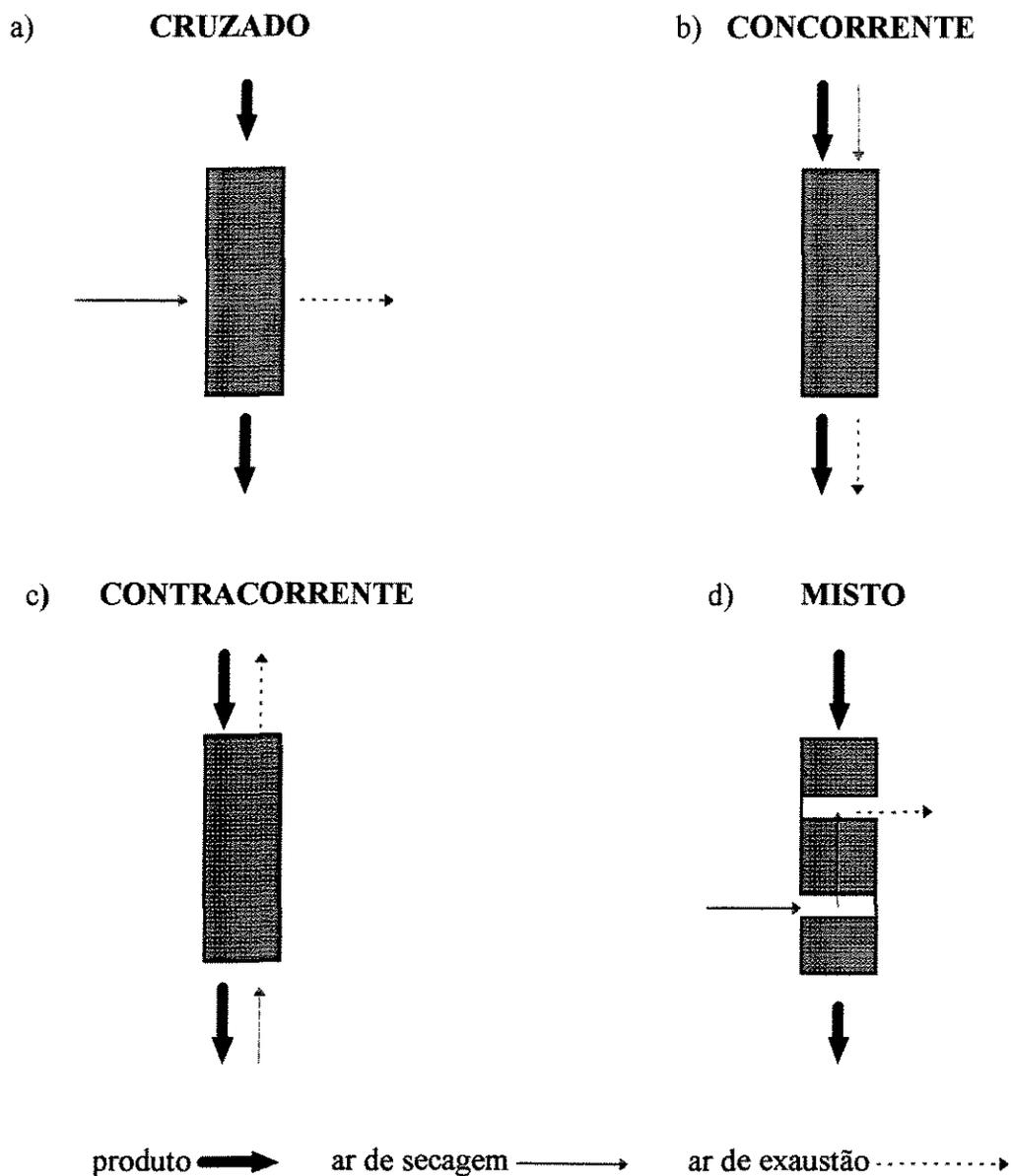


Figura 4 - Desenhos esquemáticos dos 4 tipos de secadores de alta temperatura: a) fluxos cruzados, b) fluxos concorrentes, c) fluxos contracorrentes, e d) fluxos mistos.

3.4. Avaliação da Secagem e dos Secadores de Fluxos Cruzados

Atualmente, existe uma tendência mundial em reduzir os custos de fabricação de equipamentos e o preço dos serviços prestados, porém isto não exclui a constante busca na melhoria da qualidade do produto processado.

Segundo Bakker-Arkema (1984), o objetivo final no processo de pós-colheita é manter inalteradas as qualidades dos produtos, sendo que estas dependem do uso final a que se destinam. Para o trigo, a qualidade na panificação é essencial; para a soja, a alta extração de óleo, no caso do arroz, o alto rendimento de engenho. Vários critérios de qualidade vêm sendo utilizados para avaliar os produtos:

- nas desinfestações térmicas do trigo utilizam-se micro-testes de cozimento com relação ao volume do pão e viabilidade da semente.
- conteúdo de ácidos graxos livres e rendimento de óleo durante a secagem de soja em altas temperaturas.
- conteúdo de lisina, coloração e susceptibilidade às quebras na avaliação de milho secado com altas temperaturas.

3.4.1. Secagem em Fluxo Cruzado

Em nível de fazenda nos Estados Unidos, segundo Loewer *et al.* (1994), e Bakker-Arkema & Ballinger (1983), os secadores de altas temperaturas mais utilizados são os de fluxos cruzados, podendo ser de dois tipos:

- secadores de lote ou carga;
- secadores contínuos.

O princípio básico em ambos os tipos de secadores é que trabalham com altas vazões de ar $0,66$ a $1,67 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$ (50 a $125 \text{ CFM} \cdot \text{Bu}^{-1}$) através de colunas pouco espessas $0,3$ a $0,35$ m (12 a 14 in), obtendo com isto taxas de secagem relativamente altas. O secador de lote e o contínuo são muito similares na aparência e performance. Os secadores de lote são classificados como de leito estacionário⁶. A massa de grãos não se move durante o processo de secagem, e o ar de secagem é insuflado através da coluna de grãos. A temperatura do ar de secagem nos secadores de lote está na faixa de 71 a 93°C (160 a 200°F).

Os secadores de fluxo cruzado nos Estados Unidos, (Bakker-Arkema & Fontana, 1983), utilizados na secagem de arroz apresentam as seguintes características:

- a) espessura das colunas de secagem entre $0,2$ a $0,4$ m;
- b) fluxo de ar entre 10 a $25 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$;

⁶Semelhantes aos secadores utilizados no sul do país.

c) temperatura de secagem entre 45 a 80°C;

O arroz permanece em contato com o ar de secagem por períodos de 10-20 min em cada passagem no secador. São removidos por passagem entre 1,0 a 3,0 pontos de umidade. Arroz com 22% de umidade requer pelo menos 5 passagens pelo secador (com 6-24 horas de descanso entre as passagens) para secar até 13-14%. Após a secagem em função da aeração, fica com 12 a 13% de umidade.

Bakker-Arkema (1994) fez uma comparação entre os três principais tipos de secadores, fluxos cruzados, concorrentes e mistos (Tabela 12), com respeito à temperatura do ar de secagem, à máxima temperatura alcançada pelos grãos, e à expectativa de aumento da susceptibilidade às quebras na secagem do milho quando foram retirados 10 pontos percentuais de umidade do grão. Segundo o autor o secador de fluxo concorrente foi o que gastou menos energia no processo, porém é o equipamento de maior preço.

Tabela 12 - Efeito do tipo de secador sobre o ar de secagem, máxima temperatura do grão, e susceptibilidade a quebras em milho.

Tipo de secador	Temperatura do ar de secagem (°C)	Máxima temperatura do grão (°C)	Susceptibilidade as quebras (%)
Fluxos cruzados	80-110	80-100	20
Fluxos mistos	100-130	70-100	10
Fluxos concorrentes	175-285	60-80	5

Fonte: Bakker-Arkema (1994).

Como pode-se observar na Tabela 12, o secador de fluxos cruzados foi o que apresentou a maior temperatura dos grãos em função da temperatura do ar de secagem empregada, o que levou a uma maior susceptibilidade a quebras (20%) dos grãos de milho.

Segundo Brooker *et al.* (1992), devido ao gradiente no conteúdo de umidade dos grãos, ao longo da coluna de secagem nos secadores de fluxo cruzado, a qualidade dos grãos varia, como pode-se observar na Tabela 13. Os grãos próximos à entrada do ar de secagem sofrem uma super-secagem e apresentam um aumento na susceptibilidade a quebras, comparados com os grãos remanescentes na coluna. Na Tabela 14 os danos causados pelo efeito do excesso de secagem na susceptibilidade às quebras em milho.

Tabela 13 - Temperatura do grão, conteúdo de umidade, e susceptibilidade a quebras em diferentes pontos da coluna de grãos em secador de fluxo cruzado convencional após a secagem sem resfriamento (Umidade inicial 25,5% e Umidade final 19%, com temperatura de secagem de 110°C)

Distância do ar de entrada (cm)	Temperatura do grão (°C)	Conteúdo de umidade (%)	Susceptibilidade a quebras
1,25	102	10	48
7,50	78	20	11
13,75	51	24	10

Fonte: Brooker *et al.* (1992).

Tabela 14 - Efeito do conteúdo médio de umidade final sobre a susceptibilidade à quebra de milho com 25% de umidade em secador convencional de fluxo cruzado (temperatura de 110°C).

Conteúdo médio de umidade final (%)	Susceptibilidade à quebra(%)
18	11
15	18
13	27
11	39

Fonte: Brooker *et al.* (1992).

Gustafson & Morey (1981) realizaram vários testes com um secador automático de carga. O secador caracterizava-se por ter colunas de 0,3 m (12 in) e fluxo de ar de aproximadamente $0,93 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$ ($70 \text{ CFM} \cdot \text{Bu}^{-1}$). O produto utilizado foi o milho e foram analisados os conteúdos de umidade, susceptibilidade à quebra e germinação. Na Tabela 15, pode-se observar as condições em que foram realizados os testes e os resultados obtidos.

Os estudos realizados por Bakker-Arkema (1994), Gustafson & Morey (1981) e Brooker *et al.* (1992), descritos neste item, são ilustrativos dos problemas que apresentam estes tipos de secadores, quando utilizam-se altas temperaturas de secagem, sem reversão do fluxo de ar ou dos grãos na coluna.

Embora este tipo de equipamento seja pouco utilizado em nosso país (somente uma fábrica no sul do país na cidade de Pelotas/RS), as condições de secagem são semelhantes aos secadores de camada fixa (estáticos), (Oliveira & Martins, 1992), utilizados principalmente nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Para estes secadores e secagem em silos (com maiores alturas de camada) encontramos vários trabalhos conduzidos, avaliando a

Tabela 15 - Temperatura do ar de secagem, conteúdo de umidade inicial e final, densidade aparente, susceptibilidade às quebras e germinação na secagem de 7 lotes de milho.

Lote	Temp. ar secagem °C	Conteúdo umidade % bu		Densidade aparente kg/m ³		Susceptibilidade a quebra %		Germinação %	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
1978									
1	93	31,0	14,9	692	707	4,9	28,8	90	11
2	93	30,5	14,4	682	700	5,7	28,6	92	5
3	93	27,0	13,4	689	713	3,4	20,2	97	3
1979									
4	116	30,8	11,2	674	688	8,3	47,9	-	-
5	116	30,5	12,4	660	690	8,7	50,0	-	-
6	93	24,8	11,2	644	660	9,8	42,3	-	-
7	93	25,9	11,7	676	688	11,4	50,0	-	-

Fonte: Gustafson & Morey (1981).

temperatura de secagem, o gradiente de umidade nas camadas, frente de secagem, a qualidade do produto, entre outras (Woodforde & Lawton, 1965; Chien *et al.*, 1971; Bakker-Arkema & Fontana, 1983 e Dalbello, 1995).

De um modo geral, secadores de fluxos cruzados em lotes e contínuos, e ainda secadores de camada fixa e silos secadores, apresentam os seguintes comportamentos:

- 1 - O tempo de secagem diminui quando aumentamos a temperatura e fluxo de ar.
- 2 - A eficiência da secagem diminui quando aumentamos o fluxo de ar mas geralmente aumenta com a temperatura do ar de secagem.
- 3 - A taxa de secagem aumenta com o aumento da temperatura e o fluxo de ar.
- 4 - O gradiente de umidade na coluna aumenta com o aumento da temperatura e da espessura de grãos, mas decresce com o aumento do fluxo de ar.
- 5 - O gasto com combustível aumenta com o fluxo de ar e geralmente decresce com a temperatura do ar de secagem.

6 - O produto próximo à entrada de ar aquecido no secador está sujeito a um maior aumento da temperatura, por isso, seca mais rápido mas em contrapartida sofre maiores danos em sua qualidade final.

3.4.2. Secadores e Secagem Intermitente

Em meados da década de 60, foi desenvolvida uma tecnologia chamada seca-aeração (*dryeration*), com a finalidade de reduzir a quebra e aumentar a qualidade dos grãos secados, (Sabbah *et al.*, 1972 e Gustafson *et al.*, 1978), e também no caso do arroz, o rendimento de engenho (Steffe *et al.*, 1979). Este método consta de três etapas:

- a) Rápida secagem com ar quente, deixando o produto 2 ou 3 pontos percentuais de umidade acima da umidade final desejada;
- b) Descanso (*tempering*) do produto sem o uso de fluxo de ar durante um tempo estabelecido;
- c) Resfriamento do grão lentamente com baixo fluxo de ar para remover a umidade restante (2 a 3 pontos percentuais) utilizando o calor sensível contido no grão.

A secagem intermitente é semelhante à seca-aeração, porém, com as duas primeiras etapas repetindo-se continuamente em menores intervalos de tempo, e o resfriamento no final da secagem (com o mesmo fluxo do ar aquecido) quando atingida a umidade desejada.

Os secadores intermitentes são muito difundidos no Brasil, por possuírem capacidade ampla de secagem, desde 25 sacos até 1000 sacos por carga, principalmente na secagem de café, trigo, arroz e mais recentemente na secagem de milho, feijão e soja.

Este secador pode ser classificado como de fluxos cruzados, porém, os grãos são submetidos à ação do ar aquecido durante intervalos regulares de tempo, intercalados por períodos sem aquecimento, denominados períodos de repouso ou equalização⁷. A intermitência permite que ocorra o transporte de água do interior para a superfície do grão ou semente durante o período de repouso, reduzindo o gradiente de sua concentração, no interior do produto (Villela, 1991).

⁷ Diferente do conceito de seca-aeração uma vez que estes períodos de repouso do produto são pequenos enquanto que no "*tempering*" variam de 4 a 24 horas.

Outras características destes secadores intermitentes são as colunas de secagem que apresentam espessura reduzida em relação aos equipamentos de fluxos cruzados contínuos (espessura da camada aproximadamente 14 cm).

Na Figura 5, pode-se observar um exemplo de secador intermitente largamente utilizado em nosso país.

No Brasil foram desenvolvidos vários trabalhos com secagem intermitente para arroz (produto com mercado exigente), em virtude principalmente do baixo rendimento de engenho quando secado de modo incorreto e poucos em milho, soja e trigo, (Rosa, 1966; Miranda, 1978; Lacerda Filho *et al.*, 1982; Luz, 1986; Faroni *et al.*, 1986-1987; Nogueira, 1991; Villela, 1991; Campos *et al.*, 1992 e Zimmer *et al.*, 1992).

A pequena quantidade de trabalhos com milho e trigo, pode ser explicada pelos seguintes pontos:

-O milho é usado largamente como fonte energética para rações (suínos e aves principalmente); sendo assim, o produto teoricamente pode sofrer um tratamento no pré-processamento menos cuidadoso do que aquele destinado à indústria alimentícia (por exemplo, para extração de amido).

-A utilização em larga escala do trigo importado (de alta qualidade), que prevalece até os dias de hoje, conduz a um baixo nível de exigência do trigo nacional quanto a sua qualidade junto aos moinhos, e conseqüentemente aos consumidores finais (donas de casa, padarias, indústria de massas, etc.).

No trabalho de Rosa (1966), foi utilizado um secador intermitente marca Pampeiro (modelo 90), com capacidade de carga de 4500 kg. Este secador se caracteriza por possuir uma pequena câmara de secagem e uma contínua circulação do produto. Nessa circulação os grãos sofrem ação do calor de forma intermitente por pequenos espaços de tempo (menos de 1 minuto), enquanto passam na câmara de secagem. Esses períodos são intercalados com grandes espaços de tempo (10 minutos) em que os grãos estão apenas circulando dentro do secador, até passarem novamente na câmara de secagem⁸.

⁸ Estes secadores não são mais fabricados sendo que para os equipamentos atuais foi ampliada a câmara de secagem e aumentado o tempo de residência, com a finalidade de melhorar o rendimento do equipamento (secar maior quantidade por hora).

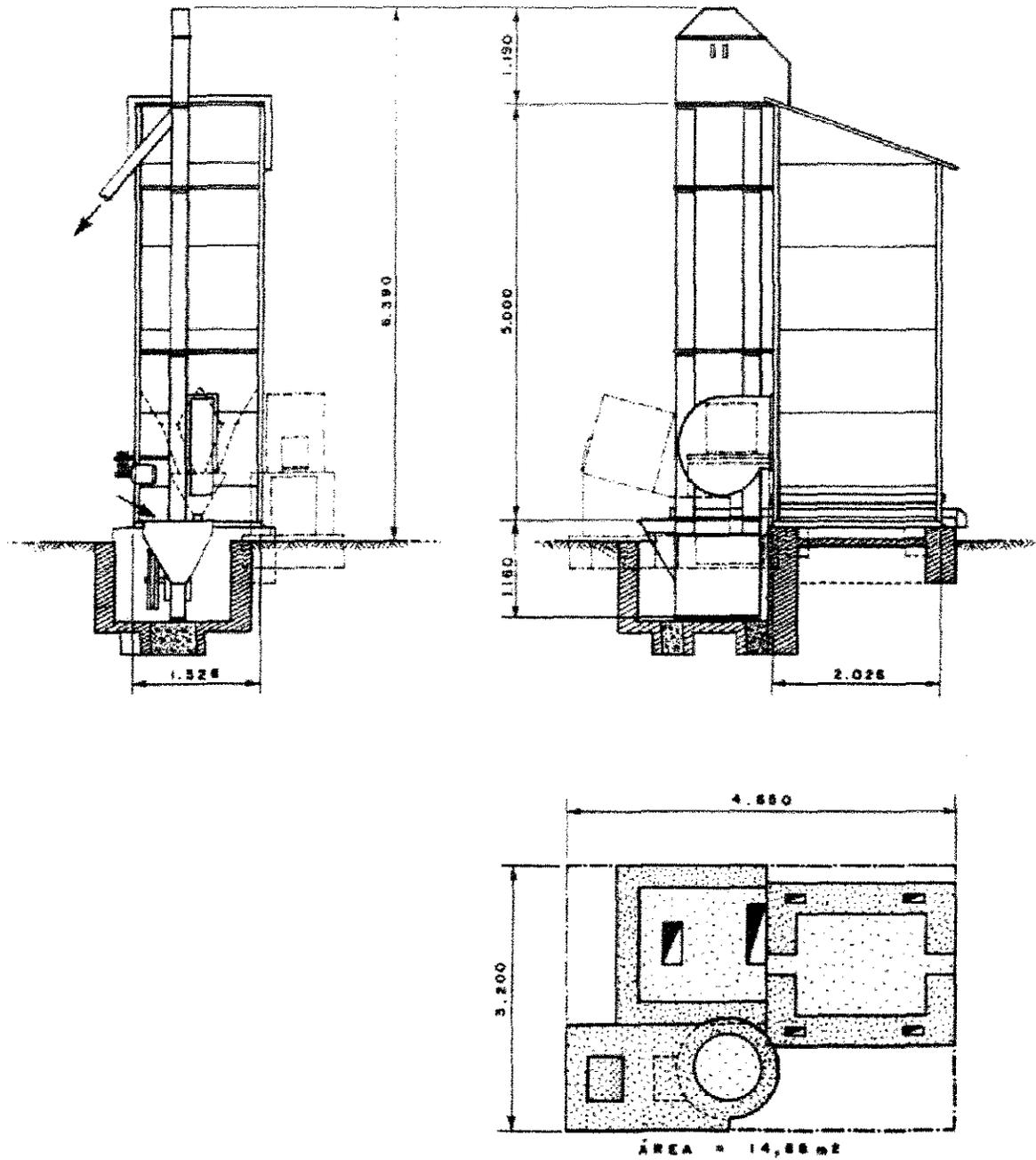


Figura 5 - Secador intermitente da CASP S/A Indústria e Comércio, modelo 93 BL, com capacidade de carga de 9000 litros.

Nas Tabelas 16 e 17, são apresentados respectivamente os efeitos da secagem de trigo, em função da temperatura e do tempo de exposição sobre a germinação, e os resultados das análises de germinação de amostras de semente que foi secada nas diversas temperaturas e após diversos períodos de armazenagem.

Pode-se observar na Tabela 16, que não houve perda imediata de germinação quando foram utilizadas as temperaturas de 40 a 90°C. A 100°C houve uma acentuada e progressiva perda do poder germinativo.

Na Tabela 17, não foi verificado efeito posterior sobre a germinação nos lotes de sementes em que a temperatura de secagem esteve compreendida entre 40 e 80°C. Quando o trigo foi seco a 90 e 100°C verificou-se um efeito retardado e prejudicial da temperatura de secagem sobre a germinação. Nas análises de germinação de amostras da semente que foi seca a 100°C e efetuadas logo após o término da secagem, Rosa (1966) verificou um aumento progressivo da percentagem de plântulas anormais, em maior número quanto maior foi o tempo de secagem. A anormalidade apresentada se caracterizou, essencialmente, pela falta de desenvolvimento do sistema radicular⁹.

Embora o trabalho mostrado acima avalie somente o trigo como semente, este é de grande utilidade, pois segundo alguns autores como Kreyger (1972), Staudt & Ziegler (1973) e Nellist (1982), que demonstraram que pode-se relacionar os danos causados por excesso de temperatura no grão de trigo destinado a semente com o grão destinado à moagem.

A relação da perda de poder germinativo do trigo semente torna-se mais estreita em relação às perdas de qualidade do produto destinado à moagem, principalmente, quanto maior for a temperatura de secagem e a umidade do grão.

⁹ Este fato pode ser caracterizado em virtude da radícula (primórdio da raiz) estar mais próxima à região de inserção do grão na espiga e portanto mais sujeita a ação do calor.

Tabela 16 - Efeito das temperaturas de secagem no secador sobre a germinação de trigo (germens normais).

Temperatura de secagem (C)	Germinação antes da secagem (%)	Germinação após um período de secagem (h)								
		0:30	1:00	1:30	1:45	2:00	2:15	2:30	3:00	3:30
40	91	91	93	94	-	91	-	93	91	91
50	91	88	89	91	-	92	-	90	92	-
60	89	87	89	89	-	85	-	-	-	-
70	97	93	92	92	-	91	-	90	-	-
80	91	93	92	94	-	91	-	93	-	-
90	93	94	89	89	-	88	88	-	-	-
100	91	84	71	68	59	-	-	-	-	-

Fonte: Rosa (1966).

Tabela 17 - Comparação dos resultados de germinação de semente de trigo seco às temperaturas de 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100°C, e da mesma semente após diversos períodos de armazenagem.

Temperatura de secagem (°C)	Dia em que foi realizada a secagem	Germinação ao sair do secador (%)	Germinação após armazenagem			
			28/5	12/6	26/6	1/8
40	16/4	91	90	-	86	88
50	23/4	92	90	-	89	88
60	24/4	85	89	-	91	85
70	7/5	90	91	-	93	92
80	8/5	93	91	-	91	92
90	31/5	88	-	76	76	85
100	28/5	59	-	22	43	22

Fonte: Rosa (1966).

3.4.2.1. Estudos de Curvas de Secagem em Secadores Intermitentes

Exposta a condições de secagem, uma semente seca em dois estágios. Um primeiro, que se inicia a partir de um ponto qualquer de um teor de água elevado, e que decresce até valores entre 16 e 17%, recebe o nome de período de secagem a taxa constante. Como o próprio nome diz, a perda de água pela semente, nessa fase, se dá a uma taxa constante, ou seja, a quantidade de água removida na unidade de tempo é sempre a mesma. Ao atingir o teor de água da semente um determinado valor (que acredita-se estar entre 16 e 17% e ao qual denomina-se teor de água crítico), a taxa de secagem passa a ser variável, tornando-se cada vez menor à medida que o processo avança. Esse período recebe o nome de período de secagem a taxas decrescentes (Carvalho, 1994).

Segundo Brooker *et al.* (1974), sementes de cereais secam integralmente dentro do período de taxas decrescentes, tendo em vista que, nessas espécies, o período de taxa constante é tão rápido que não se justifica incluí-lo em uma análise do processo de secagem.

Villela (1991), trabalhando com secagem intermitente de milho com relação aproximada de intermitência de 1:1,6 (35 min exposto ao ar quente e 55 min de período de equalização), umidades médias iniciais 16,02% e finais 13,10% e três temperaturas de secagem (70, 80 e 90°C), concluiu que as curvas de secagem das sementes, na secagem intermitente podem ser representadas por funções lineares.

Semelhante resultado obtiveram Bounous (1986) e Luz (1986), secando azevém anual e arroz respectivamente. Nos dois experimentos foi usado o mesmo equipamento, um secador marca Kepler Weber modelo KW2. O arroz foi seco de 20 para 11% de umidade, com duas relações de intermitência, 1,3:1 (17 minutos exposto ao ar quente e 13 minutos de período de equalização), e 1:1,5 (10 minutos exposto ao ar quente e 15 minutos de período de equalização), e temperatura do ar de secagem de 70°C.

A secagem de azevém anual foi realizada com temperaturas de 50 e 80°C, com umidades iniciais de 34,04 e 29,47% e finais de 12,16 e 13,62% (safra 1985/86), sendo que a razão de intermitência não foi apresentada.

Pela discrepância dos resultados obtidos com a revisão da literatura (Hall, 1980; Foust *et al.*, 1982 e Sodha *et al.*, 1987), em virtude da taxa constante durante todo o período de secagem, os autores enumeram algumas possíveis causas:

- A curva de secagem, descrita pelos autores na revisão da literatura, foi obtida, experimentalmente, na secagem estacionária e contínua de um produto, em camada fina, sob condições constantes de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar;
- A taxa de remoção do vapor d'água pelo ar, não foi, provavelmente afetada, de forma acentuada, por limitações na taxa de transporte interno de água, devido à intermitência; dessa forma, o teor de água decresceu à velocidade constante.
- Ainda para a secagem do milho, segundo Villela (1991), as curvas de secagem, obtidas no trabalho, têm validade para teores de água entre 16,5 e 13,0%, representando um segmento intermediário da curva característica, não expressando o comportamento da redução da água da semente em função do tempo para teores além de 16,5% e aquém de 13,0%.

Faroni *et al.* (1986, 1987), estudou o rendimento do arroz após secagem às temperaturas de 50, 60, e 70°C, para períodos de repouso de 30, 60, 120 e 180 minutos, com umidade inicial de 21,9% e final média de 13,7%. Para todos os tratamentos, durante a secagem, o grão foi colocado em repouso após perda de cerca de dois pontos de umidade, repetindo-se o processo até que atingisse aproximadamente 14%. Foi verificado que, durante o período de repouso, houve perda de umidade dos grãos, mais pronunciada nos dois primeiros passos da secagem. Verificou-se, também, que para a mesma temperatura do ar de secagem, à medida que aumenta o período de repouso, sobe a taxa de secagem, em cada passo.

3.5.Principais Testes Usados para a Avaliação da Qualidade Industrial do Trigo

3.5.1.Testes Físicos-Químicos

3.5.1.1.Peso do Hectolitro (PH)

É um critério muito antigo de qualidade, considerado como indicador do rendimento de farinha , sendo este maior quanto maior o peso do hectolitro, e é traduzido como o peso específico de um dado volume de grãos , cuja unidade é o kg.hl^{-1} . É utilizado como medida tradicional de comercialização em vários países, e expressa indiretamente atributos de qualidade dos grãos, em especial dos relacionados com a moagem. Na determinação do peso do hectolitro, estão associadas várias características do grão, como: forma, textura do tegumento, tamanho, peso, e as características extrínsecas ao material, como a presença de palha, de terra e de outras matérias estranhas. Valores muito baixos de PH podem indicar a ocorrência de problemas na lavoura que podem ter afetado o enchimento do grão e sua qualidade (Guarienti, 1993 e Pirozi, 1995).

3.5.1.2.Proteínas

Para a avaliação da qualidade do trigo torna-se necessário verificar os potenciais qualitativos e quantitativos das proteínas. A qualidade da proteína é medida por métodos químicos, bioquímicos e reológicos. Como métodos químicos comumente utilizados, citam-se os testes de sedimentação de Zeleny e de Sulfato Dodecil de Sódio. A eletroforese de gliadinas e gluteninas e o PCR (Polymerase Chain Reaction) são os principais testes bioquímicos empregados pela pesquisa na seleção de variedades com bandas de boa qualidade de proteínas. Os métodos e avaliação da reologia de massa da farinha requerem o uso de equipamentos especialmente desenvolvidos para este fim, como o alveógrafo, o farinógrafo e o mixógrafo, entre outros. A avaliação quantitativa de proteínas pode ser feita por vários métodos, sendo que o método de macro KJELDAHL e o NIR (Near Infrared Reflectance) são os mais utilizados. Em muitos casos, os laboratórios de controle de qualidade adotam a

avaliação da qualidade de glúten como critério de seleção de matérias primas. A AACC (American Association of Cereal Chemistry 1983) aprovou o método de lavagem manual de glúten e a máquina de lavagem de glúten Theby (Ertel-werk, Munique, Alemanha) como métodos oficiais. A ICC (International Association of Cereal Chemistry) aprovou o uso de lavador de glúten automático "GLUTOMATIC" como método padrão (Guarienti, 1993). No sistema "GLUTOMATIC", o glúten úmido é extraído automaticamente e centrifugado sobre uma peneira metálica especial. O peso do glúten que fica retido sobre a peneira em relação ao peso total, expresso em percentagem, nos mostra a quantidade de glúten presente na amostra. Em termos qualitativos estima-se que a faixa ótima de glúten index para a panificação seja de 60 a 90, sendo que as farinhas de glúten index abaixo de 40 são muito fracas para esse propósito (Pizzinatto & Campagnolli, 1992).

Por estes métodos, podem-se calcular o percentual de glúten úmido, seco, e o índice de glúten, que é a relação entre o glúten seco e o glúten total da amostra.

3.5.1.3. Cinzas ou Resíduo Mineral Fixo

Para farinhas originárias de um mesmo trigo, geralmente as mais escuras apresentam maiores teores de matéria mineral, estão associadas com extrações mais altas e propiciam pães de qualidade inferior (mais pesados e menos crescidos) quando comparados com aqueles obtidos com farinhas mais claras. Portanto o teor de matéria mineral também pode ser usado como parâmetro para a avaliação da qualidade da farinha de trigo (Pizzinatto & Campagnolli, 1992).

A cinza é o resíduo resultante da queima de matéria orgânica, sendo, no caso do trigo, constituída por fosfatos e sulfatos de potássio, por cálcio e magnésio. A maior concentração destes minerais situa-se na parte externa do grão, no farelo; daí conclui-se que quanto maior a quantidade ou a contaminação de farelo na farinha, maior será o teor de cinza resultante. Em geral, associa-se o teste de teor de cinzas ao teste de moagem experimental e ao peso do hectolitro para avaliação de moagem de um cultivar. Em nível industrial, o conteúdo de cinzas é utilizado para o cálculo da curva de cinzas, que mede a eficiência do processo de moagem.

O teor de cinzas do grão de trigo varia de 1,4 a 2,2%, calculado com base em 14% de umidade (Guarienti, 1993).

3.5.1.4. Moagem Experimental

A operação de moagem do trigo tem por finalidades a separação do endosperma das porções externas constituídas pela casca e gérmen, e a trituração e pulverização do endosperma em partículas de granulometria variável, que será chamada de farinha de sêmola ou de semolina de trigo. A moagem experimental, feita em laboratório, utiliza equipamentos que reproduzem, em parte, o processo industrial. A avaliação do potencial de moagem de uma cultivar deve ser executada pela análise conjunta dos percentuais de cinzas, de extração de farinha e do valor do peso do hectolitro. Deve-se considerar ainda a textura do grão e o tipo de equipamento de moagem utilizado.

Na Tabela 18, é apresentada a classificação do potencial de moagem de acordo com os dois principais tipos de equipamentos experimentais utilizados. Em grãos de textura dura, observa-se melhor potencial de moagem comparado ao dos grãos suaves. Para produto com valor muito baixo de PH, indicando problemas na lavoura que afetaram o enchimento dos grãos, o potencial de moagem será reduzido (Guarienti, 1993).

Tabela 18 - Classificação do potencial de moagem segundo o uso dos moinhos Buhler e Quadrumat e os teores de cinzas esperados em cada faixa de extração.

Classificação	Extração		
	Buhler	Quadrumat	Cinzas (%)
Excelente	75-78	≥72	0,42-0,45
Muito bom	72-74	69-71	0,45-0,48
Bom	69-71	66-68	0,49-0,51
Regular	66-68	63-65	0,51-0,55
Baixo	63-65	60-62	0,56-0,59
Muito baixo	≤62	≤61	≥0,60

Fonte: Guarienti (1993).

3.5.1.5. Número de Queda ou Falling Number (Método de Hagberg)

O teste de "Falling Number" tem por finalidade verificar a atividade da enzima alfa-amilase do grão, a fim de detectar danos causados pela germinação na espiga. A ocorrência de chuvas por ocasião da colheita¹⁰ pode levar uma cultivar de trigo a iniciar o processo germinativo, que traz como consequência a deterioração do grão em níveis que podem comprometer sua utilização industrial. Com o início da germinação, ocorre um incremento da atividade das enzimas alfa e beta-amilases. Este acréscimo de produção da alfa-amilase provoca a sacarificação das moléculas de amido durante o processo de fabricação do pão, resultando em pães com textura interna pegajosa e úmida. Por outro lado, a baixa atividade da enzima alfa-amilase afeta negativamente a panificação, resultando em produto final com textura interna seca e quebradiça (Guarienti, 1993).

O teste realizado no "Falling Number" fundamenta-se na rápida gelatinização do amido presente numa suspensão aquosa de farinha quando submetido a tratamento térmico em banho-maria fervente e na subsequente liquefação do gel formado pela ação da alfa-amilase presente na amostra. Portanto a atividade da alfa-amilase é determinada usando o amido da própria amostra como substrato (Pizzinatto & Campagnolli, 1992).

Na Tabela 19 é apresentada a classificação da qualidade do grão de acordo com os valores de "Falling Number".

Tabela 19 - Atividade da alfa-amilase e performance de panificação da farinha de trigo em função do valor "Falling Number".

Valor de Falling Number	Atividade da alfa-amilase	Performance de panificação
Inferior a 150 segundos	Alta	Pão pesado, de baixo volume, com miolo úmido e pegajoso
Entre 200 e 300 segundos	Ótima	Pão de bom volume e com miolo de boa textura
Superior a 300 segundos	Baixa	Pão de volume reduzido e com miolo seco

Fonte: Pizzinatto & Campagnolli (1992).

¹⁰ Na região sul do Brasil é comum a ocorrência de chuvas após a maturação do trigo, portanto a secagem artificial é fundamental para evitar esse problema.

3.5.2. Testes de Reologia de Massa

Uma farinha de boa qualidade para panificação deve ter alta capacidade de absorção de água, satisfatória tolerância a mistura, glúten de tenacidade entre média e forte e ser capaz de produzir pão de grande volume, leve e macio, Estas qualidades decorrem da capacidade de produzir e reter gás na massa durante o processo de fermentação. Para uma adequada produção de gás a farinha deve ter suficiente quantidade de enzima diastática (mais de 150 mg de maltose/10 g de farinha). Para a retenção do gás, a massa deve ter força suficiente, elasticidade e extensibilidade, atributos estes que dependerão da qualidade e quantidade do glúten na farinha, características determinadas, fundamentalmente, por fatores genéticos, mas também influenciadas por condições ambientais ocorrentes durante o cultivo (adubação, insolação, precipitação, etc.) (Osório, 1992).

3.5.2.1. Alveografia

A alveografia é um teste reológico usado em vários países da Europa, em especial na França, para a determinação de características qualitativas da farinha. Neste teste é preparada uma massa de farinha de trigo e solução de cloreto de sódio, considerando a absorção padrão de água de 56% e tendo todo o procedimento de mistura e preparo da massa padronizados. Com a massa é feito um pequeno disco de circunferência e espessura uniformes e, posteriormente, é inflada, sob pressão constante, uma quantidade de ar suficiente para a formação de uma bolha de massa até a sua extensão total e conseqüente ruptura. A pressão da bolha é medida por um manômetro registrador, onde é feita a leitura do teste (Guarienti, 1993).

Na comparação do teste do alveógrafo com outros testes de extensão de massa comumente usados nos laboratórios de cereais, certos aspectos têm sido considerados. Dentre eles, o primeiro é o uso de massas com proporção umidade/matéria seca pré-determinada e constante, sem levar em conta a capacidade variável de hidratação das farinhas de trigo. Essa condição do método do teste, bem como o tempo de mistura constante, tem sido criticada em muitos estudos. O segundo, é o modo de deformação da massa que diferencia a técnica alveográfica dos outros testes. Ao contrário de outros instrumentos comumente usados, como

por exemplo o extensógrafo Brabender, que submete a massa testada a uma extensão uniaxial, o alveógrafo faz a massa expandir em duas direções: ao longo de um paralelo e ao longo de um meridiano da bolha esférica. Esse tipo de extensão, referida como biaxial, tem sido apontada como uma considerável vantagem do teste de alveógrafo sobre os testes baseados em extensão uniaxial. Do ponto de vista físico, este tipo de extensão está associada à expansão da célula de gás (alvéolo) durante o crescimento da massa. Assim, a deformação da massa durante o teste assemelha-se muito a deformação que ocorre na massa durante a sua fermentação e crescimento no forno (Pizzinatto & Campagnolli, 1992).

A pressão máxima de ruptura, ou "P", é considerada como índice de estabilidade da massa, indicando resistência ao trabalho de deformação, e é positivamente correlacionada com a capacidade de absorção de água da farinha. A extensibilidade ou "L", é um indicativo do volume do pão. Em geral, quanto maior o valor de "L", maior será o volume do pão; esta característica é dependente do valor "P". Deve existir uma proporcionalidade dos valores de "P" e "L" (relação "P/L") para, associada ao valor "W" (força geral do glúten), expressar um bom potencial de panificação. A farinha que apresentar valores de "P/L" abaixo de 0,60 pode ser considerada de glúten extensível; de 0,61 a 1,20, de glúten balanceado; e valores de "P/L" acima de 1,21, de glúten tenaz (Guarienti, 1993).

Na Tabela 20 é apresentada a classificação de qualidade do glúten segundo valores de "W".

Tabela 20 - Classificação da força geral do glúten determinada pelo teste de alveografia.

Classificação	Força geral do glúten $10^{-4}J$
Muito fraca	>50
Fraca	51-100
Média	101-200
Média-forte	201-300
Forte	301-400
Muito forte	<401

Fonte: Guarienti (1993).

3.5.2.2. Farinografia

O farinógrafo Brabender, que avalia o comportamento da farinha na forma de massa, tem recebido ampla aceitação nos laboratórios de cereais para controlar as propriedades de mistura das massas de farinha de trigo, sendo a farinografia um dos mais completos e sensíveis testes para a avaliação da qualidade de mistura (farinha + água) (Knight, 1965; Pizzinatto *et al.*, 1996 e Guarienti, 1993).

Segundo Guarienti (1993), neste teste é adicionada uma quantidade de água à farinha, suficiente para que a massa adquira uma consistência padrão (atinga a linha das 500 Unidades Brabender) e todas as fases da mistura, de desenvolvimento e de quebra, ou amolecimento da massa são registradas em gráfico chamado farinograma. No farinograma são medidos diversos índices de qualidade, como o tempo de desenvolvimento da massa, a estabilidade, o índice de tolerância da massa, o valor valorimétrico, entre outros.

A curva normal ou diagrama obtido no farinógrafo permite a leitura dos seguintes fatores abaixo enumerados (Bar & Pizzinatto, 1979; Pizzinatto & Campagnolli, 1992 e Guarienti, 1993):

- 1) Tempo de desenvolvimento da massa - é o tempo em minutos que a massa necessita para adquirir a consistência de 500 Unidades Brabender (ponto de máxima consistência). Em termos práticos, o tempo de desenvolvimento é indicativo do tempo que o profissional de panificação dispõe para determinar o percentual de absorção de água da farinha que está trabalhando, de forma a deixar a massa com a consistência ideal para o fabrico do pão.
- 2) Estabilidade - vem a ser o tempo em minutos, durante o qual a massa permanecerá na consistência constante de 500 Unidades Brabender. A estabilidade dá um indicativo da resistência que a massa possui ao trabalho mecânico e ao tempo do processo fermentativo na fabricação de pão.
- 3) Índice de tolerância da massa - é a diferença, expressa em Unidades Brabender, entre o topo da curva do pico e o topo da curva, medido em 5 minutos após atingido o pico máximo. Este índice fornece informações sobre a maior ou a menor tolerância da massa durante a mistura.

4) Absorção de água - a absorção de água é definida como a quantidade de água requerida (g/100g de farinha) para que a massa atinja a consistência ótima de 500 U.B. no ponto máximo (o centro da banda deve coincidir com a linha de 500 U.B. no pico da curva). Se a umidade da farinha não for 14%, a absorção de água deverá ser corrigida.

Na Tabela 21 pode-se observar parâmetros farinográficos característicos.

Tabela 21 - Parâmetros farinográficos característicos de farinhas com diferentes forças.

Farinha	Absorção (%)	Desenvolvimento (min)	Estabilidade (min)	Índice de tolerância a mistura (U.B.)
Fraca	<55	<2,5	<3	>100
Média	54-60	2,5-4,0	3-8	60-100
Forte	>58	4-8	8-15	15-50
Muito forte	>58	>10	>15	<10

Fonte: Pizzinatto & Campagnolli (1992).

3.5.3. Teste Instrumental de Panificação

Devido a complexidade da qualidade da farinha de trigo e das interações dos possíveis ingredientes adicionados a formulação de pães, um simples teste reológico pode omitir a qualidade total da farinha de trigo. Somente um teste de cozimento padronizado é capaz de se aproximar da realidade dos processamentos utilizados nas padarias e na indústria de panificação (Pizzinatto *et al.*, 1996).

Segundo El-Dash (1978) *apud* Pizzinatto *et al.* (1996), o teste instrumental de panificação, é um método que utiliza o controle do tempo de mistura, de fermentação, de cozimento, além de fixar as temperaturas das massas, a consistência das mesmas e os ingredientes considerados básicos para a formulação do pão de forma. É por isso que é considerado um método conclusivo para a avaliação tecnológica das farinhas de trigo.

A qualidade global dos pães normalmente é avaliada levando-se em consideração as características externas, internas, aroma e gosto do pão de acordo com a Tabela 22.

Tabela 22 - Avaliação global dos pães.

Características Externas	Valor máximo
Volume (Volume específico x 3,33)	20
Cor da Crosta (Fatores indesejáveis: não uniforme, opaca, muito clara ou escura)	10
Quebra (Fatores indesejáveis: muito pequena, áspera ou desigual)	5
Simetria (Fatores indesejáveis: laterais, pontas ou partes superiores desiguais)	5
Total	40
Características Internas	Valor máximo
Características da crosta (Fatores indesejáveis: borrachenta, quebradiça, dura, muito grossa ou muito fina)	5
Cor do Miolo (Fatores indesejáveis: cinza, opaca, desigual ou escura)	10
Estrutura da Célula do Miolo (Fatores indesejáveis: falta de uniformidade, buracos muito abertos ou compactos)	10
Textura do Miolo (Fatores indesejáveis: falta de uniformidade, áspera, compacta ou seca)	10
Total	35
Aroma e Gosto	Valor máximo
Aroma (Fatores indesejáveis: falta de aroma, aroma desagradável, estranho, muito fraco ou forte)	10
Gosto (Fatores indesejáveis: ácido, estranho, goma, massa ou gosto remanescente)	15
Total	25
Contagem Final (Σ dos Totais 100)	

Fonte: Pizzinatto *et al.* (1996).

3.5.4. Qualidade das Massas Alimentícias

Segundo Ciacco & Chang [ca. 1982], a qualidade das massas alimentícias pode ser estimada através de sua performance durante o cozimento. Além destes testes de cozimento a cor e textura do produto final também devem ser avaliadas. Os testes de cozimento dão informações de como o produto se comporta durante a cocção. Em particular de quanta água absorve, quanta substância é lixiviada durante o cozimento, qual o aumento do volume e qual a textura do produto cozido. A determinação dos parâmetros relacionados com a qualidade de cozimento pode ser efetuada sem auxílio de equipamentos sofisticados. A quantidade de água absorvida, % de resíduo e aumento de volume são determinados após o cozimento da amostra

(100 g) em 300 ml de água a 100°C por vinte minutos. Geralmente utiliza-se o equipamento Buhler para determinação do teste de cozimento. Neste equipamento, o produto (100 g) é cozido a 98°C por 18 e 28 minutos. Depois destes tempos, a amostra é colocada sobre uma peneira por cinco minutos, de modo que a amostra e a água sejam separadas. A amostra cozida é a seguir pesada, seu volume determinado por deslocamento de líquido, e o peso do resíduo presente na água de cocção é encontrado, após evaporação do líquido. A tabela 23 ilustra os parâmetros de cozimento de várias massas alimentícias.

Tabela 23 - Parâmetros de cozimento de diferentes massas alimentícias.

Testes de cozimento	Volume (cc) de 100 g de produto											
	85	92	85	87	87	95	85	92	85	87	87	95
Tempo de cozimento (min)	18	18	18	18	18	18	28	28	28	28	28	28
Água absorvida (g)	188	195	200	162	181	221	260	235	260	200	237	287
Volume do produto cozido (cc)	275	285	260	245	265	315	350	335	350	305	330	370
Aumento de volume	3,2	3,0	3,0	2,8	3,1	3,3	4,0	3,6	4,0	3,5	3,8	3,9
Resíduo	5,0	6,2	4,6	5,8	5,5	8,0	5,5	6,6	5,4	7,0	6,3	11,5
Qualidade de cozimento ¹	MB	B	MB	M	B	R	MB	B	MB	M	B	R

Fonte: Ciacco & Chang [ca. 1982].

¹MB- Muito Bom, B- Bom, M- Média e R- Ruim.

Kruger & Matsuo (1982), em um estudo compararam os níveis de α -amilase e açúcares simples em trigo duro não germinado e germinado durante o processamento de massas e cozimento de espaguete. Na Tabela 24 pode-se observar os níveis de açúcares simples em trigo duro não germinado e germinado em vários estágios de processamento.

Na Tabela 25 observa-se o resíduo presente (sólidos solúveis), na água de cocção do espaguete processado a partir de trigo germinado e não germinado.

Os autores concluem que o uso de trigo maduro germinado em processamento de massas resulta em aumento dos níveis de açúcares, especialmente maltose, no espaguete ocorre uma grande perda de sólidos durante o cozimento. Esta perda de sólidos é composta de açúcares simples e dextrinas de alto peso molecular. Os níveis de α -amilase são substancialmente mais altos em trigo duro germinado do que no não germinado¹¹, e essa

¹¹ No trigo duro germinado o nível de α -amilase aumentou 155 e 320 vezes na germinação durante 72 e 120 horas respectivamente, em relação do trigo não germinado.

enzima é provavelmente uma forte determinadora dos efeitos observados. O uso de trigo germinado no processamento de massas causa um efeito adverso na qualidade em virtude do aumento dos sólidos perdidos durante a cocção do espaguete e isso torna-o inadequado ao consumo humano.

Tabela 24 - Açúcares simples (mg/g) em trigo duro não germinado e germinado (72 e 120 h) em vários estágios de processamento.

Estágios de Processamento	Glicose			Sacarose			Maltose		
	em trigo germinado (h)			em trigo germinado (h)			em trigo germinado (h)		
	0	72	120	0	72	120	0	72	120
Trigo	0,95	1,3	1,5	9,5	15,2	15,9	1,3	1,3	2,4
Semolina	0,85	1,1	1,1	3,9	4,0	5,1	0,8	1,1	1,6
Espaguete	0,95	4,1	4,4	4,2	4,1	5,2	15,8	37,1	33,2

Fonte: Kruger & Matsuo (1982).

Tabela 25 - Resíduo (mg/g), presente na água de cocção do espaguete de trigo duro germinado e não germinado.

Tempo de cozimento (min)	Germinação (h)		
	0	72	120
3	32,6	40,4	53,8
7	38,1	54,1	77,4
12	39,6	65,1	72,5

Fonte: Kruger & Matsuo (1982).

3.6. Análise do Problema Energético na Secagem

A eficiência energética pode ser definida como a razão entre a energia requerida para evaporar a água do produto e a quantidade de energia fornecida ao sistema de secagem. A quantidade de energia fornecida ao processo de secagem inclui a energia para o aquecimento do ar, além da potência elétrica utilizada no sistema. Considerando que na secagem com temperaturas elevadas, o consumo de energia pode chegar a 60% ou mais do total energético gasto com a produção e o processamento dos produtos agrícolas, deve-se procurar soluções que aumentem a eficiência energética dos secadores (Silva *et al.*, 1992a).

A quantidade de energia requerida para evaporar uma determinada quantidade de água (no Sistema Internacional utiliza-se MJ.kg^{-1} de água evaporada), é denominada por Nellist (1982), como consumo específico de calor ou, se o consumo de energia elétrica é incluída, chama-se de consumo específico de energia. O calor latente de vaporização da água (consumo específico de calor) é de $2,45 \text{ MJ.kg}^{-1}$ (585 Kcal.kg^{-1}) e o consumo específico de energia para secadores de grãos situa-se na faixa de $3,5$ a 10 MJ.kg^{-1} (836 a $2388 \text{ Kcal.kg}^{-1}$). Em geral, o consumo específico de energia na secagem de grãos diminui com o aumento da temperatura do ar de secagem e com o aumento da umidade relativa do ar de exaustão (Brooker *et al.*, 1992).

Intimamente ligado à secagem dos produtos agrícolas, em termos de necessidade de energia requerida, está o calor latente de vaporização, que dependendo do produto a ser secado, do seu conteúdo de umidade e do tipo de equipamento (temperatura de secagem) utilizado vai demandar uma menor ou maior quantidade energética¹². Várias pesquisas foram conduzidas no passado especialmente as de Gallaher (1951), Johnson & Dale (1954) e Thompson & Shedd (1954) com a finalidade de melhor predizer a relação energética produto/água livre.

Recentemente, Cenkowski *et al.* (1992) desenvolveram uma metodologia para calcular a relação hfg^*/hfg usando a fórmula desenvolvida por Gallager (1951), porém acrescentando coeficientes preestabelecidos para cada produto (Tabela 26).

¹² Segundo Lasseran (1988), o calor latente de vaporização (entalpia de vaporização) diminui quando a temperatura aumenta, mas em temperatura constante somente sofre acréscimo quando o conteúdo de umidade for menor que 15%.

$$\frac{hfg^*}{hfg} = [1 + a \exp(bM)] \quad (3)$$

onde:

hfg^*/hfg = relação entre calor latente do produto e da água livre,

a e b = coeficientes.

Tabela 26 - Coeficientes a e b para equação (3) dos grãos com maior importância econômica.

Grão	Coeficientes		Faixa de conteúdo de umidade
	a	b	
Cevada	1,0	-19,9	$0,08 \leq M \leq 0,18$
Feijão	0,5	-16,0	$0,08 \leq M \leq 0,22$
Milho	2,1	-17,0	$0,09 \leq M \leq 0,19$
Arroz	3,2	-21,7	$0,09 \leq M \leq 0,12$
Sorgo	1,2	-19,6	$0,09 \leq M \leq 0,19$
Soja	0,4	-13,9	$0,06 \leq M \leq 0,21$
Trigo, "durum"	0,8	-18,1	$0,09 \leq M \leq 0,21$
Trigo, "soft"	1,7	-17,6	$0,09 \leq M \leq 0,17$
Trigo, "hard"	3,9	-23,6	$0,09 \leq M \leq 0,21$
Trigo, (Gallaher 1951)	23,0	-40,0	$0,09 \leq M \leq 0,15$

Fonte: Cenkowski *et al.* (1992).

Nas Figuras 6 e 7 pode-se observar as curvas que representam a relação entre o calor latente de vaporização da água contida nos grãos e o calor latente de vaporização da água livre para as faixas de conteúdo de umidade dos grãos especificados na Tabela 26. Para teores de umidade dos grãos acima de 0,166 existe uma pequena diferença entre o calor de vaporização da água contida nos grãos, hfg^* , e o da água livre, hfg . Observa-se uma diferença significativa na relação hfg^*/hfg entre o trigo duro (*T. durum* L.) e os trigos "hard" e "soft" (*T. aestivum* L.) (Cenkowski *et al.*, 1992).

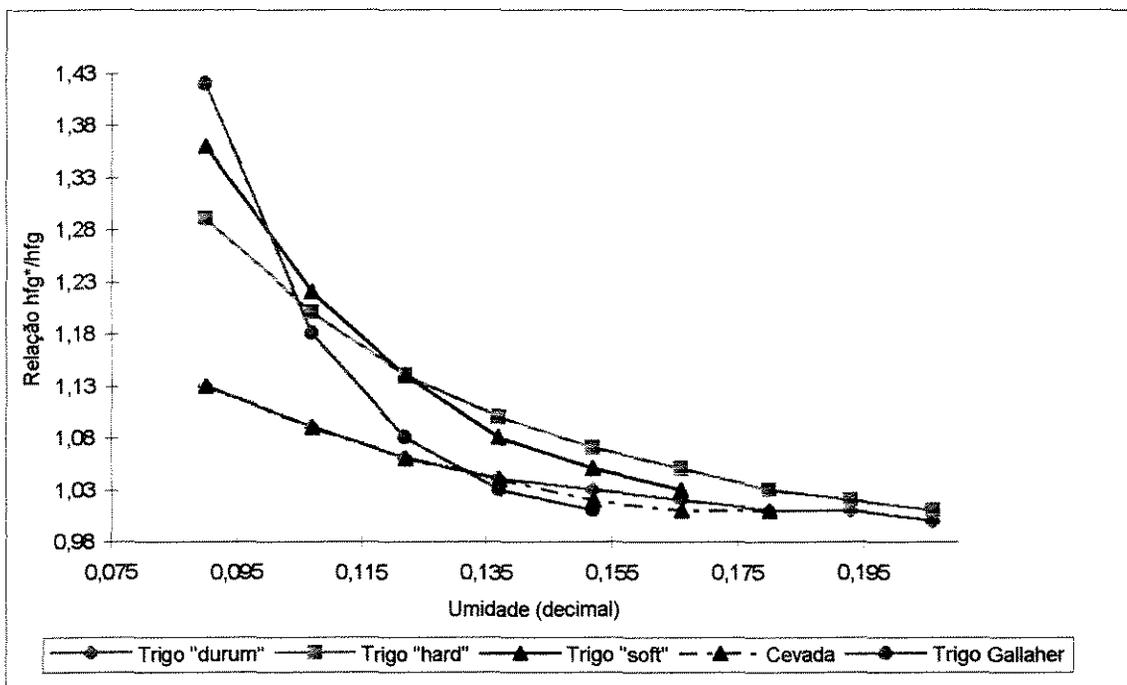


Figura 6 - Relação entre hfg^*/hfg para o trigo "durum", trigo "hard", trigo "soft", cevada e trigo Gallaher.

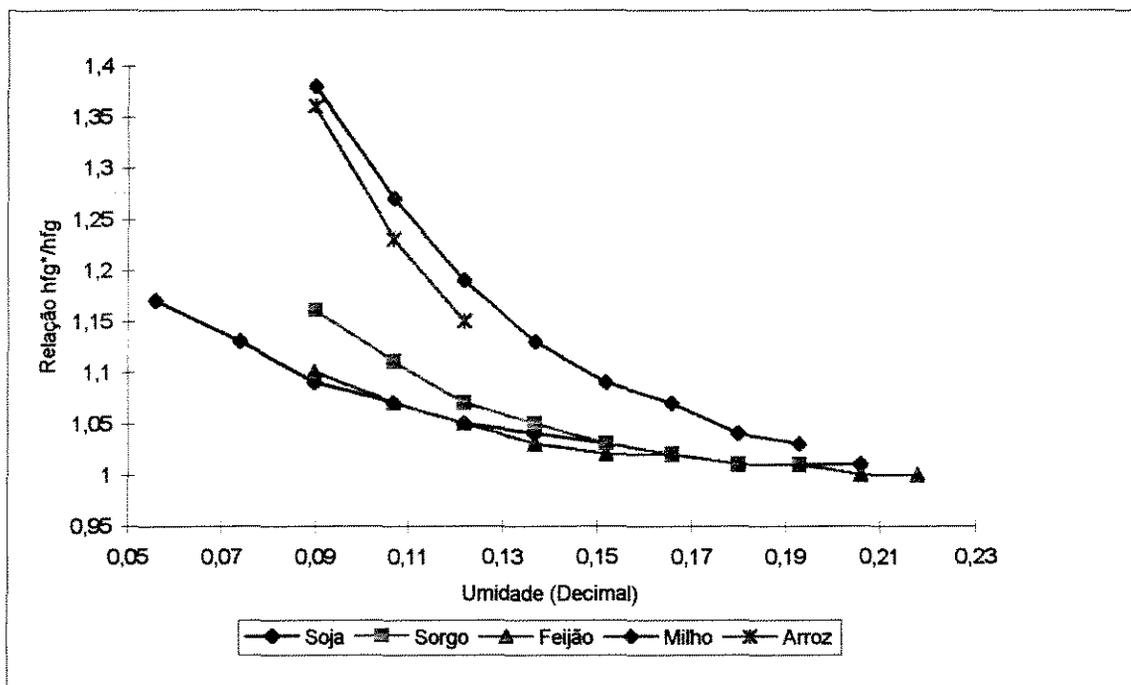


Figura 7 - Relação entre hfg^*/hfg para a soja, sorgo, feijão, milho e arroz.

Segundo Nellist (1982), secadores de fluxo cruzado convencionais usam entre 5000 e 9000 kJ de energia calorífica por quilo de água removida. Este mesmo equipamento funcionando com parte do ar de exaustão em recirculação, usa 42% menos energia que o modelo convencional (Stevens & Thompson, 1976).

Bakker-Arkema & Fontana (1983), realizaram estudo comparando métodos de secagem para arroz (secagem em camada fixa em silos e em secadores de fluxo cruzado e concorrentes). A conclusão do estudo aponta que a secagem em camada fixa em silos é um sistema de baixa capacidade e alta eficiência energética (3000 kJ.kg⁻¹ de água removida); secadores de fluxo cruzado de passagens múltiplas apresentam altas capacidades de secagem, e requerem maiores gastos de energia que as secagens em camada fixa (aproximadamente 5000 kJ.kg⁻¹ de água removida) e os secadores de fluxo concorrente podem operar com altas temperaturas do ar de secagem (100 a 180°C), diferentemente dos de fluxo cruzado (abaixo de 80°C), resultando com isto em maior eficiência energética (3500 a 4500 kJ.kg⁻¹ de água removida).

Otten *et al.* (1980), estudou um secador contínuo comercial de fluxo cruzado, composto por quatro colunas de 19,8 m de altura (sendo 15,9 m de altura na câmara de secagem e 3,9 m na câmara de resfriamento); 5,6 m de comprimento e 0,30 m de espessura. O fluxo de ar na câmara de secagem foi de 1280 m³.h⁻¹.m⁻² e na de resfriamento foi de 1600 m³.h⁻¹.m⁻². Todas as quatro colunas possuíam a 6,5 m de altura do topo do secador um dispositivo para inverter o fluxo de grãos. Foram realizados 8 testes de secagem de milho, com umidade média inicial e final respectivamente de 26 e 14,6%, sendo o consumo específico de energia médio de 5801 kJ.kg⁻¹.

Segundo Loewer *et al.* (1994), as despesas da secagem incluem o custo da mão-de-obra, eletricidade, combustível e equipamento. Destes itens, a mão-de-obra é o menor gasto na maioria dos sistemas de secagem, e o combustível usado para aquecer o ar é o maior.

Silva *et al.* (1992b), avaliando o desempenho de um secador de fluxos cruzados, intermitente e com reversão do fluxo de ar na secagem de milho, para temperaturas de 60, 80 e 100°C, verificou que:

-As eficiências energéticas para as temperaturas de 60, 80 e 100°C foram de 6638, 6432 e 5608 kJ.kg⁻¹ de água evaporada, respectivamente;

-As maiores parcelas para o custo de secagem foram devidas à mão-de-obra e aos custos fixos (90% do total).

Puzzi (1986) apresenta uma metodologia bastante simples e de fácil aplicação em secadores comerciais, para determinar a eficiência do equipamento. O princípio é baseado em que, após ter permanecido em contato com o produto, o ar sai do secador com uma temperatura mais baixa e umidade relativa elevada, em virtude de ter absorvido uma certa porção de umidade dos grãos. Se todo o ar que entrasse no secador saísse saturado, seria o ideal, entretanto, esta condição não é verificada. Para se obter um alto índice de eficiência, o secador deve propiciar um perfeito contato de ar quente com o produto, pelo tempo suficiente para a retirada do máximo de umidade.

O rendimento de um secador pode ser estimado através da fórmula seguinte:

$$\text{Rendimento}(\%) = \frac{T_e - T_s}{T_e - T_a} * 100 \quad (4)$$

onde:

Ta = Temperatura de ar ambiente;

Te = Temperatura do ar quente na entrada da câmara de secagem;

Ts = Temperatura do ar secante na saída do secador.

Fica evidenciado que o ar secante deve sair do secador com o máximo de umidade e a sua temperatura de saída (Ts) deve ser mínima para um bom rendimento.

Segundo Tosello (1946) *apud* Puzzi (1986), experiências realizadas com café, com a temperatura de 63°C, em um secador de carga, demonstraram que, no início da secagem, a temperatura de saída foi de 35°C, passou em seguida para 45°C e no final da operação, a temperatura chegou a 50°C. Quanto menor o teor de umidade dos grãos, dentro do secador, maior será a temperatura de saída e, conseqüentemente, menor o rendimento térmico da secagem.

Nos anos 50 e 60, no Brasil, a grande maioria dos secadores agrícolas utilizavam fomalhas à lenha e outros resíduos orgânicos, como a casca de arroz. Para manter estes equipamentos em funcionamento, os grandes produtores de grãos, especialmente as

Cooperativas, implantaram grandes áreas de reflorestamento. Nos anos 60 e 70, passou-se a utilizar em larga escala as fornalhas a óleo, tipo Fuel-Oil, que apresentavam vantagens sobre a lenha, especialmente no que diz respeito ao manuseio, regulagem e manutenção estabilizada da temperatura, aos estoques do combustível e preservavam as nossas já poucas reservas florestais. Com a crise do petróleo em nível mundial, entretanto, o uso dos derivados do petróleo se tornaram proibidos para uso da secagem agrícola, no ano de 1981. Voltaram as fornalhas a lenha que permanecem, na sua grande maioria, até a atualidade. Recentemente o óleo voltou a ser liberado, oportunidade em que muitas unidades armazenadoras e especialmente indústrias, voltaram a usar óleo, agora utilizando a própria fornalha a lenha como câmara de combustão e diminuindo sensivelmente o custo desta adaptação (Weber, 1995).

Por estas razões, no custo de secagem, a mão-de-obra assume um papel importante, pois há necessidade de constante abastecimento, operação realizada manualmente para as fornalhas a lenha, além do monitoramento das entradas de ar secundário (abrindo ou fechando) para manter a uniformidade da temperatura. Nas fornalhas a lenha, a temperatura na câmara de queima deve estar acima de 500°C para evitar a contaminação do produto com fagulhas (risco de incêndio) e fumaça (provocada pela queima incompleta do combustível). Infelizmente existem poucos estudos das fornalhas utilizadas em secadores comerciais em nosso país. A Fundação de Ciência e Tecnologia, CIENTEC (1979), estudou uma fornalha a lenha da CASP S.A., sendo que as características do ensaio pode-se observar abaixo:

- Ar ambiente-16,8°C (temperatura média do termômetro de Bulbo Seco);
-12,6°C (temperatura média do termômetro de Bulbo Úmido);
- Pressão atmosférica média-703 mmHg;
- Ar primário-vazão 292,2 m³.h⁻¹;
- Vazão dos gases de secagem-19937 m³.h⁻¹;
- Temperatura média dos gases de secagem-103 ± 2°C;
- Consumo de combustível-132,9 kg.h⁻¹;
- Poder calorífico inferior do combustível, em base como recebido (14,7% de umidade)-15830 kJ.kg⁻¹ (3781 kcal.kg⁻¹);
- Quantidade de calor utilizável para secagem-1705007 kJ.h⁻¹ (407234 Kcal.h⁻¹);

- Quantidade de calor desenvolvido pelo combustível-2103846 kJ.h⁻¹ (502495 Kcal.h⁻¹);
- Eficiência térmica do equipamento-81%;
- Concentração de materiais particulados ou de substâncias absorvidas pelo ar de secagem (Tabela 27):

Tabela 27 - Concentração de materiais particulados ou de substâncias absorvidas pelo ar de secagem.

Material	Concentração no ar quente (mg.m ⁻³)
Sólidos totais	76,9
Cinza	16,3
Alcatrão	isento
Enxofre	traços

Fonte: CIENTEC (1979).

Na fornalha em questão os gases de combustão não apresentaram contaminações importantes por metais (Chumbo, Cromo, Níquel, etc.).

Segundo Weber (1995), os combustíveis gasosos podem-se tornar uma opção interessante, pois oferecem simplicidade no sistema, fácil operação e excelente controle da temperatura, favorecendo em muito a automação da secagem. O gás GLP, derivado do petróleo, também adequado, está fora de uso pelo seu preço elevado, entretanto, o gás natural é altamente indicado e econômico. Em países como a Bolívia, Argentina, em vários locais da Europa e nos EUA, estes queimadores já são ou podem vir a ser largamente utilizados, mesmo porque são países que dispõem de gás natural. No Brasil, tão logo se conclua a ligação por gasoduto com os países produtores, Bolívia e Argentina, especialmente as regiões agrícolas ao longo do gasoduto deverão contar com as fornalhas a gás.

Na Tabela 28, pode-se observar diversos combustíveis e respectivos valores de poder calorífico inferior.

Tabela 28 - Diversos combustíveis e poder calorífico inferior ¹ (PCI).

COMBUSTÍVEL	Poder calorífico (kJ.kg ⁻¹)
CABREUVA	17396
CANELINHA	16789
CEDRO	16705
EUCALIPTOS	11723-13983
FIGUEIRA	14193
IPÊ	16830
JACARANDÁ	15826
JEQUITIBÁ	16663
PEROBA	15574
PINHO	13816
BAGAÇO DE CANA	9210
SERRAGEM (PINHO)	10467
CASCA DE ARROZ	13816
CASCA DE TANINO ÚMIDO	3349
PALHA DE TRIGO	13397
PALHA DE AMENDOIM	12979
GÁS - GLP	46054
GÁS NATURAL	37262-74525
FUEL - OIL	40193
CARVÃO	18421

Fonte: Weber (1995).

¹ Para as madeiras o valor do PCI foi obtido com umidade de 30% bu.

3.7. Qualidade dos Grãos Utilizados como Ração Animal

O trigo, por ser um cereal nobre, largamente utilizado na alimentação humana, é pouco estudado seu pré-processamento com vistas a sua utilização como ração animal. Para outros grãos, principalmente para o milho, são encontrados estudos da temperatura de secagem e sua influência na alimentação tanto de monogástricos como ruminantes.

Em um estudo realizado na EMBRAPA - Suínos e Aves, determinou-se o valor nutricional do trigo com 1% e 14% de grãos germinados na alimentação de frangos de corte

(Lima, 1996). Os resultados (Tabela 29) demonstraram que o trigo pode vir a ser um excelente substituto do milho em dietas desses animais, sendo melhores os resultados, quando o percentual de germinação dos grãos foi maior. O uso de trigo promoveu melhoria no desempenho e qualidade da carcaça, não resultando, contudo, em aumento da renda econômica bruta dos lotes devido a uma tendência geral de aumento de consumo dessas dietas. Entretanto, a pigmentação da canela das aves que receberam dietas contendo níveis crescentes de trigo foi linearmente menor, indicando a necessidade da adição de pigmentantes, se houver uma tendência do consumidor exigir carcaças das aves mais amareladas.

Tabela 29 - Composição química e valores de energia de diferentes partidas de trigo obtidos com suínos e aves na EMBRAPA-Suínos e Aves (Valores expressos em base de matéria natural).

Parâmetro analisado	Trigo ¹	Trigo 1% germinado ²	Trigo 14% germinado ²
Matéria seca %	88,45	88,45	86,99
Proteína bruta %	11,03	12,42	12,82
Extrato etéreo %	1,57	1,42	1,35
Fibra bruta %	2,91	2,96	3,20
Energia digestível suínos, Kcal/kg	3192	3541	3428
Energia metabolizável suínos, Kcal/kg	3137	3425	3318
Energia metabolizável aves, Kcal/kg	3181	2991	3041

Fonte: Lima (1996).

¹Cultivar, safra e percentual de grãos germinados desconhecidos.

²Cultivar EMBRAPA 16, safra 1995.

Segundo Brooker *et al.* (1992), em virtude das altas temperaturas de secagem desnaturarem as proteínas do milho e ainda conduzirem à gelatinização do amido, é esperado que ruminantes e não ruminantes reajam diferentemente a rações compostas por milho seco a altas temperaturas. Na Tabela 30 pode-se observar os efeitos das altas temperaturas de secagem (60 a 127°C) de milho e seus efeitos na performance de novilhos de engorda.

Tabela 30 - Efeito da temperatura do ar de secagem em milho e o seu valor nutritivo para ruminantes (novilhos de engorda) (21-24 % para 14% de umidade).

	Temperatura de secagem (°C)			
	60	82	104	127
Ganho médio diário (kg)	1,75	1,81	1,82	1,80
Consumo diário de milho (kg)	10,34	10,14	10,13	9,79
Conversão alimentar	5,93	5,61	5,57	5,47

Fonte: Overfield *et al.* (1976) *apud* Brooker *et al.* (1992).

O ganho de peso médio diário, consumo diário de alimento, e conversão alimentar dos novilhos de engorda não são significativamente diferentes para as quatro temperaturas estudadas.

Em trabalho realizado por Rivera *et al.*(1978), com não ruminantes (ratos), foi utilizado milho seco a várias temperaturas (Tabela 31), em estufa com ar forçado. As temperaturas foram de 25°C(secagem natural), 50°C (42 horas com umidade final de 7%), 50°C (10 horas), 75°C (4 horas), 100°C (3 horas) e 125°C (2,5 horas). As umidades finais do produto ficaram em torno de 11-12%, com exceção do milho seco a 50°C por 42 horas.

Tabela 31 - Efeito da temperatura do ar de secagem no valor nutritivo para não ruminantes (ratos), do milho seco de 28% para 11-12%.

	Temperaturas de secagem (°C)					
	25	50 ¹	50 ²	75	100	125
Ganho de peso total (g)	45,2	28,1	40,1	37,9	28,9	9,4
Consumo de ração (g)	202	228	267	272	257	195
Conversão alimentar	4,47	8,11	6,66	7,18	8,89	20,74

Fonte: Rivera *et al.* (1978).

¹50°C (42 horas - umidade final 7%).

²50°C (10 horas - umidade final 11-12%).

Fica evidente que a eficiência alimentar e por conseguinte o valor nutritivo do milho foi afetado com temperaturas a partir de 50°C.

Jensen *et al.* (1960), utilizou um secador portátil de lote (capacidade de 13,21 m³ e fornalha a gás propano), para secar milho e confeccionar rações a serem utilizadas em quatro experimentos envolvendo 48 suínos com 2 semanas de idade e 48 suínos em crescimento e terminação. Na Tabela 32 pode-se observar as temperaturas, as umidades (inicial e final) e o tempo de secagem.

Tabela 32 - Temperatura, umidade e tempo de exposição na secagem artificial de milho.

Temperatura do ar de secagem, °C	Umidade inicial, %	Umidade final, %	Tempo de exposição a secagem artificial
60,0	21,1	11,5	2 horas 30 minutos
82,2	21,7	12,5	1 hora 27 minutos
104,4	21,3	12,6	0 hora 55 minutos

Fonte: Jensen *et al.* (1960).

Os resultados dos diversos tratamentos em relação ao ganho médio e eficiência alimentar não apresentaram diferenças significativas.

Semelhantes resultados obtiveram Nordstrom *et al.* (1971), quando utilizaram um secador de fluxo contínuo, com temperaturas variando de 49,82 e 116°C, com o milho contendo 22% de umidade inicial e sendo secado até 12% de umidade final. No trabalho foram utilizados suínos recém desmamados e ratos. Os mesmos autores secaram pequenos lotes de milho Opaco-2 em camadas finas (1 grão de espessura), em uma estufa de ar forçado com temperaturas de 49, 116 e 182°C. No milho seco a 182°C foi marcante o escurecimento dos grãos bem como o cheiro de queimado. Ganhos médios de peso em ratos recém desmamados com dietas de milho (95%) não contendo adição suplementar de proteína e após 28 dias foram 4,7; 4,7 e 2,0 g/dia para o milho seco a 49, 116 e 182°C, respectivamente. Adicionando-se 0,3% de L-Lisina na dieta baseada em milho seco a 182°C, resulta em significativos ($P < 0.01$) incrementos no ganho (3,3 g.dia⁻¹). Este ganho no entanto é significativamente mais baixo do que os ganhos do milho seco a temperaturas mais baixas (49

e 116°C), indicando com isto que outros nutrientes em adição a lisina são danificados quando o milho Opaco-2 é seco a 182°C.

Pickett *et al.* (1963), estudou a secagem acelerada em milho utilizando um secador experimental (secador rotativo de tambor), com 15,24 cm de diâmetro e 304,8 cm de comprimento, sendo que os dados experimentais na secagem podem ser observados na Tabela 33.

Tabela 33 - Temperatura do ar, temperatura do grão, umidade e tempo de secagem do milho.

Temperatura do ar (°C)	Temperatura do grão (°C)		Umidade (%)		Tempo de secagem (min)	Umidade do grão usado nos ensaios (%)
	Inicial	Final	Inicial	Final		
260	8,3	101,7	21,8	16,7 ¹	5,85	11,5
371	8,3	110,0	21,5	17,3 ¹	3,38	11,1
482	14,2	133,3	22,0	15,8 ¹	2,45	10,3

Fonte: Pickett *et al.* (1963).

¹A secagem foi completada, para uma armazenagem segura, através de ar ambiente forçado em um silo de pequeno porte.

Foram realizados ensaios durante 30 dias com suínos jovens, sendo que o milho foi utilizado na quantidade de 53% da ração. Na Tabela 34 pode-se observar os resultados dos ensaios.

Tabela 34 - Sumário dos resultados de alimentação de suínos jovens com milho exposto a altas temperaturas.

	Temperaturas de secagem (°C)			
	260	371	482	Controle ¹
Média de peso inicial (kg)	4,81	4,99	4,85	4,35
Ganho médio diário (kg)	0,299	0,299	0,295	0,299
Ganho por kg de alimento (kg)	0,60	0,60	0,58	0,59
Consumo médio diário de alimento (kg)	0,499	0,499	0,512	0,508

Fonte: Pickett *et al.* (1963).

¹Secagem natural a campo.

Os resultados dos ensaios de nutrição indicam que não houve um decréscimo no valor nutritivo do milho durante a exposição a altas temperaturas. As diferenças dos tratamentos com a temperatura no ganho médio diário, ganho por kg de alimento e consumo médio diário de alimento não foram estatisticamente significativos.

3.8. Estudos da Granulometria de Rações

Segundo Zanotto & Bellaver (1996), o tamanho das partículas dos ingredientes destinados à fabricação de rações pode influenciar na digestibilidade dos nutrientes e, como consequência na maximização de resposta pelo animal. Além disso, o tamanho das partículas está muito relacionado com o consumo de energia elétrica dos equipamentos para obtê-las, bem como ao rendimento da moagem. O procedimento utilizado para caracterizar o tamanho das partículas chama-se granulometria. Esse procedimento consiste no peneiramento de uma amostra do ingrediente em questão, gerando informações que possibilitam as determinações do Módulo de Finura (MF), do Índice de Uniformidade (IU) e do Diâmetro Geométrico Médio (DGM) das partículas, os quais podem ser definidos:

- MF é representado por um índice que pode assumir qualquer valor compreendido entre zero e seis e correlaciona-se positivamente com o aumento do tamanho das partículas do ingrediente;
- IU indica a proporção relativa entre partículas grossas, médias e finas, que são definidas segundo os diâmetros: maior que 2 mm, entre 2 e 0,6 mm, e menor que 0,6 mm, respectivamente;
- DGM representa o diâmetro geométrico médio das partículas do ingrediente moído, e possibilita correlacionar a granulometria do ingrediente à digestibilidade dos nutrientes, à resposta animal e ao rendimento de moagem.

A exata necessidade de energia para um determinado tratamento de moagem é difícil de ser determinada. O tipo de material, o conteúdo de umidade, grau de finura na moagem, velocidade de alimentação, tipo e condição¹³ do moinho, etc., afetam a necessidade de energia

¹³ O desgaste com o uso do equipamento, principalmente das peças móveis (martelos), altera a granulometria das rações produzidas e consequentemente a energia requerida.

na moagem (Hansen & Stewart, 1965 e Henderson & Perry, 1982). Normalmente os materiais mais fibrosos, como por exemplo a cevada, requerem maior potência do que outros (milho), para a moagem, grãos úmidos são também mais difíceis de moer do que os grãos secos.

Na Tabela 35, observa-se dados de energia específica requerida para milho em virtude da utilização de peneiras com furos de vários diâmetros.

Tabela 35 - Dados para a determinação da energia específica.

Diâmetro dos furos da peneira (mm)	Alimentação do moinho (t/h)	Energia específica hp/h/t	Módulo de grandeza K ¹ (mm)
3,175	0,42	4,75	1,397
6,350	0,68	3,22	1,829
9,525	0,80	2,49	2,032
12,700	1,03	1,61	3,302
sem peneira	2,56	0,64	6,223

Fonte: Hansen & Henderson (1966).

¹O módulo de grandeza K, é representado pelo menor diâmetro de peneira onde, provavelmente, 100% do produto moído teoricamente passa.

Henderson (1961), trabalhando com cevada (10,1% de umidade), e utilizando um moinho de martelos com quatro diferentes diâmetros de furos das peneiras, determinou alguns parâmetros que podem ser observados na Tabela 36.

Tabela 36 - Capacidade e finura do grão moído.

Número do teste	Diâmetro dos furos da peneira (mm)	Taxa de moagem (kg/h)	Relações energéticas		Módulo de finura MF	Tamanho médio das partículas (mm)
			kg/hp/h	kg/h/t		
1	19,05	304,81	277,14	3,28	4,59	2,51
2	19,05	296,65	269,88	3,36	4,56	2,46
3	9,52	214,09	194,59	4,66	4,23	1,95
4	9,52	214,09	194,59	4,64	4,31	2,05
5	6,35	141,52	128,82	7,04	3,85	1,50
6	6,35	127,91	195,05	7,82	3,93	1,59
7	3,17	48,99	44,45	20,40	3,14	0,91
8	3,17	50,35	45,82	19,80	3,13	0,91
Grão inteiro					4,98	3,30

Fonte: Henderson (1961).

Na literatura encontram-se vários trabalhos conduzidos com a finalidade de determinar a influência da granulometria dos grãos no desempenho animal (Mitchell *et al.*, 1972; Wondra *et al.*, 1995a; Wondra *et al.*, 1995b; Wondra *et al.*, 1995c; Zanotto *et al.*, 1995 e Zanotto *et al.*, 1996).

Zanotto *et al.* (1996), trabalhando com 128 suínos mestiços (Landrace X Large White) e milho com Módulo de Finura (MF) de 2,29; 2,63; 2,94 e 3,30 e Diâmetro Geométrico Médio (DGM) de 509; 645; 799 e 1026 μm , concluiu que:

- O MF e o DGM das partículas, como variáveis que caracterizam a granulometria, podem ser utilizados para explicar o comportamento do consumo de ração e da conversão alimentar dos suínos em função das diferentes granulometrias do milho.
- O melhor desempenho dos suínos foi obtido quando o milho moído apresentou MF variando de 2,29 a 2,63 ou DGM das partículas compreendido entre 509 e 645 μm .

Em um estudo da granulometria do milho em dietas de lactação (1200 a 400 μm), Wondra *et al.* (1995c) concluiu que o tamanho ótimo de partícula de milho que maximiza o consumo de nutrientes e ganho de peso em leitões, oriundos de leitegadas de porcas primíparas, é em torno de 400 μm . A maximização do consumo de nutrientes em porcas em lactação tem sido uma tarefa desafiadora, até aqui produzindo grandes benefícios para a performance tanto das porcas como das leitegadas. Pela redução do tamanho de partícula do milho de 1200 para 400 μm , a digestibilidade aparente dos nutrientes é aumentada e os ganhos na digestibilidade da matéria seca, nitrogênio, e energia bruta são aumentadas em 11, 14, e 14%, respectivamente, resultando em um aumento de 11% no ganho de peso da leitegada. Da mesma forma, ocorre uma redução entre 21 a 31% na excreção fecal da matéria seca e nitrogênio o que tem contribuído para que a indústria suína polua menos o ambiente. Entretanto, mudanças negativas na morfologia estomacal limita a possibilidade de expandir a redução do tamanho das partículas, e essa está relacionada à pré-disposição genética à úlceras, condições ambientais, e condições de estresse a que são submetidas as porcas.

Em frangos de corte, Nir *et al.* (1994) *apud* Penz & Maiorka (1996), trabalharam com dietas à base de milho, trigo ou sorgo, onde os grãos foram moídos em moinho de martelo e as partículas foram separadas em finas (DGM de 0,57 a 0,67 mm), médias (DGM de 1,13 a 1,23 mm) e grossas (DGM de 2,01 a 2,10 mm). Os frangos foram alimentados de 1 a 21 dias

de idade com as dietas. No período de 1 a 7 dias, os autores não observaram qualquer diferença de desempenho nos animais. Entretanto, no período de 7 a 21 dias houve diferenças ($P < 0,01$). Frangos alimentados com partículas finas, independente do cereal utilizado, tiveram menor consumo de ração, menor ganho de peso e pior eficiência alimentar (Tabela 37).

Tabela 37 - Efeito do tamanho das partículas dos cereais no desempenho de frangos de corte.

Parâmetros	Textura		
	Fina	Média	Grossa
DGM (mm)	0,57-0,67	1,13-1,23	2,01-2,10
Peso (7dias) (g)	127	131	126
Consumo de ração (7dias) (g)	106	106	111
Eficiência alimentar (g/g)	0,679	0,670	0,659
Ganho peso (7-21 dias) (g)	357b	427a	401a
Consumo de ração (7-21 dias) (g)	591b	662a	645a
Eficiência alimentar (g/g)	0,604b	0,642a	0,622ab

Fonte: Adaptado de Nir *et al.* (1994) *apud* Penz & Maiorka (1996).

4.MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento da fase experimental deste trabalho foi realizado no Laboratório de Secagem do Departamento de Pré-Processamento de Produtos Agropecuários-DPPPA da Faculdade de Engenharia Agrícola-FEAGRI, Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP/SP, durante o mês de março de 1997 e no Laboratório de Ensino Zootécnico-LEZO, do Departamento de Zootecnia da Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS/RS, durante o mês de junho de 1997.

4.1.Produto

Foram utilizados 165 kg de semente genética de trigo duro (*Triticum durum* L.), da variedade IAC1002, de um lote total de 450 kg armazenados, provenientes do Sistema de Produção de Sementes do Instituto Agrônomo de Campinas-IAC (Fazenda Santa Elisa) em Campinas/SP. O trigo foi plantado no dia 02 e 03.04.96 com uma semeadeira marca Baldan, modelo SPD^{F/A}-1600 de plantio direto, e espaçamento entre linhas de 17 cm, em área total de 2,8 ha e colhido com uma colheitadeira marca Wintersteiger, modelo Nurserymaster (Figura 8), no dia 07 e 08.08.96 com umidade de 25 % em área aproximada de 1167 m² (correspondendo a 4,17 % da área total). Na Tabela 38, observa-se alguns dados referentes a condução da lavoura.

Após colhido, o produto foi limpo em máquina de pré-limpeza e classificado em mesa de gravidade do Sistema de Produção de Sementes do IAC, e imediatamente espalhado sobre lona com camada de ± 6 cm de espessura em um depósito de sementes com a finalidade de atingir a umidade de 20 ± 1 %. O trigo foi revolvido uma vez ao dia sempre no período da tarde. Na Tabela 39 pode-se observar a metodologia empregada para o controle da diminuição de umidade do trigo exposto à secagem à sombra, em depósito, com a finalidade de atingir a umidade desejada.



Figura 8 - Colheitadeira marca Wintersteiger em operação na lavoura de trigo.

Tabela 38 - Principais insumos utilizados na lavoura de trigo duro e produtividade média por hectare.

Item	Quantidade por hectare (kg)
Semente	285
Calcário ¹	3000
Adubo	
Fórmula (4-14-18) ²	400
Fórmula (21-0-0) ³	380
Produtividade média ⁴	3857

¹O calcário foi aplicado no ano de 1994.

²O adubo NPK foi aplicado em uma única dose durante a semeadura.

³A adubação nitrogenada (Sulfato de Amônio) foi aplicada em duas doses, uma na semeadura e outra em cobertura 35 dias após a emergência das plantas, nas quantidades de 100 e 280 kg/ha respectivamente.

⁴Umidade final média de 11,4 % bu, germinação média 79 % e peso do hectolitro médio de 78,8 kg/hl.

Tabela 39 - Metodologia de verificação da evolução da secagem do trigo em depósito a sombra.

Dia	Umidade em base úmida (%)	
	Método indireto ¹	Método direto ²
8/8/96	25,0	-
9/8/96	24,0	-
10/8/96	22,0	-
11/8/96	22,0	20,425

¹Medidor marca Universal da GEHAKA.

²Estufa a 105 °C por 24 horas (BRASIL, 1992).

No dia 12.08.96 pela manhã, o trigo foi embalado em sacos de polietileno de baixa densidade (PEBD)¹⁴, com 40x60 cm (largura X comprimento) e 200 µm de espessura por parede, na quantidade de 7500 ± 50 g, e foi armazenado em condições de temperatura e umidade relativa controladas em câmara fria do Instituto de Tecnologia de Alimentos-ITAL em Campinas/SP. Os dados relativos à câmara fria podem ser observados no Apêndice A e a disposição das embalagens em caixas de madeira contendo dois sacos na Figura 9. Para determinar o período máximo de armazenagem em função da temperatura a ser empregada no produto na câmara fria em virtude da umidade elevada (20,425 %), utilizou-se a equação descrita por Sinício & Muir (1996):

$$\theta_{max} = 10^{(a+bM_w+cT_c)}$$

Onde:

θ_{max} : período máximo para uma armazenagem segura ao verificar-se 5% de grãos germinados ou desenvolvimento visível de fungos, dias.

a, b e c: coeficientes que dependem da umidade do trigo.

T_c : Temperatura do grão, °C.

M_w : conteúdo de umidade do grão, %.

¹⁴ Segundo Garcia *et al.*(1989), o PEBD com 200 µm de espessura por parede é classificado como altíssima barreira ao vapor de água e altamente permeável a gases (O₂, CO₂ e N₂).



Figura 9 - Disposição das embalagens nas caixas e na câmara fria.

Foram realizadas cinco determinações de temperatura da massa de grãos (dias 02.09.1996, 30.09.1996, 28.10.1996, 02.12.1996 e 17.02.1997), sorteando-se duas embalagens por determinação, sendo também verificado visualmente a existência de grãos germinados e o desenvolvimento de fungos.

4.2. Secador Experimental

Foi construído um protótipo de secador intermitente de fluxos cruzados (Figura 10), com capacidade de $0,0182 \text{ m}^3$ na câmara de secagem (aproximadamente 13,5 kg de produto) e igual capacidade na câmara de igualação. O equipamento foi fabricado em chapas galvanizadas número 20 e após a montagem recebeu pintura com esmalte sintético automotivo.

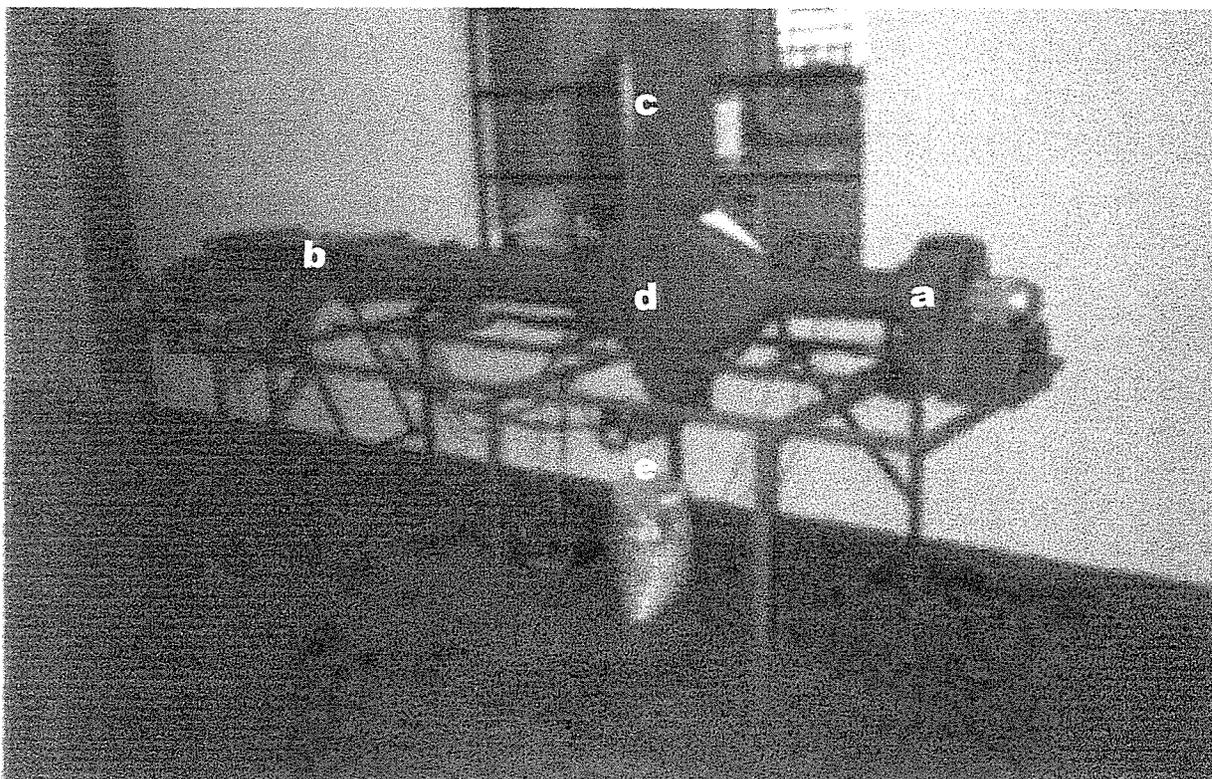


Figura 10 - Vista geral do protótipo de secador: a) ventilador centrífugo, b) conjunto de resistências elétricas, c) câmara de repouso, d) câmara de secagem e e) caracol de descarga.

Na Figura 11, pode-se observar o croqui do protótipo de secador com as respectivas medidas.

As dimensões da câmara de igualação e de secagem são:

- Altura de 540 e 500 mm respectivamente;
- Largura de 260 mm;
- Espessura de 140 mm.

Segundo Lasseran (1981), deve-se evitar ao máximo os acidentes que provocam perdas de carga inúteis: curvas de pequenos raios de curvatura, mudanças bruscas de seções, convergente e divergente de ângulos muito grandes, etc. Em particular os difusores devem apresentar um ângulo de divergência tão próximo possível de 7 graus. Em virtude do divergente e convergente no presente estudo terem sido moldados em peças únicas, através do uso de uma dobradeira, apresentam ângulos de 26,8 e 30,4 graus respectivamente.

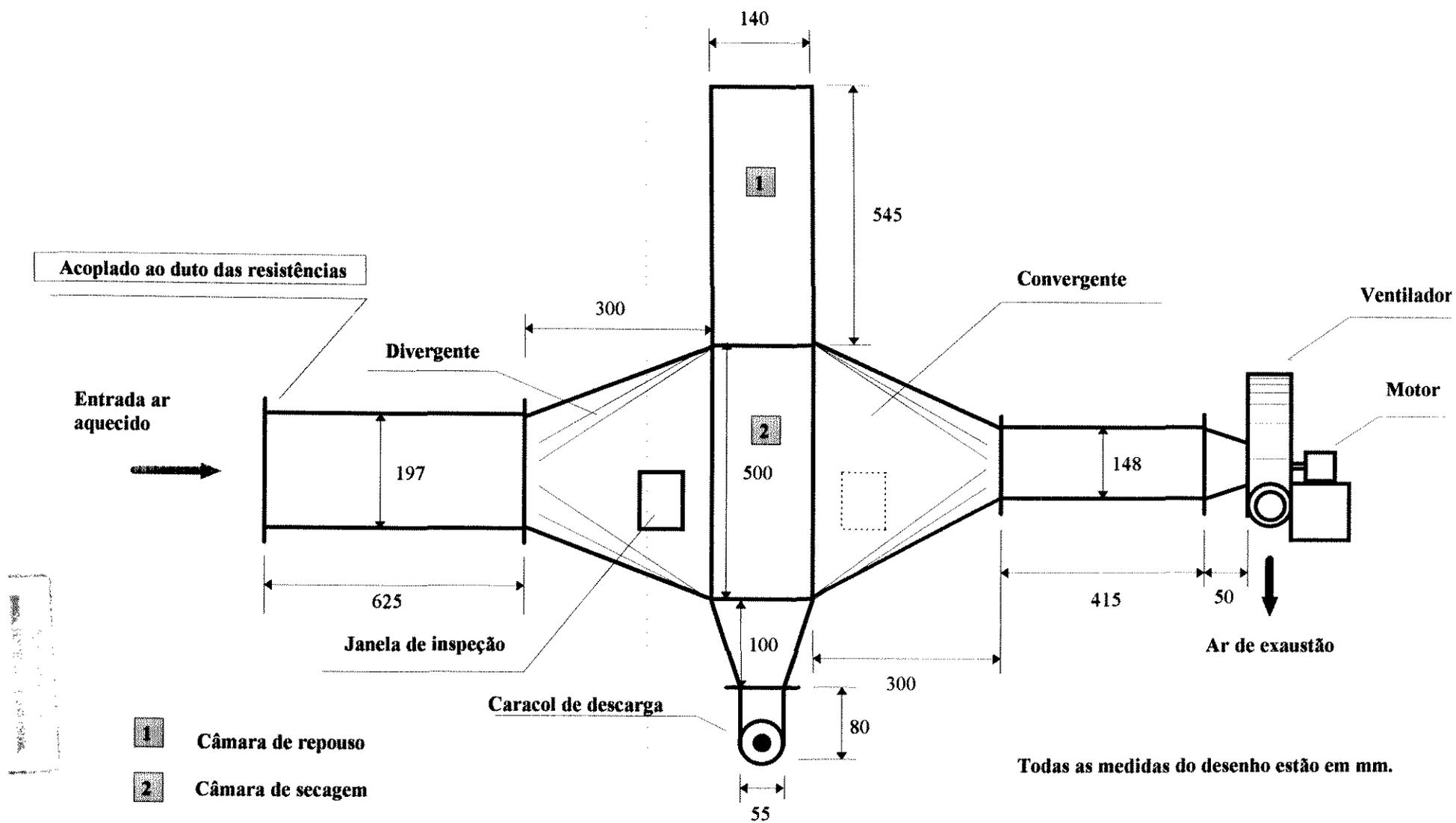


Figura 11 - Croqui do protótipo de secador intermitente.

4.2.1. Descarga do Produto no Secador Experimental

A tremonha de descarga do secador experimental foi construída de forma a produzir fluxo de massa durante as operações de descarga (ângulo das paredes $>60^\circ$), com a finalidade de uma melhor homogeneização dos grãos. A descarga foi realizada através de um pequeno caracol acoplado a um motor elétrico com as seguintes especificações:

- Vazão do trigo com 19,9% de umidade e PH de 72,5: $4,11 \text{ kg} \cdot \text{min}^{-1}$.
- Rotações por minuto do caracol: 65 rpm.
- Motor elétrico: fabricante WAPSA, modelo BHO 24 V.
- 1 Transformador de voltagem (110 para 24 V) e de corrente (alternada para contínua) fabricado pela INSTRUTHERM.

4.2.2. Sistema de Circulação e Aquecimento de Ar

O sistema de circulação e aquecimento de ar é composto por um ventilador, dez resistências elétricas (1000 W de potência cada), um quadro de comando e dutos, conforme especificado abaixo:

Ventilador- centrífugo com pás voltadas para trás, conjugado a um motor elétrico trifásico de 0,16 CV de potência e com rotação de 1750 rpm, que funciona succionando o ar de secagem.

Aquecimento do ar (Figura 12) - composto por um conjunto de dez resistências elétricas tubulares aletadas em ferro zincado ($\frac{1}{2}$ ").

- Comprimento aletado 255 mm.
- Largura 53 mm.
- Comprimento total 345 mm.
- Potência 1000 W.
- Tensão 220 V.
- Corrente 4,55 A.

Quadro de comando- o croqui do quadro de comando pode ser observado na Figura 12, sendo composto de:

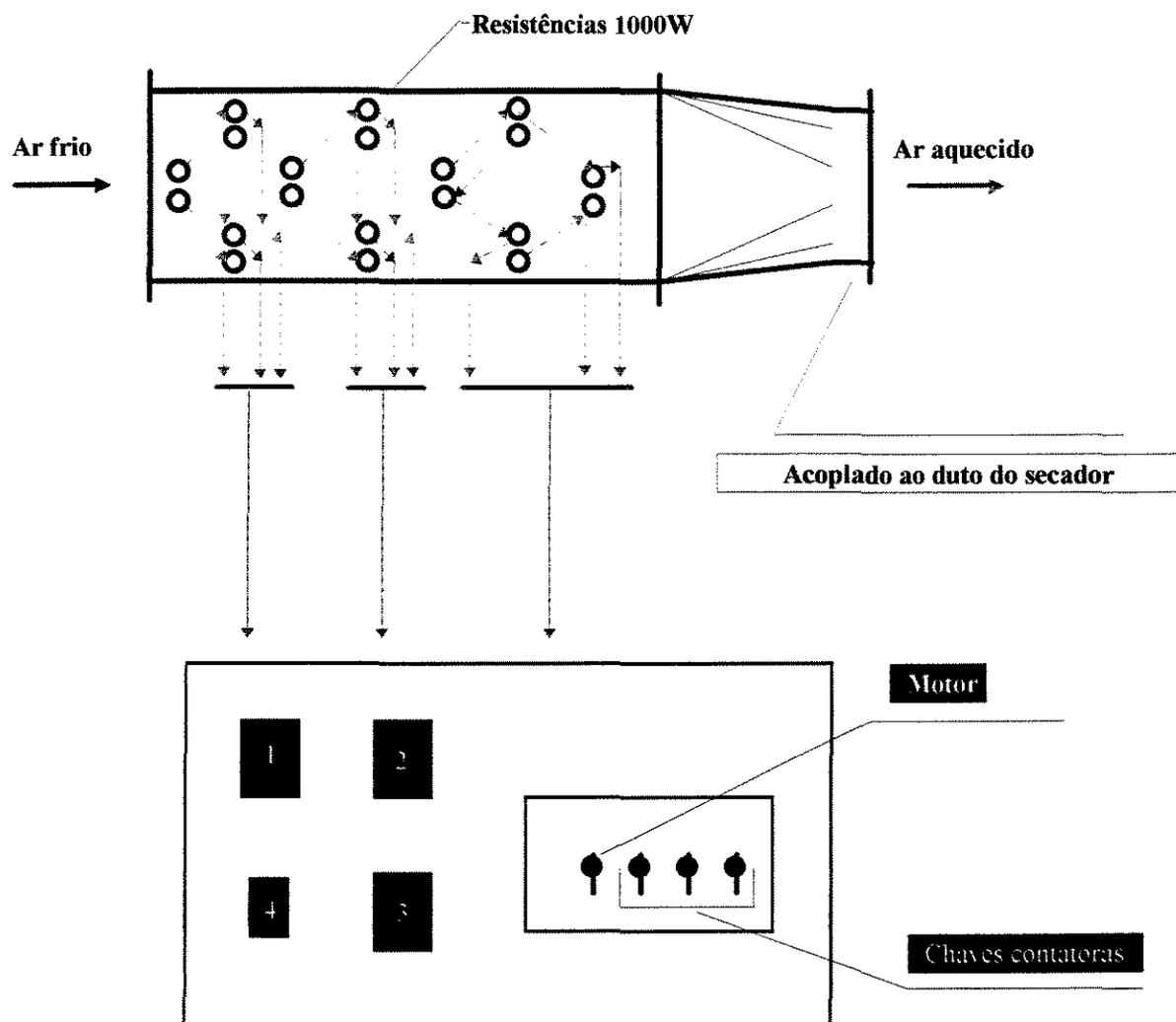
- 3 chaves contadoras de 220 V, 60 Hz e 25 A, sendo duas ligadas a três resistências e uma ligada a quatro resistências.
- 2 blocos aditivos temporizadores conectados a duas das chaves contadoras¹⁵ das resistências.
- 1 chave contadora de 220 V, 60 Hz e 9 A, ligada ao motor elétrico.
- 4 comutadores de manopla longa (chave liga/desliga), três para as resistências elétricas e uma para o motor.

Controle de Temperatura do Plenum (ar de secagem)- Foi realizada por um controlador e indicador digital de temperatura Modelo EWTQ da ROBERTSHAW, com as seguintes especificações:

- Dimensões: frontal de 48 X 48 mm, profundidade de 115 mm.
- Display*: digital de 7,5 mm (3 ½ dígitos).
- Entrada: termopar tipo J (ferro-constantan), com proteção externa em inox 316, ϕ 3 X 150 mm, com pote liso de inox e rabicho de 2000 mm em fibra + trança.
- Resolução: 1°C sem ponto decimal; 0,1°C com ponto decimal.
- Escala: -50 a 800°C (J).
- Precisão: $\pm 1,5\%$ do fundo de escala para termopares.
- Alimentação: 110/220 V $\pm 10\%$, selecionável através de *jump* interno.

Dutos e difusores- foram construídos em chapas galvanizadas número 20.

¹⁵ Os blocos aditivos temporizadores foram programados para ligar as chaves contadoras com um intervalo de 15 s, com a finalidade de evitar sobrecarga na rede elétrica.



- 4** Chave contatora ligada ao motor do ventilador.
- 1** Chave contatora ligada a três resistências.
- 2** Chave contatora + bloco aditivo temporizador, ligada a três resistências.
- 3** Chave contatora + bloco aditivo temporizador, ligada a quatro resistências.
- Comutadores de manopla.

Figura 12 - Croqui representando a distribuição das resistências nos dutos e o quadro de comando

4.3. Aquisição de Dados de Temperatura

Os dados de temperatura do ar de secagem e da massa de grãos foram obtidos, com intervalo de 15s, através de um sistema composto de:

-1 *data logger* da Cole-Parmer modelo PCA-48 (Figura 13).

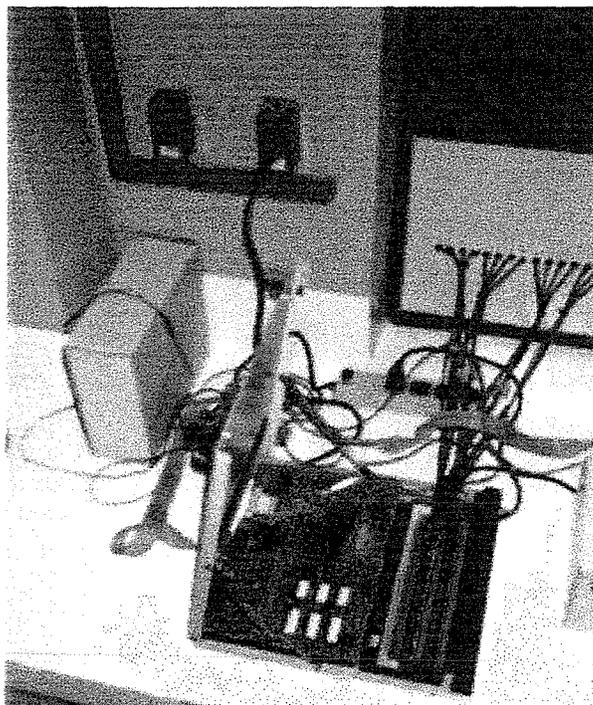


Figura 13 - Sistema de aquisição de dados (*data logger*).

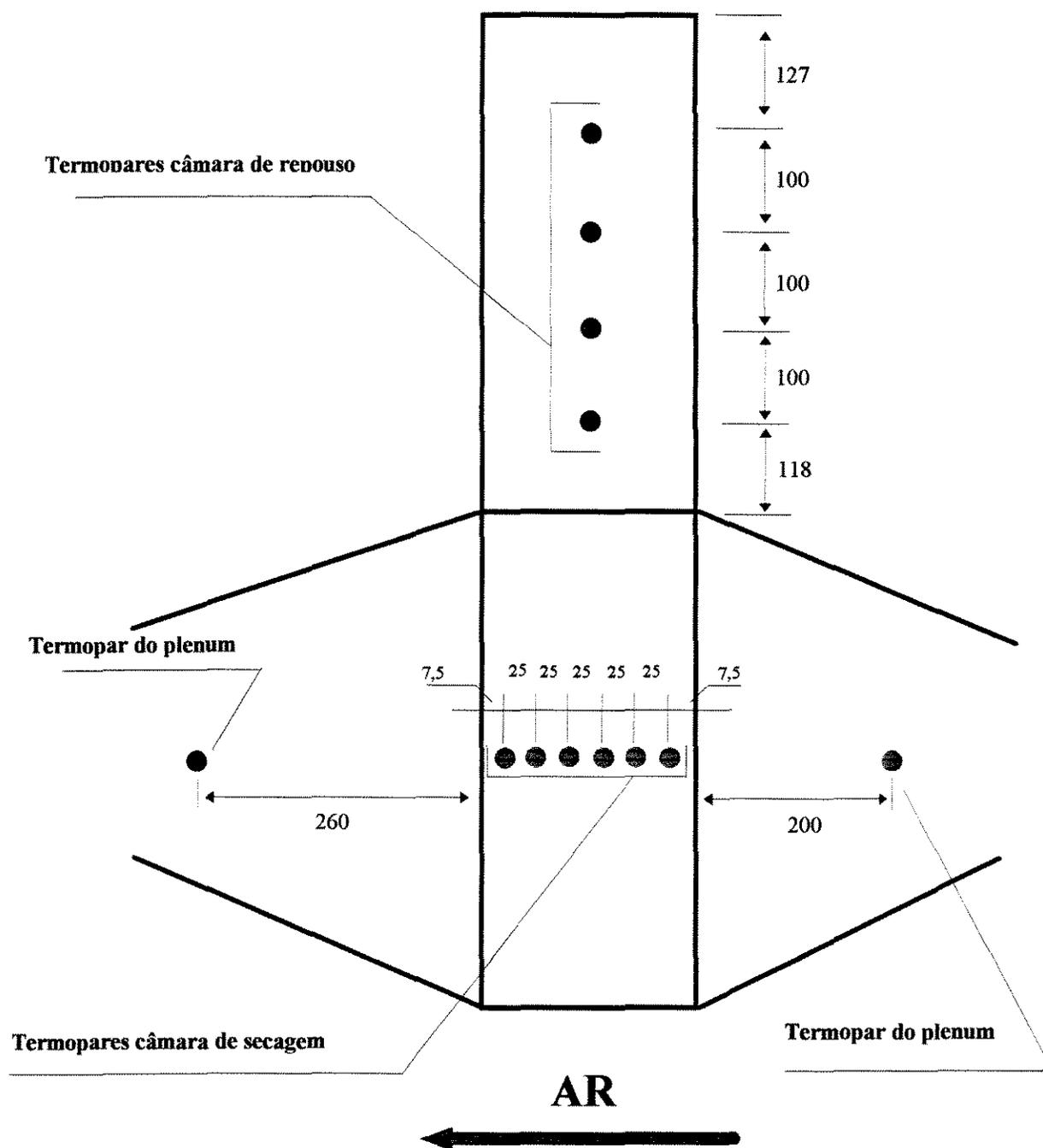
-1 microcomputador PC AT 386.

-1 *software* gráfico (Insta-Trend).

-16 termopares cobre-constantan (tipo T), com proteção externa inox 316 diâmetro 3 mm, com pote liso inox e rabicho de 5000 mm em PVC PVC e buçim ajustável inox 1/8" BSP, sendo 6 unidades com 130 mm, 5 com 90 mm e 5 com 70 mm de comprimento.

A disposição dos termopares pode ser observada na Figura 14 (12 termopares), os demais foram colocados da seguinte maneira: dois na entrada do ar ambiente para o secador (temperatura de bulbo seco e úmido), um medindo a temperatura dos grãos na descarga do

secador e outro controlando a temperatura do ar no laboratório, com a finalidade de uniformizar as leituras de umidade com o determinador elétrico.



Todas as medidas estão em mm.

Figura 14 - Croqui da disposição dos termopares no protótipo de secador intermitente.

4.4.Velocidade do Ar

A velocidade do ar de secagem foi medida com o uso de um anemômetro de pás da AIRFLOW DEVELOPMENTS LIMITED, na saída do ventilador com leituras a cada entrada do produto na câmara de secagem, sendo as especificações do equipamento como segue:

- Modelo AIRFLOW LCA 6000.
- Faixa de medição de 0,25 à 30 m/s.
- Precisão de 5 a 30 m/s, $\pm 2\%$ da leitura e de 0,25 à 4,99 m/s, $\pm 0,1$ m/s.
- Resolução de 0,01 m/s.
- Alimentação com bateria de 9 V.
- Peso (sem bateria) de 280g.

4.5.Determinação da Umidade do Grão Durante a Secagem

Durante a operação de secagem do trigo a umidade foi determinada com medidor modelo GEOLE 400 da GEHAKA, que fornece diretamente a umidade dos grãos em porcentagem (%), sendo os resultados lidos em um dial, após algumas operações simples e rápidas. As especificações técnicas do equipamento são as seguintes:

- Peso de 5,5 kg.
- Dimensões: altura 300 mm.
profundidade 170 mm.
largura 250 mm.
- Alimentação com bateria de 9 V.
- Temperatura de referência de 26°C.

Como o equipamento mede a umidade de maneira indireta, efetuou-se a calibração do mesmo com o método oficial em estufa (Brasil, 1992). Foi realizada uma secagem no protótipo de secador intermitente a 100°C de temperatura no plenum e com tempo de residência na câmara de secagem de 10 minutos. No início da operação e a cada vez que o

produto saia da câmara de secagem foi retirada uma amostra¹⁶ para determinar a umidade no medidor e após era ensacada para posterior determinação em estufa. Foi também ajustada uma equação para estimar a umidade pelo método padrão em estufa a partir dos dados obtidos com o determinador GEOLE 400 (Figura 15).

Na Tabela 40 pode-se observar os dados referentes as determinações de umidade no medidor GEOLE 400, pelo método padrão em estufa, a umidade estimada e o erro padrão.

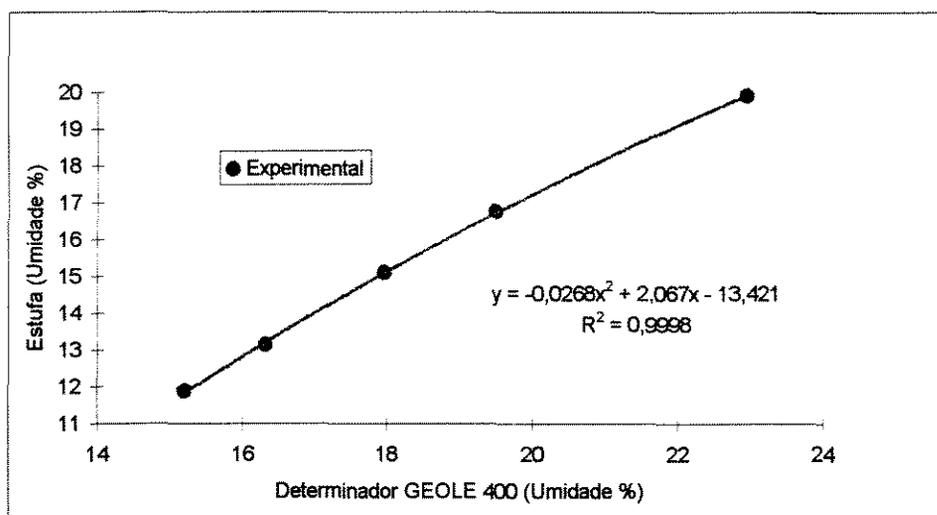


Figura 15 - Relação entre a umidade dos grãos determinada pelo método padrão em estufa e determinador GEOLE 400, e o polinômio de segundo grau que ajusta os dados.

Durante os testes de secagem na fase experimental, foi adotado o mesmo procedimento quando da calibração do medidor elétrico com o método padrão em estufa, ou seja, determinações de umidade no início da secagem (antes do produto entrar no secador) e a cada vez que o grão deixava a câmara de secagem, até atingir-se a umidade final desejada.

¹⁶ A umidade dos grãos determinada através do medidor (calibração e fase experimental), sempre foi realizada após 17 minutos entre a amostragem e a entrada no aparelho (média de duas determinações), este procedimento foi adotado uma vez que a temperatura dos grãos da amostra necessitava ser diminuída ficando com isto próxima a temperatura de referência do equipamento (26°C), para tanto o Laboratório foi mantido a temperatura de 26 ± 1°C.

Tabela 40 - Umidade dos grãos determinada em medidor GEOLE 400, método padrão em estufa, a estimada pelo polinômio de segundo grau e o erro padrão.

Tempo de secagem (min)	Umidade GEOLE 400 Experimental (%)	Umidade estufa Experimental (%)	Umidade Estimada $Y=-0,268X^2+2,067x-13,421$	Erro padrão (%)
0	22,950	19,91	19,90	0,448
0-10	19,500	16,75	16,69	1,199
10-60	-	-	-	-
60-70	17,975	15,08	15,10	0,515
70-120	-	-	-	-
120-130	16,325	13,12	13,20	1,349
130-180	-	-	-	-
180-190	15,200	11,86	11,80	1,426
Σ				4,937 ¹

¹Em engenharia é aceita uma precisão de 5%.

O erro padrão foi determinado a partir da equação (Madamba *et al.*, 1994):

$$\sigma = \sum \frac{\sqrt{\frac{|U_{exp} - U_{est}|}{U_{est}}}}{n} * 100$$

Onde:

σ : Erro padrão, %

U_{exp} : Valor da umidade determinada experimentalmente, %.

U_{est} : Valor da umidade estimada pela equação, %.

n: Número de observações.

Todos os dados de umidade obtidos durante a secagem do trigo foram determinados com o medidor GEOLE 400 e após convertidos através da equação de ajuste em umidade determinada pelo método padrão em estufa, válido para todos os dados constantes nas Figuras e Tabelas desta dissertação.

4.6. Controle da Operação de Secagem

4.6.1. Secagem Artificial

Foram realizadas uma ou duas secagens por dia no período compreendido entre 5:42 e 16:00 h, sendo o produto retirado da câmara fria do ITAL e deixado a temperatura ambiente no mínimo 12 horas antes do início das operações. O trigo permaneceu na câmara de secagem 5 ou 10 minutos (em virtude do tempo de residência), e na câmara de descanso 25 ou 50 minutos, o que conferiu uma relação de intermitência (aquecimento/sem aquecimento) de 1:5.

Na Figura 16 pode-se observar esquematicamente o desenvolvimento do processo.



Figura 16 - Esquema de funcionamento do processo de secagem, a)5:25 e b)10:50

4.6.2. Secagem ao Sol

O trigo (30 kg) foi seco sobre lona plástica em piso de concreto ao sol, com uma camada de $\pm 0,5$ cm de espessura e em uma área de aproximadamente $4,76 \text{ m}^2$.

4.7. Tratamentos de Secagem do Produto

O trigo utilizado em todos os tratamentos foi da variedade IAC1002.

O experimento foi dividido em sete tratamentos assim caracterizados:

- 12010 = trigo seco a 120°C com tempo de residência na câmara de secagem de 10 minutos.
- 10010 = trigo seco a 100°C com tempo de residência na câmara de secagem de 10 minutos.
- 8010 = trigo seco a 80°C com tempo de residência na câmara de secagem de 10 minutos.
- 12005 = trigo seco a 120°C com tempo de residência na câmara de secagem de 5 minutos.
- 10005 = trigo seco a 100°C com tempo de residência na câmara de secagem de 5 minutos.
- 8005 = trigo seco a 80°C com tempo de residência na câmara de secagem de 5 minutos.
- Solar = trigo seco sobre lona ao sol.

O trigo utilizado na secagem apresentou uma umidade média inicial de 20,11% e um coeficiente de variação (CV) de 1,28%, e a umidade final apresentou média de 10,86% e CV de 4,32%.

Antes do trigo ser retirado do secador, e após ter sido alcançada a umidade final desejada, a fonte de aquecimento foi desligada e procedeu-se o resfriamento do produto até que toda a massa de grãos ficasse no máximo 2°C acima da temperatura ambiente.

4.7.1. Tratamento dos Dados de Secagem

- Comportamento do Teor de Água no Trigo Durante a Secagem

Foi determinado através do comportamento de retirada de água em base úmida (%) em função do tempo de secagem (min), para isto, utilizou-se o *software* EXCEL 7.0 para WINDOWS 95, sendo os dados experimentais ajustados pelo programa a uma equação de predição, para o presente trabalho obteve-se os melhores ajustes com polinômios de segundo grau ou equações exponenciais para as secagens artificiais, e equação de primeiro grau para a secagem ao sol.

- Rendimento Térmico

Foi determinado através da equação descrita por Puzzi (1986):

$$\text{Rendimento}(\%) = \frac{T_e - T_s}{T_e - T_a} * 100$$

onde:

Ta = Temperatura de ar ambiente;

Te = Temperatura do ar quente na entrada da câmara de secagem;

Ts = Temperatura do ar secante na saída do secador.

- Consumo Específico de Calor Experimental

O consumo específico de calor experimental foi determinado em função da definição de Nellist (1982), através do *software* PSIPROC desenvolvido por Biagi & Silva (1990), que é um modelo psicrométrico para simular os processos de aquecimento, resfriamento, umidificação adiabática do ar e mistura de dois ares.

Como dados de entrada do programa para cada fase experimental foram utilizados a pressão barométrica local em mmHg (700,05), as temperaturas do ar ambiente de bulbo seco e úmido em graus centígrados, a temperatura do ar aquecido medida no divergente em graus centígrados, a temperatura de ar de saída medida no convergente (temperatura após a passagem do ar pela camada de grãos) em graus centígrados, e a vazão de ar em $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Os dados utilizados no programa foram as médias obtidas durante os tempos de residência (5 ou 10 min), em que o produto permaneceu exposto ao ar de secagem.

- Determinação da relação hfg^*/hfg

A relação hfg^*/hfg foi determinada em função da seguinte expressão:

$$\frac{hfg^*}{hfg} = \frac{CEC_{EXP}}{CEC_{H_2O}}$$

onde:

hfg^*/hfg = relação entre o consumo específico de calor experimental dos grãos e consumo específico de calor da água livre.

CEC_{EXP} = Consumo específico de calor experimental, $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ de água evaporada;

CEC_{H_2O} = Consumo específico de calor da água livre, $2,45 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ de água evaporada.

4.8. Caracterização da Matéria-Prima para Uso Industrial

4.8.1. Moagem Experimental

Foi realizada em moinho experimental de rolos da marca Buhler do ITAL em Campinas (dados Apêndice B), pesando a amostra 5,6 kg.

4.8.2. Análises do Trigo

- Umidade (%)

Foi determinada de acordo com as normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz (1985).

- Cinzas (%) e Lipídios Totais (%)

Foram determinados de acordo com o método AOAC (1990).

- Proteína Bruta (Nx5,83)(%)

Foi determinada de acordo com o método 46-12 da AACC (1990).

- Fibra (%)

Foi determinada de acordo com o método de Scharrer & Kurschner (Diemair, 1963).

- Proteína Solúvel em KOH (%)

Foi determinada de acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes de Rações-ANFAR.

- Açúcares Redutores (%) e Açúcares Totais (%)

Foram determinados de acordo com o método de Munson & Walker (AOAC, 1990).

- Amido (%)

Foi determinado pelo método de Ewers modificado por Hardurn & Doewelaar (Diemar, 1963).

- Peso do Hectolitro (PH)

Foi determinado em balança digital PH3000 da GEHAKA, segundo manual de instruções do fabricante.

- Aflatoxinas (B1, B2, G1 e G2)

Foram pesquisadas através do método descrito por Soares & Rodriguez-Amaya (1989).

- Índice de Sedimentação

Foi determinado pelo método de micro-sedimentação em SDS, descrito por Peña & Amaya (1985). Através da leitura do volume do sedimento os autores classificam o glúten em:

Volume (ml)	Qualidade do glúten
até 12,0	fraco
de 12,0 à 18,5	intermediário
de 19,0 à 21,0	forte
21,5 ou mais	muito forte

4.8.3. Análises da Farinha

- Falling Number

Foi determinado pelo método 56-01B em aparelho de Falling Number modelo 1800 AACC (1983).

- Farinografia

Foi determinada em aparelho farinógrafo Brabender (Brabender OHG, Duisburg, Alemanha), segundo o método 54-21 AACC (1983).

- Alveografia

Foi determinada em aparelho alveógrafo de Chopin, segundo o método 54-30 AACC (1984).

4.8.4. Teste de Panificação e Determinação do Volume Específico

Foram conduzidos segundo metodologia descrita por Pizzinatto *et al.* (1996).

4.8.5. Testes de Qualidade de Massas Alimentícias

Foi determinada através do teste de cozimento em aparelho Buhler segundo metodologia

descrita por Ciacco & Chang [ca.1982], com modificações no tempo de cozimento conforme pode-se observar na Tabela 41 e testando-se o trigo IAC1002 em comparação com um trigo duro canadense comercial.

Tabela 41 - Dados do preparo da massa¹ e do teste de cozimento.

Variedade	Farinha (g)	Esterlac ²	Água (%)	Tempo de cozimento ^{3,4} (min)
IAC1002	100	1	36	4,5
“durum” canadense	100	1	32	5,5

¹A massa foi preparada em um equipamento experimental “PASTAIA2”.

²Estearoil-2Lactil-Lactato de Sódio.

³Determinado com a utilização de lâminas de vidro segundo Ciacco & Chang [ca.1982].

⁴A massa foi seca após o processo em secador de bandejas com circulação de ar forçado e com temperatura ambiente por trinta minutos

4.9.Caracterização e Utilização da Matéria-Prima como Ração Animal

4.9.1.Moagem do Trigo Destinado a Produção de Rações

Foi realizada em desintegrador, picador e moedor equipado com ciclone e apresentando as seguintes características:

- Modelo: DPM-2.
- Rotação: 3400 rpm.
- Peneira: diâmetro dos furos 2 mm.
- Fabricante: Irmãos Nogueira S/A Máquinas Agrícolas e Motores.
- Motor: marca Weg 10 CV trifásico com 3250 rpm.

4.9.2.Granulometria do Trigo

Foi determinada em virtude dos tratamentos de secagem (12010, 10010, 8010, 12005, 10005, 8005 e Solar), conforme metodologia descrita por Zanotto & Bellaver (1996).

4.9.3. Análises do Trigo

Foram analisadas a Umidade (%), Proteína Bruta (%), Fibra Bruta (%), Amido (%) e Densidade (g/cm^3) conforme laudos de análise da Nutron Alimentos Ltda de Campinas/SP (Apêndice C), com a finalidade de formular as rações¹⁷ a serem utilizadas no experimento.

4.9.4. Formulação das Rações para Frangos de Corte na Fase Inicial

As rações formuladas podem ser observadas na Tabela 42.

Tabela 42 - Composição das Rações¹ para frangos de corte (fase inicial).

Ingredientes	Ração 1 ² (%)	Ração 2 ³ (%)
Trigo	50,00	50,00
Farelo de Soja (44% PB)	29,30	29,30
Milho	10,80	10,55
Óleo de soja	6,00	6,00
Fosfato bicálcico	1,60	1,60
Farinha de ostra	1,52	1,52
Sal	0,44	0,44
DL-Metionina	0,21	0,21
Premix (Mineral/Vitamínico)	0,13	0,13
L-Lisina	-	0,25
Total	100,00	100,00

¹As rações foram misturadas em misturador tipo 'Y'. A formulação é marginal em PB e energia (19% e 2800 Kcal.kg⁻¹ respectivamente).

²A ração 1 foi formulada com os trigos provenientes de todos os tratamentos de secagem.

³As ração 2 foi formulada com o trigo seco ao sol sobre lona (Solar) mais L-Lisina.

4.10. Experimento com Frangos de Corte na Fase Inicial

O experimento foi conduzido durante 21 dias (05.06.1997 à 26.06.1997) nas instalações do Laboratório de Ensino Zootécnico-LEZO, do Departamento de Zootecnia da Faculdade de Agronomia-UFRGS/RS com as seguintes características:

- Instalações - sala climatizada de alvenaria, forro de madeira e piso de concreto com 7,5 m de comprimento, 4 m de largura e 3 m de altura. A temperatura¹⁸ na sala foi mantida a 32±

¹⁷ Os demais ingredientes utilizados na confecção das rações já haviam sido previamente analisados.

¹⁸ A sala possui um sistema de circulação forçada de ar com aquecimento e controle através de termostato (Figura 17).

1°C do primeiro ao sétimo dia, $29 \pm 1^\circ\text{C}$ do oitavo ao décimo quarto dia e $26 \pm 1^\circ\text{C}$ do décimo quinto ao vigésimo primeiro dia. A umidade relativa da sala não foi controlada.

- Gaiolas - foram utilizadas duas baterias (2 m de comprimento; 0,87 m de largura e 1,78 m de altura) com vinte gaiolas cada (Figura 17). As dimensões das gaiolas são de 0,69 x 0,41 x 0,26 m sendo respectivamente o comprimento a largura e a altura.



Figura 17 - Vista geral das baterias onde pode-se observar a distribuição das gaiolas (direita) e detalhe dos bebedouros e das gaiolas (esquerda).

- Frangos de corte - foram utilizados oitenta frangos sexados (machos) provenientes do incubatório da AVIPAL em Porto Alegre, da linhagem ROSS, sendo colocados dois frangos por gaiola (o que caracterizou uma unidade experimental).
- Manejo utilizado - os frangos tiveram durante todo o experimento ração e água a vontade, sendo as gaiolas limpas diariamente pela parte da manhã e a água trocada duas vezes ao dia (pela manhã e a tarde). A ração foi colocada a disposição das aves em comedouro automático que era abastecido o seu depósito conforme o consumo, anotando-se na oportunidade o peso da ração adicionada por unidade experimental. Os animais foram pesados no início do experimento e a cada sete dias, bem como eram pesadas as sobras de rações para cálculo do consumo no período e posteriormente o consumo total.

- Procedimento experimental - utilizou-se os seguintes tratamentos:

T1 = Ração 1 com trigo do tratamento de secagem 12010.

T2 = Ração 1 com trigo do tratamento de secagem 10010.

T3 = Ração 1 com trigo do tratamento de secagem 8010.

T4 = Ração 1 com trigo do tratamento de secagem 12005.

T5 = Ração 1 com trigo do tratamento de secagem 10005.

T6 = Ração 1 com trigo do tratamento de secagem 8005.

T7 = Ração 1 com trigo do tratamento de secagem Solar.

T8 = Ração 2 com trigo do tratamento de secagem Solar.

- Delineamento estatístico - foi utilizado o Delineamento Inteiramente Casualizado com cinco repetições para cada tratamento, totalizando 40 unidades experimentais.
- Análise estatística - na análise de variância o nível de significância estabelecido foi de 5%. O teste para comparação de médias foi de Tukey, também, com nível de significância de 5%.

5.RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1.Caracterização do Produto para uso Industrial

O grão de trigo IAC1002 foi caracterizado em sua composição centesimal, solubilidade da proteína, peso do hectolitro (PH) e o índice de sedimentação. A farinha obtida através do processo de moagem experimental foi caracterizada pela sua reologia (farinografia e alveografia), "Falling Number" e procedeu-se o teste de panificação com a determinação do volume específico e avaliação do macarrão com a finalidade de enquadrá-lo para fins industriais ou como ingrediente de rações animais.

Na Tabela 43 pode-se observar a composição centesimal, o PH e a solubilidade protéica do trigo duro variedade IAC1002 utilizado como matéria prima neste trabalho.

Tabela 43 - Composição centesimal, PH e solubilidade da proteína do trigo duro variedade IAC1002.

Determinações	Resultados
Umidade (%)	19,95
Proteína bruta (Nx5,83)(%)	9,54
Amido (%)	58,95
Açúcares redutores (%)	1,44
Açúcar total (%)	4,83
Cinzas (%)	1,43
Lipídios totais (%)	2,22
Fibra (%)	1,54
PH	72,50
Proteína solúvel em KOH (%)	89,83

Nos resultados da composição centesimal observa-se um baixo teor protéico da matéria-prima ao comparar-se com os dados citados por Dick (1981). O teor de açúcar total por outro lado está muito alto se comparado com os teores encontrados em trigo comum (El-Dash *et al.*, [ca.1982]) e mesmo em trigo duro (Kruger & Matsuo, 1982). Ao observar-se uma amostra do trigo constata-se que o mesmo não apresenta em sua grande maioria o aspecto vítreo característico, mas sim opaco em virtude de manchas brancas, vulgarmente denominadas de barriga-branca¹⁹.

Na pesquisa de aflatoxinas (B1, B2, G1 e G2), realizada no dia 08.11.1996 (aproximadamente três meses após o produto ter sido armazenado na câmara fria), não foi detectada a presença destas toxinas, sendo o limite de detecção do método de $2 \mu\text{g.kg}^{-1}$ e portanto a amostra encontrava-se de acordo com a legislação em vigor que estabelece o limite de $30 \mu\text{g.kg}^{-1}$ de amostra de aflatoxina (B1+G1).

Nas Tabelas 44 e 45 pode-se observar o resultado dos testes de alveografia e farinografia respectivamente.

Observa-se na Tabela 44, que a força geral do glúten obtida pela alveografia da amostra do IAC1002 caracteriza-o como um trigo com força média (Guarienti, 1993). Já os padrões farinográficos (Tabela 45), se comparados com os dados apresentados por Pizzinatto & Campagnolli (1992), classificam-no como um trigo fraco. Muito embora os valores da absorção de água na farinografia enquadre-o como muito forte, deve-se recordar que é característica dos trigos mais duros absorverem maior quantidade de água, e que estes padrões foram estabelecidos para trigos comuns.

É interessante observar-se nos resultados da alveografia e farinografia que, mesmo com a adição do Ácido-L-Ascórbico, não houve melhoria significativa no comportamento da matéria-prima nestes testes.

O teste de sedimentação apresentou um valor de 18,3 ml o que classifica o IAC1002 como um trigo intermediário.

O número de queda (Falling Number), apresentou um resultado de 311s o que enquadra esta amostra em uma baixa atividade de α -amilase, e portanto, se comparada com

¹⁹ Similar denominação é aplicada ao arroz com as mesmas características (Galli, 1978).

Tabela 44 - Classificação da força do glúten determinada pelo teste de alveografia.

Amostra	Força geral do glúten (10 ⁻⁴ J)
IAC1002	120
IAC1002 + 90 ppm Ácido-L-Ascórbico	145
IAC1002 + 120 ppm Ácido-L-Ascórbico	140

Tabela 45 - Resultados do teste de farinografia.

Amostra	Absorção (%)	Desenvolvimento (min)	Estabilidade (min)	Índice de tolerância a mistura (UB)
IAC1002	68,6	2,0	2,0	65
IAC1002 + 90 ppm Ácido-L-Ascórbico	68,5	1,5	3,5	60
IAC1002 + 120 ppm Ácido-L-Ascórbico	68,8	2,0	3,5	60
IAC1002 +150 ppm Ácido-L-Ascórbico	68,8	1,5	3,0	80

os dados da Tabela 19 (Pizzinatto & Campagnolli, 1992), pode-se inferir que quanto à performance na panificação este trigo produziria um pão com volume reduzido e com o miolo seco.

No teste de panificação pode-se verificar o desempenho do trigo IAC1002 em comparação com o padrão²⁰ nas Tabelas 46 e 47.

Tabela 46 - Volume específico (VE) do trigo IAC1002 comparado com o pão padrão.

Amostra	Peso (g)	Volume (cm ³)	VE
IAC1002	307,51	850	2,76
Padrão	304,28	1540	5,06

Observa-se na Tabela 46, que o volume específico do pão confeccionado a partir do trigo IAC1002, foi 45% menor que o VE do pão padrão.

²⁰ Pão feito a partir de trigo da espécie *T.aestivum* L.

Tabela 47 - Análise sensorial das características físicas e organolépticas do pão confeccionado com trigo IAC1002 em comparação com o pão padrão.

Características Externas	Valor máximo	Amostras	
		IAC1002	Padrão
<u>Volume</u> ¹	20	9,19	16,85
<u>Cor da Crosta</u>	10	4,50	9,00
<u>Quebra</u>	5	0,00	4,00
<u>Simetria</u>	5	3,50	4,00
Características Internas	Valor máximo		
<u>Características da crosta</u>	5	1,50	4,00
<u>Cor do Miolo</u>	10	8,00	8,50
<u>Estrutura da Célula do Miolo</u>	10	1,50	7,50
<u>Textura do Miolo</u>	10	3,50	9,00
Aroma e Gosto	Valor máximo		
<u>Aroma</u>	10	4,00	10,00
<u>Gosto</u>	15	7,00	14,50
<u>Contagem Total</u>	100	42,69	87,35

¹Volume = VE x 3,33.

Ao analisar-se os dados da Tabela 47 e observar-se a Figura 18, nota-se a grande diferença nas características do pão feito a partir do trigo IAC1002 com o pão padrão, o que vem de encontro aos resultados encontrados por Camargo *et al.* (1994) que, comparando linhagens e variedades de trigo duro, trigo comum e triticale, obteve um bom desempenho na panificação para os trigos comuns e baixo desempenho dos trigos duros e triticale.

Na Tabela 48 é apresentada a avaliação do macarrão elaborado com o trigo IAC1002 em comparação com trigo duro canadense comercial.

Tabela 48 - Avaliação de macarrão do trigo IAC1002 em comparação com o trigo duro canadense comercial.

Amostra	Tempo de cozimento (min)	Aumento de peso (%)	Perda de sólidos solúveis (SS) (mg/g)
IAC1002	4,5	178,75	136,00
Duro canadense comercial	5,5	152,71	76,8

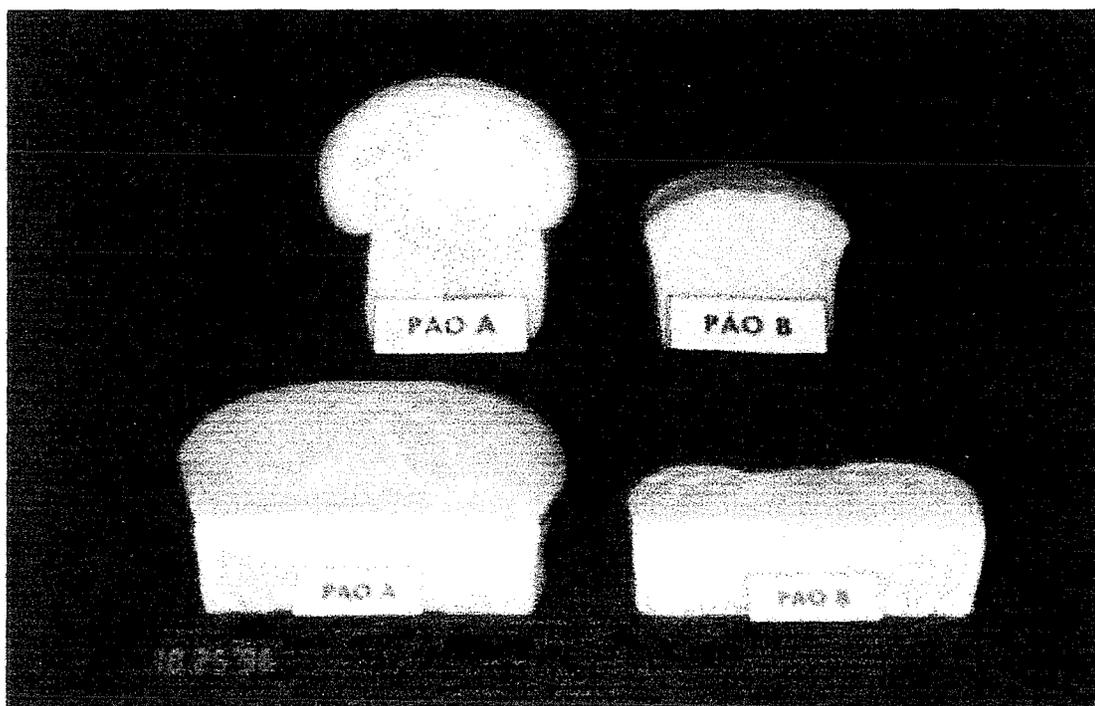


Figura 18 - Aspecto do pão padrão (A) e do confeccionado a partir do trigo IAC1002 (B).

Nos dados da Tabela 48 ao analisar-se a perda de sólidos solúveis (mg/g) conclui-se que ambos os trigos, em função do baixo tempo de cozimento, apresentam uma quantidade excessiva de resíduos (SS), o que pode ser verificado ao observar-se os dados do trabalho de Kruger & Matsuo (1982), que utilizaram trigo com diferentes tempos de germinação. Geralmente o aumento de sólidos solúveis está relacionado a problemas de germinação dos trigos (alta atividade de α -amilase), pelo maior conteúdo de glicose, sacarose e maltose no grão, porém no caso do IAC1002 isto não foi constatado pela análise do "Falling Number". O conteúdo de açúcares livres é alto no trigo utilizado como matéria-prima neste trabalho, como pode ser constatado na composição centesimal e que se deve à ocorrência de causas não determinadas durante o ciclo de cultivo.

Devemos salientar que os testes reológicos e o "Falling Number" previram a falta de qualidade para uso industrial e consumo humano (massas e pães) e que foi confirmada com o teste de panificação e avaliação da qualidade do macarrão.

No Apêndice B pode-se observar os rendimentos da moagem experimental do trigo IAC1002, ressaltando-se que o moinho experimental utilizado não é apropriado para moer trigo duro.

5.2. Análise da Secagem

Os dados relativos a secagem do trigo do tratamento 12010, são apresentados no Apêndice D (Tabela 1D).

A temperatura média do ar de secagem foi de 126,8°C e a do ar ambiente foi de 29,0°C para o termômetro de bulbo seco e 24,5°C para o termômetro de bulbo úmido. O rendimento térmico médio e o consumo específico de calor médio foram respectivamente de 82,8% e 2775 kJ.kg⁻¹. A temperatura da massa de grãos na câmara de repouso apresentou um mínimo de 57,3°C, atingindo um máximo de 69,4°C, sendo a média durante o período de secagem de 62,8°C. A diferença em média da temperatura do ar de secagem e a temperatura da massa de grãos foi de 64,0°C. A diferença entre a vazão de ar no início da secagem e ao final da secagem foi de 15%. As umidades relativas médias durante a secagem foram de 70,04%, 1,18% e 78,06%, sendo respectivamente a UR do ar de entrada, UR do ar aquecido e UR do ar de exaustão²¹.

A Figura 19 representa o comportamento do teor de água dos grãos em função do tempo, na secagem intermitente, com temperatura do ar média de 126,8°C e tempo de residência na câmara de secagem de 10 minutos.

A relação entre a redução do teor de água dos grãos e o tempo de secagem foi representada por uma equação de segundo grau, capaz de explicar 97,11% da variação. Entre os teores de água de 20,35 e 10,00% (25,55 e 11,11% bs) a taxa de secagem foi decrescente e em média foram retirados 3,26 pontos percentuais por hora de secagem. Conforme o rendimento apresentado durante o tratamento 12010, em 1000 kg de grãos úmidos de trigo seriam retirados 120,3 kg de água²² em um tempo de secagem de 3 h e 10 min.

²¹ As umidades relativas (UR) foram determinadas através do programa PSIPROC (Biagi & Silva, 1990).

²² Segundo Zanche (1991), durante a secagem retira-se 11,628 kg de água por ponto de umidade e por tonelada de grãos.

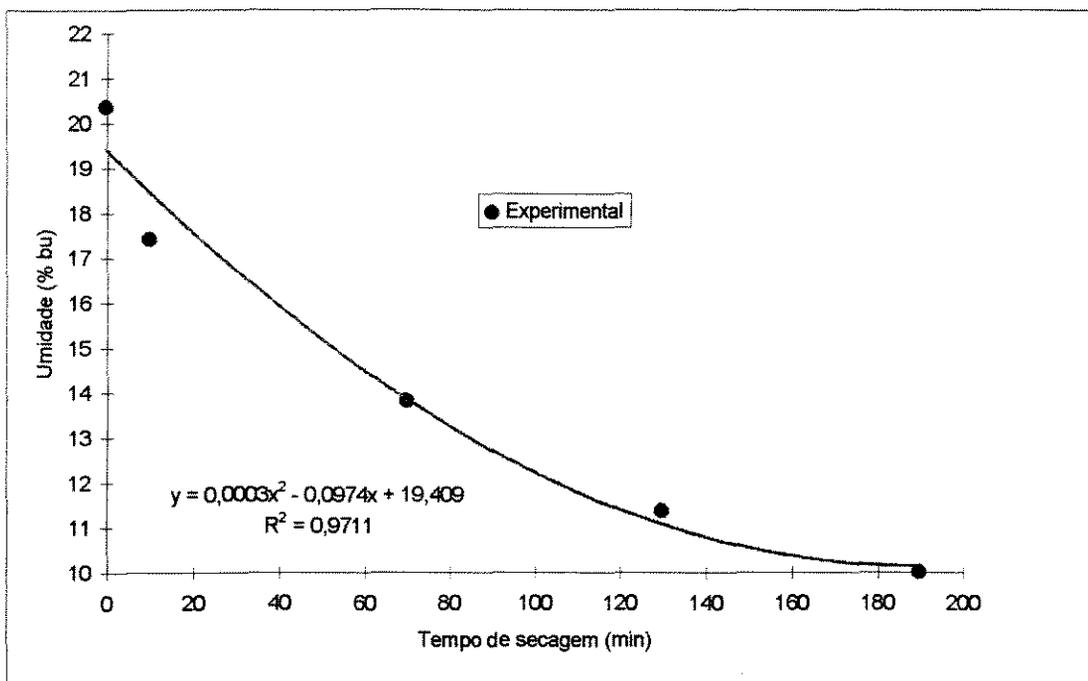


Figura 19 - Comportamento do teor de água dos grãos de trigo em função do tempo (secagem intermitente com temperatura do ar média de 126,8°C e tempo de residência na câmara de secagem de 10 minutos).

Na Figura 20 pode-se observar a temperatura do ar de secagem no plenum (Tratamento 12010), e o comportamento da temperatura na massa de grãos na câmara de secagem. O termopar 1 (T1), é o mais próximo à entrada do ar de secagem e o termopar 6 (T6), é o mais distante.

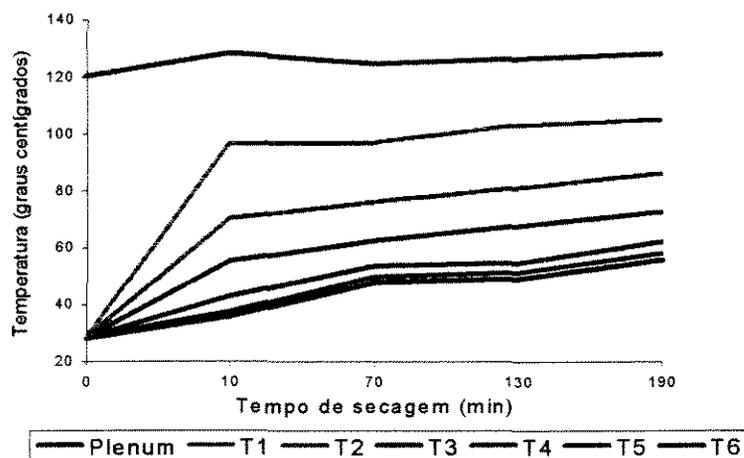


Figura 20 - Temperatura do ar de secagem (plenum) e dos termopares (T1 à T6) durante a secagem para o tratamento 12010 (T1 termopar mais próximo do ar aquecido e T6 termopar mais afastado).

No Apêndice D (Tabela 1E), apresenta-se os dados relativos a secagem do trigo do tratamento 10010.

A temperatura média do ar de secagem foi de 107,7°C e a do ar ambiente foi de 31,1 e 24,6°C respectivamente para os termômetros de bulbo seco e bulbo úmido. O rendimento térmico médio e o consumo específico de calor médio foram de 84,2% e 2767 kJ.kg⁻¹ respectivamente. A temperatura da massa de grãos na câmara de repouso variou entre um mínimo de 50,6°C e um máximo de 61,6°C, sendo a média durante o período de secagem de 56,4°C. A diferença média da temperatura do ar de secagem e a temperatura da massa de grãos foi de 51,3°C. A diferença entre as vazões de ar no início da secagem e ao final da secagem foi de 13,8%. As umidades relativas médias durante a secagem foram de 59,86%, 2,09% e 76,01%, sendo respectivamente a UR do ar de entrada, UR do ar aquecido e UR do ar de exaustão.

A Figura 21 representa o comportamento do teor de água dos grãos em função do tempo, na secagem intermitente, com temperatura do ar média de 107,7°C e tempo de residência na câmara de secagem de 10 minutos.

A relação entre a redução do teor de água das sementes e o tempo de secagem foi representada por uma equação de segundo grau, capaz de explicar 94,42% da variação. Entre os teores de água de 19,94 e 11,11% (24,91 e 12,49% bs) a taxa de secagem foi decrescente e em média foram retirados 2,78 pontos percentuais por hora de secagem. Conforme o rendimento apresentado durante o tratamento 10010, em 1000 kg de grãos úmidos de trigo seriam retirados 102,6 kg de água em um tempo de secagem de 3 h e 10 min.

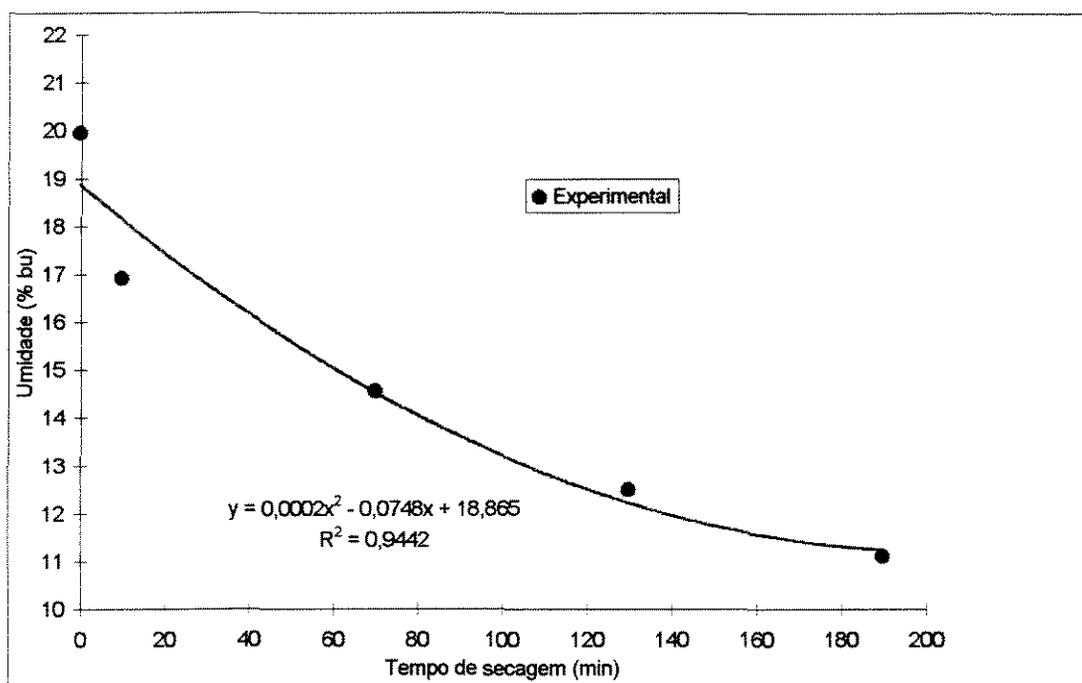


Figura 21 - Comportamento do teor de água dos grãos de trigo em função do tempo (secagem intermitente com temperatura do ar média de 107,7°C e tempo de residência na câmara de secagem de 10 minutos).

Os dados relativos a secagem do trigo do tratamento 8010, são apresentados no Apêndice D (Tabela 1F).

A temperatura média do ar de secagem foi de 83,4°C e a do ar ambiente foi de 27,7°C para o termômetro de bulbo seco e 22,2°C para o termômetro de bulbo úmido. O rendimento térmico médio e o consumo específico de calor médio foram respectivamente de 77,0% e

2828 kJ.kg⁻¹. A temperatura da massa de grãos na câmara de repouso apresentou um mínimo de 45,3°C e atingindo a um máximo de 54,6°C, sendo a média durante o período de secagem de 50,1°C. A diferença em média da temperatura do ar de secagem e a temperatura da massa de grãos foi de 33,3°C. A diferença entre a vazão de ar no início da secagem e ao final da secagem foi de 16,9%. As umidades relativas médias durante a secagem foram de 63,18%, 4,37% e 68,86% , sendo respectivamente a UR do ar de entrada, UR do ar aquecido e UR do ar de exaustão.

A Figura 22 representa o comportamento do teor de água dos grãos em função do tempo, na secagem intermitente, com temperatura do ar média de 83,4°C e tempo de residência na câmara de secagem de 10 minutos.

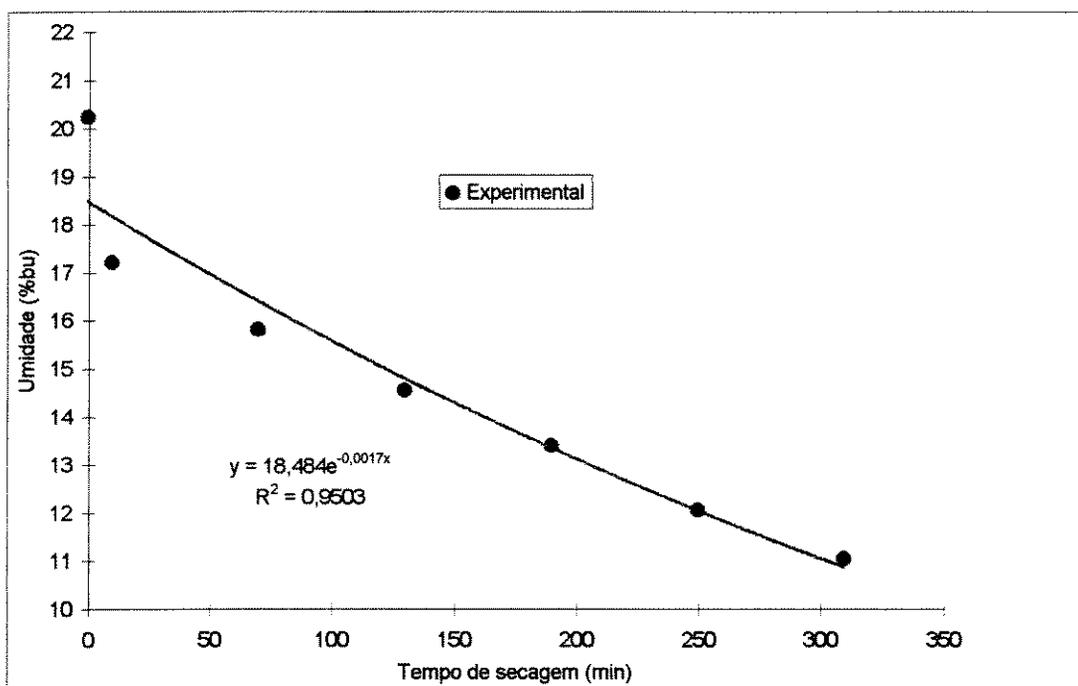


Figura 22 - Comportamento do teor de água dos grãos de trigo em função do tempo (secagem intermitente com temperatura do ar média de 83,4°C e tempo de residência na câmara de secagem de 10 minutos).

A relação entre a redução do teor de água das sementes e o tempo de secagem foi representada por uma equação exponencial, capaz de explicar 95,03% da variação. Entre os teores de água de 20,23 e 11,04% (25,36 e 12,41% bs) a taxa de secagem foi decrescente e em média foram retirados 1,78 pontos percentuais por hora de secagem. Conforme o

rendimento apresentado durante o tratamento 8010, em 1000 kg de grãos úmidos de trigo seriam retirados 106,8 kg de água em um tempo de secagem de 5 h e 10 min.

No Apêndice D (Tabela 1G), apresenta-se os dados relativos ao trigo do tratamento 12005.

A temperatura média do ar de secagem foi de 128,6°C e a do ar ambiente foi de 24,7 e 23,0°C respectivamente para os termômetros de bulbo seco e bulbo úmido. O rendimento térmico médio e o consumo específico de calor médio foram de 77,2% e 2973 kJ.kg⁻¹ respectivamente. A temperatura da massa de grãos na câmara de repouso variou entre um mínimo de 46,2°C e um máximo de 57,9°C, sendo a média durante o período de secagem de 52,6°C. A diferença média da temperatura do ar de secagem e a temperatura da massa de grãos foi de 76°C. A diferença entre as vazões de ar no início da secagem e ao final da secagem foi de 18,9%. As umidades relativas médias durante a secagem foram de 87,02%, 1,08% e 66,90% , sendo respectivamente a UR do ar de entrada, UR do ar aquecido e UR do ar de exaustão.

A Figura 23 representa o comportamento do teor de água dos grãos em função do tempo, na secagem intermitente, com temperatura do ar média de 128,6°C e tempo de residência na câmara de secagem de 5 minutos.

A relação entre a redução do teor de água das sementes e o tempo de secagem foi representada por uma equação de segundo grau, capaz de explicar 99,6% da variação. Entre os teores de água de 20,02 e 10,66% (25,03 e 11,93 bs) a taxa de secagem foi decrescente e em média foram retirados 2,61 pontos percentuais por hora de secagem. Conforme o rendimento apresentado durante o tratamento 12005, em 1000 kg de grãos úmidos de trigo seriam retirados 108,8 kg de água em um tempo de secagem de 3 h e 35 min.

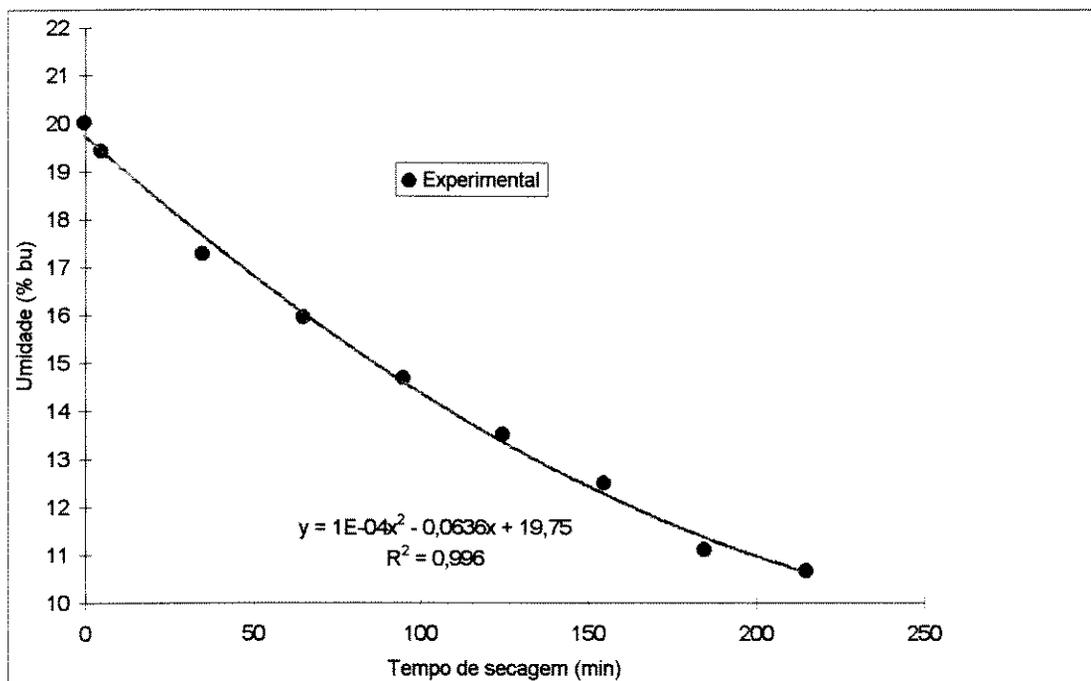


Figura 23 - Comportamento do teor de água dos grãos de trigo em função do tempo (secagem intermitente com temperatura do ar média de 128,6°C e tempo de residência na câmara de secagem de 5 minutos).

Os dados relativos a secagem do trigo do tratamento 10005, são apresentados no Apêndice D (Tabela 1H).

A temperatura média do ar de secagem foi de 107,4°C e a do ar ambiente foi de 25,0°C para o termômetro de bulbo seco e 22,6°C para o termômetro de bulbo úmido. O rendimento térmico médio e o consumo específico de calor médio foram respectivamente de 72,4% e 3220 kJ.kg⁻¹. A temperatura da massa de grãos na câmara de repouso apresentou um mínimo de 42,4°C e atingindo a um máximo de 55,3°C, sendo a média durante o período de secagem de 50,5°C. A diferença em média da temperatura do ar de secagem e a temperatura da massa de grãos foi de 56,9°C. A diferença entre a vazão de ar no início da secagem e ao final da secagem foi de 22,5%. As umidades relativas médias durante a secagem foram de 82,02%, 2,02% e 56,61% , sendo respectivamente a UR do ar de entrada, UR do ar aquecido e UR do ar de exaustão.

A Figura 24 representa o comportamento do teor de água dos grãos em função do tempo, na secagem intermitente, com temperatura do ar média de 107,4°C e tempo de residência na câmara de secagem de 5 minutos.

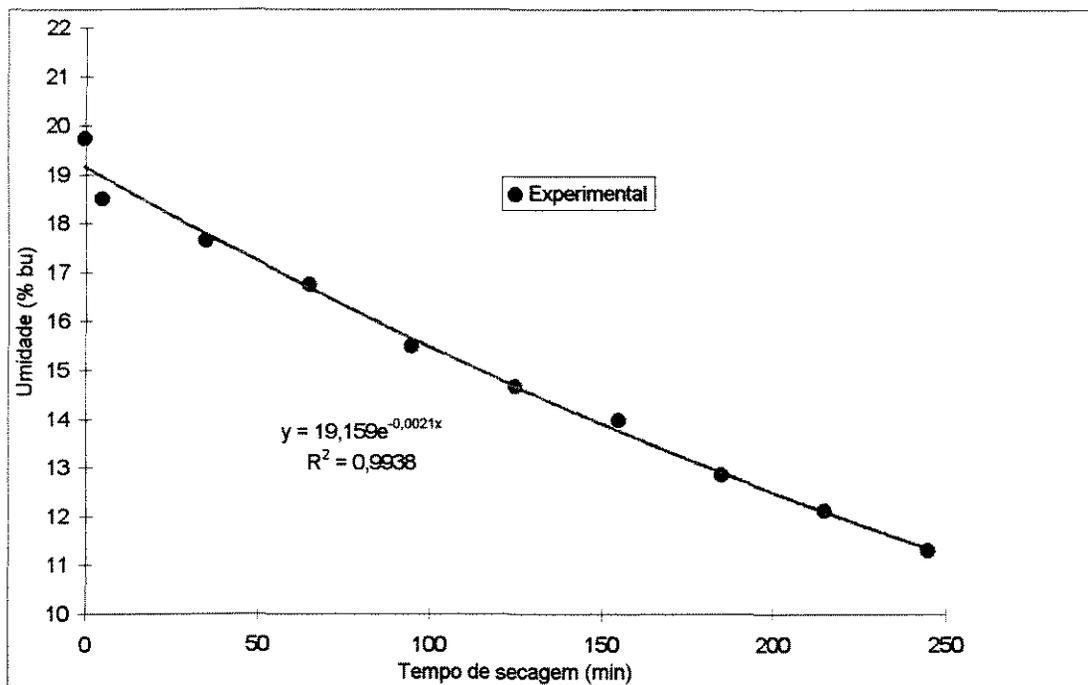


Figura 24 - Comportamento do teor de água dos grãos de trigo em função do tempo (secagem intermitente com temperatura do ar média de 107,4°C e tempo de residência na câmara de secagem de 5 minutos).

A relação entre a redução do teor de água das sementes e o tempo de secagem foi representada por uma equação exponencial, capaz de explicar 99,38% da variação. Entre os teores de água de 19,73 e 11,30% (24,57 e 12,73% bs) a taxa de secagem foi decrescente e em média foram retirados 2,07 pontos percentuais por hora de secagem. Conforme o rendimento apresentado durante o tratamento 10005, em 1000 kg de grãos úmidos de trigo seriam retirados 98,0 kg de água em um tempo de secagem de 4 h e 5 min.

No Apêndice D (Tabela II), apresenta-se os dados relativos a secagem do trigo do tratamento 8005.

A temperatura média do ar de secagem foi de 86,0°C e a do ar ambiente foi de 26,3 e 22,5°C respectivamente para os termômetros de bulbo seco e bulbo úmido. O rendimento térmico médio e o consumo específico de calor médio foram de 71,0% e 3059 kJ.kg⁻¹

respectivamente. A temperatura da massa de grãos na câmara de repouso variou entre um mínimo de 37,3°C e um máximo de 50,4°C, sendo a média durante o período de secagem de 45,6°C. A diferença média da temperatura do ar de secagem e a temperatura da massa de grãos foi de 40,4°C. A diferença entre as vazões de ar no início da secagem e ao final da secagem foi de 22%. As umidades relativas médias durante a secagem foram de 73,00%, 4,21% e 59,63% , sendo respectivamente a UR do ar de entrada, UR do ar aquecido e UR do ar de exaustão.

A Figura 25 representa o comportamento do teor de água dos grãos em função do tempo, na secagem intermitente, com temperatura do ar média de 86,0°C e tempo de residência na câmara de secagem de 5 minutos.

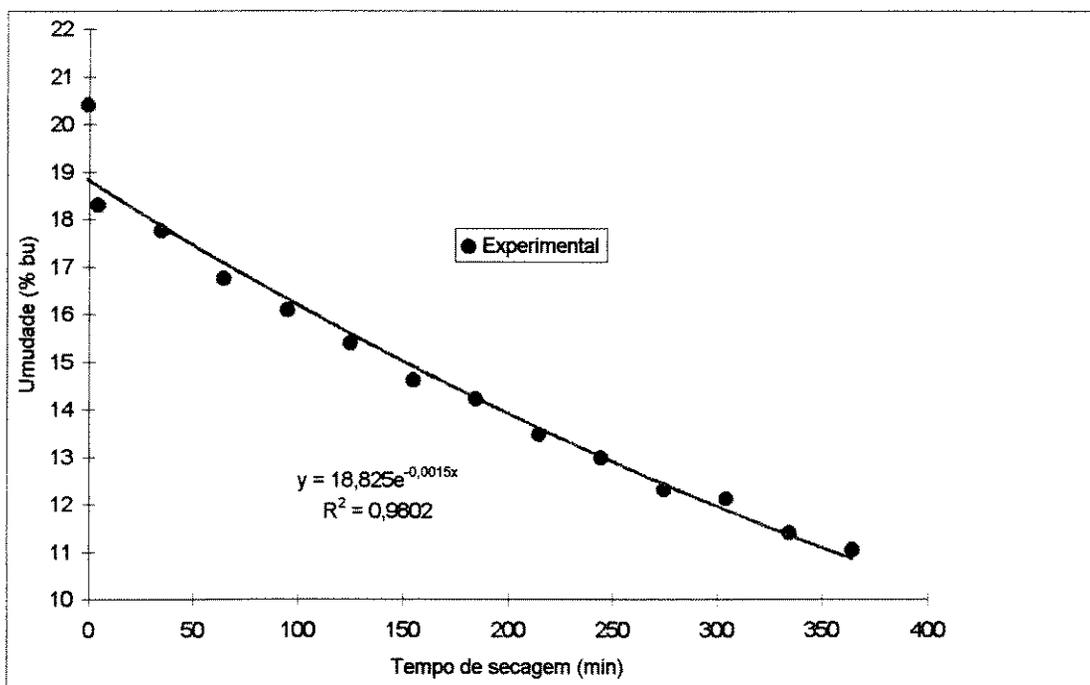


Figura 25 - Comportamento do teor de água dos grãos de trigo em função do tempo (secagem intermitente com temperatura do ar média de 86,0°C e tempo de residência na câmara de secagem de 5 minutos).

A relação entre a redução do teor de água das sementes e o tempo de secagem foi representada por uma equação exponencial, capaz de explicar 98,02% da variação. Entre os teores de água de 20,39 e 11,04% (25,61 e 12,41% bs) a taxa de secagem foi decrescente e em média foram retirados 1,54 pontos percentuais por hora de secagem. Conforme o

rendimento apresentado durante o tratamento 8005, em 1000 kg de grãos úmidos de trigo seriam retirados 108,7 kg de água em um tempo de secagem de 6 h e 5 min.

Nas Figuras 26 e 27 pode-se observar de uma forma comparativa as curvas de secagem dos seis tratamentos intermitentes, agrupadas em função do tempo de residência (10 e 5 minutos).

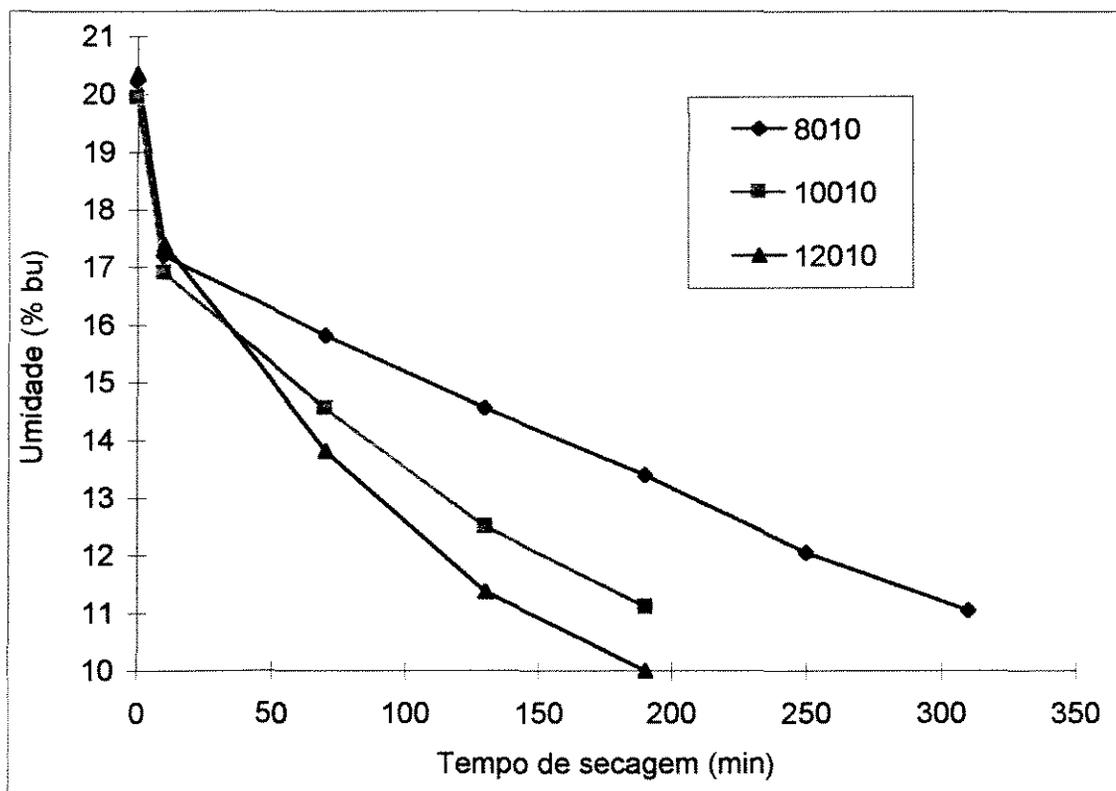


Figura 26 - Comportamento do teor de água dos tratamentos 8010, 10010 e 12010 durante a secagem intermitente dos grãos de trigo.

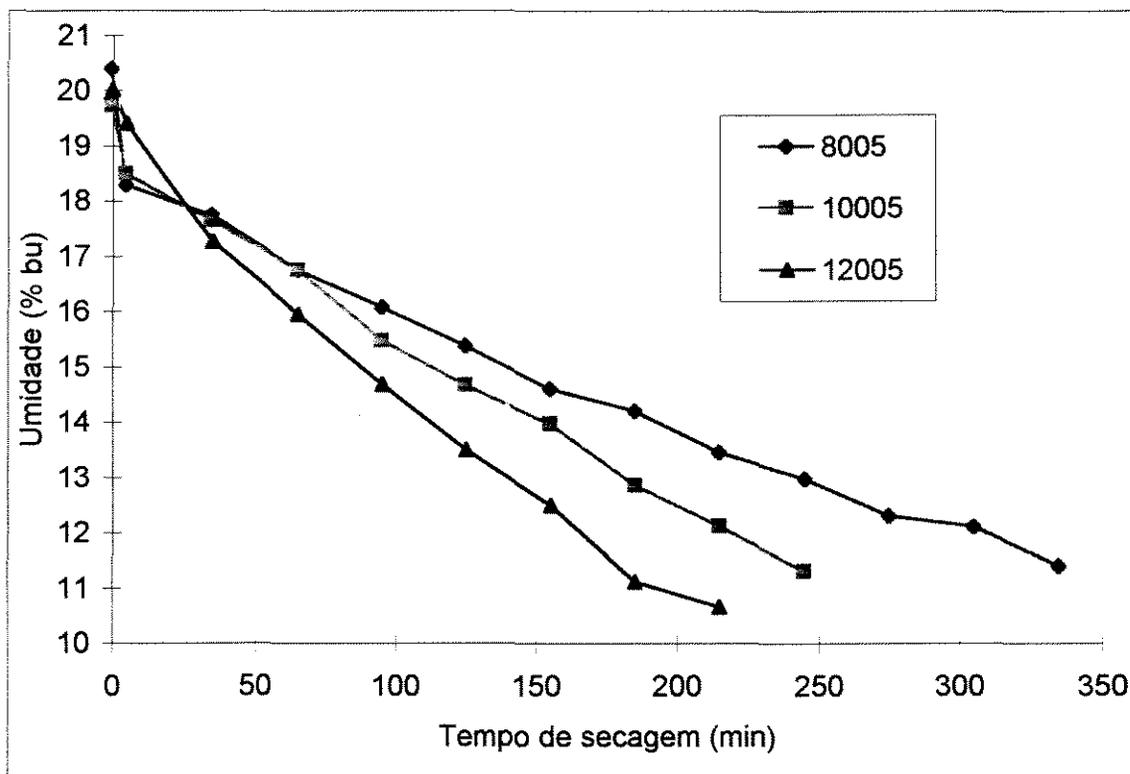


Figura 27 - Comportamento do teor de água dos tratamentos 8005, 10005 e 12005 durante a secagem intermitente dos grãos de trigo.

É interessante observar-se que nos primeiros 10 e 5 minutos de secagem ocorreu uma rápida retirada de água do produto, independente da temperatura empregada (aproximadamente 80, 100 ou 120°C). Alguns trabalhos vem demonstrando ser possível a secagem com programa escalonado para extração constante de umidade. É evidente que a programação a ser feita dependerá do produto que estiver sendo seco, testes realizados com arroz demonstram que ao evitar-se a retirada de umidade rápida demais no início da secagem, pode-se conseguir aumentos de até 5% no número de grãos inteiros (Schüler, 1995).

Por outro lado, em produtos que não necessitem dos mesmos cuidados poderão ser empregadas temperaturas mais baixas com alta extração de umidade, mesmo no início da secagem, sem que isto implique em aumentos significativos no tempo total de operação.

Na Tabela 49 pode-se observar os dados referentes a secagem ao sol dos grãos de trigo.

Tabela 49 - Dados de secagem ao sol sobre lona dos grãos de trigo.

Tempo secagem (min)	Temperatura ar ambiente (°C)	Temperatura ao nível dos grãos ¹ (°C)	Radiação incidente (KW/m ²)	Radiação refletida (KW/m ²)	Umidade do produto ² (%)	Umidade relativa (%)	Velocidade instantânea vento a 2 m (m/s)
0					19,86		
20	24,57		3,71	0,84		74,60	0,60
40	25,99		4,46	1,01		68,97	0,64
60	25,62	36,6	5,10	1,16	17,93	70,92	1,09
80	25,99		5,66	1,28		70,01	1,22
100	26,36		6,18	1,40		66,61	1,36
120	26,91	43,0	6,59	1,48	16,28	66,81	1,25
140	27,20		6,93	1,55		64,88	1,57
160	27,88		7,23	1,61		63,31	1,56
180	28,60	46,0	7,38	1,63	13,97	61,52	1,67
200	28,85		7,71	1,72		60,08	1,43
220	28,54		7,32	1,63		55,79	1,69
240	28,68	47,2	5,86	1,27	12,08	56,07	1,41
260	29,84		5,77	1,25		54,11	1,57
280	30,43		6,90	1,54		50,84	1,14
300	29,44	40,1	2,99	0,50	10,26	52,38	1,52
Média	27,66	42,6	5,99	1,32	-	62,46	1,31

¹Tomada com termômetro de referência de mercúrio (-10 à 50°C).

²Determinada com medidor GEOLE 400 e corrigida para o método padrão em estufa.

³Os demais dados da tabela foram adquiridos na estação meteorológica computadorizada da FEAGRI/UNICAMP com leituras a intervalos de 10 minutos.

A temperatura média do ar ambiente (BS) e a umidade relativa média durante o período de secagem foram respectivamente 27,66°C e 62,46%. Ao nível da massa de grãos a temperatura média foi 42,6°C, tendo variado de um mínimo de 36,6°C a um máximo de 47,2°C.

A Figura 28 expressa através de uma equação de primeiro grau, a curva de secagem ao sol dos grãos de trigo, capaz de explicar 99,88% da variação. Para teores de água entre 19,86 e 10,26% (24,78 e 11,43% bs), a taxa de secagem conservou-se constante retirando em média 1,92 pontos percentuais de umidade por hora. Conforme o rendimento apresentado durante o tratamento SOLAR, em 1000 kg de grãos úmidos de trigo seriam retirados 111,6 kg de água em um tempo de secagem de 5h.

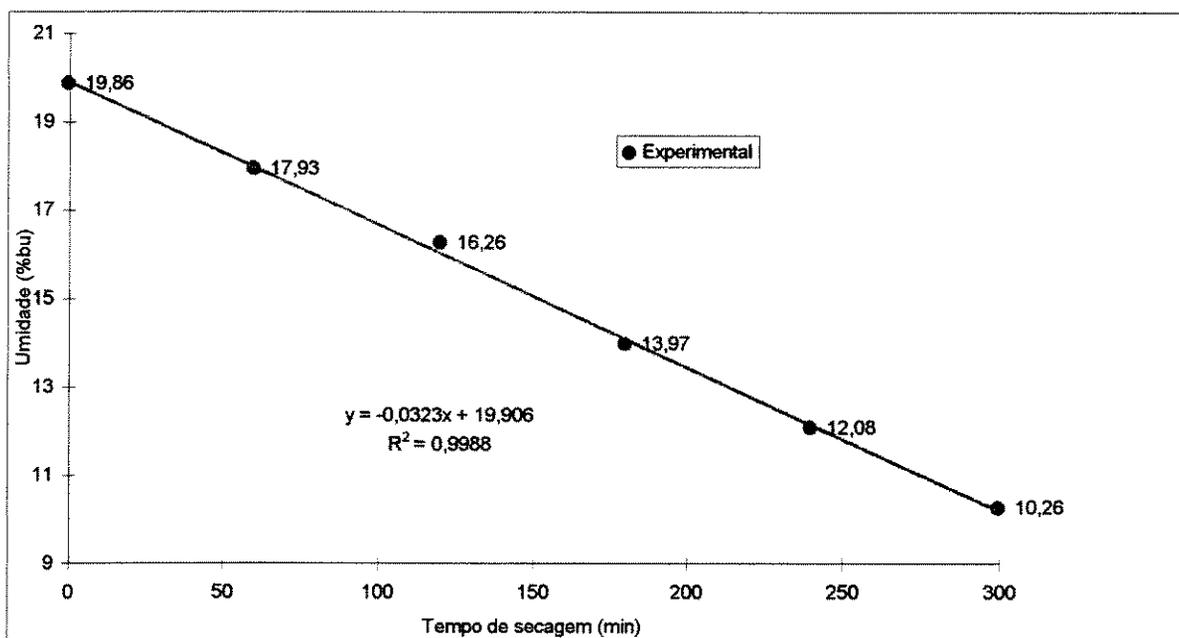


Figura 28 - Comportamento do teor de água dos grãos de trigo em função do tempo (secagem ao sol com temperatura média de 42,6°C).

Através das tabelas e figuras apresentadas pode-se notar que o aumento da temperatura do ar, para o mesmo tempo de residência na câmara de secagem, produziu um aumento da taxa de retirada de água por hora e uma diminuição do tempo de secagem, o que concorda com o trabalho de Villela (1991). Sendo que 12010 > 10010 > 8010 (3,26; 2,78 e 1,78%.h⁻¹ respectivamente) e 12005 > 10005 > 8005 (2,61; 2,07 e 1,54%.h⁻¹ respectivamente). Ao observar-se porém as temperaturas em conjunto com os dois tempos de residência nota-se que o tratamento 12005 (5 minutos na câmara) retirou praticamente a mesma quantidade de água do produto (2,61%.h⁻¹) que o 10010 (10 minutos na câmara) que apresentou uma taxa de secagem média de 2,78%.h⁻¹, sendo nítida neste caso a influência do

tempo de residência. Ao comparar-se os tratamentos 12005 ($2,61\%.h^{-1}$) e o 10005 ($2,07\%.h^{-1}$) com o 8010 ($1,78\%.h^{-1}$) nota-se que a temperatura volta a ser mais importante na velocidade de secagem do que o tempo de residência.

Para a mesma temperatura, o maior tempo de residência produz uma maior taxa de secagem, sendo $12010 > 12005$, $10010 > 10005$ e $8010 > 8005$. Este comportamento pode ser explicado pois segundo Biagi *et al.*(1992), o início da secagem é o período de se entrar em regime operacional; o produto é geralmente mais frio do que o ar e a pressão parcial de vapor da água na superfície do produto é débil; e por conseqüência a transferência de massa e a velocidade de secagem também são débeis. Nos tratamentos com tempo de residência maior o produto atingiu maiores temperaturas e portanto com condições de alcançar maiores taxas de secagem. Após os primeiros dez minutos de secagem, a média da temperatura dos grãos secos nos tratamentos 12010, 10010 e 8010 foi de $51,0^{\circ}\text{C}$ para uma retirada média de água do produto de 3%. Já no tempo de residência de cinco minutos (após a primeira passada na câmara de secagem), a média de temperatura dos grãos dos tratamentos 12005, 10005 e 8005 foi de 42°C para uma retirada média de água do produto de 1,31%. Pode-se inferir que o aumento do tempo de residência aproveita melhor o período em que a umidade do grão de trigo é representada em sua maioria por água livre e faz com que a operação entre em regime mais rapidamente. É importante salientar também que um maior tempo na câmara de repouso (50 min contra 25 min), possibilita uma maior hidratação na superfície do grão, fazendo com que na próxima passagem do produto na câmara de secagem retire uma maior quantidade de água.

Quanto ao rendimento térmico, nos resultados para todos os tratamentos de secagem artificial (12010, 10010, 8010, 12005, 10005 e 8005), constatou-se que houve um decréscimo no rendimento à medida que avança o processo de secagem, estando os resultados em conformidade com Puzzi (1986), quanto menor o teor de umidade dos grãos, dentro do secador, maior será a temperatura do ar de saída e, conseqüentemente, menor o rendimento térmico da secagem. O comportamento do rendimento térmico é semelhante ao da taxa de retirada de água e o tempo de secagem para as temperaturas empregadas. O aumento da temperatura traduz uma melhora no rendimento térmico da secagem. Ao observar-se o rendimento térmico médio para todos os tratamentos em relação ao tempo de residência na

câmara de secagem, constata-se uma maior significância deste fator (o tempo de residência influi mais no rendimento térmico do que na taxa de secagem e no tempo de secagem). A menor temperatura dos tratamentos com 10 minutos de residência (8010) é no mínimo igual, em relação ao rendimento térmico, ao de maior temperatura dos tratamentos com 5 minutos (12005), sendo 77,0 e 77,2% respectivamente.

O consumo específico de calor apresenta os resultados semelhantes ao rendimento térmico sendo que para os tratamentos 12010, 10010 e 8010 o consumo específico de calor médio é de 2790 kJ.kg^{-1} de água evaporada e nos tratamentos 12005, 10005 e 8005 foi de 3084 kJ.kg^{-1} ou seja 10,5% em média maior.

A temperatura que alcança o grão durante a secagem é importante para determinar o comprometimento do produto para o posterior processamento ou na armazenagem. Observa-se que o tratamento onde o grão atingiu a maior temperatura média foi o 12010 ($62,8^{\circ}\text{C}$) e o tratamento com a menor temperatura foi o 8005 ($45,6^{\circ}\text{C}$). Mesmo no tratamento 12010 observa-se que este tipo de secagem não eleva o produto a temperaturas excessivas, em média, se comparados, por exemplo, com os equipamentos citados por Bakker-Arkema (1994). Porém observando-se a Figura 20, deve-se ter em conta que na secagem a fluxos cruzados o importante não é a temperatura média na massa de grãos mas sim o gradiente formado na coluna de secagem, sendo que em somente 10 minutos de secagem o grão mais próximo da entrada do ar quente (T1) quase alcançou a temperatura de 100°C (e com alta umidade), e já no final da secagem no mesmo ponto a temperatura ficou acima dos 100°C .

Nas Figuras 26 e 27 observam-se as curvas de secagem. É importante notar-se a grande velocidade de retirada de água no início do processo de secagem até aproximadamente 17%, e que segundo Carvalho (1994), esta umidade é denominada de teor de água crítico (16 a 17%), onde a taxa de secagem passa a ser variável (todos os tratamentos com secagem artificial tiveram este comportamento), tornando-se cada vez menor à medida que o processo avança. Este fenômeno é melhor observado nos tratamentos que utilizaram tempo de residência de 10 minutos.

Estes resultados são contrários aos observados por Villela (1991), Bonous (1986) e Luz (1986). Observa-se no trabalho de Villela (1991), que o fato de ter encontrado funções lineares para representar as taxas de secagem pode estar relacionado principalmente a duas

situações; a estreita faixa de umidade de trabalho (16,02 à 13,10%) e a relação de intermitência baixa (1:1,6). No trabalho de Luz (1986), embora a umidade do arroz estudado estivesse em uma faixa mais ampla (20 à 11%), as relações de intermitência também foram baixas (1,3:1 e 1:1,5) e isso normalmente compromete a retirada de umidade. O produto retorna à câmara de secagem com baixa hidratação em sua superfície, e isto causa taxas constantes de retirada de umidade. A velocidade de passagem do grão na câmara de repouso nunca pode ser maior que a velocidade de migração interna da água (difusão) no produto.

A relação hfg^*/hfg pode ser observada na Figuras 29 (10 minutos na câmara de secagem) e 30 (5 minutos na câmara de secagem).

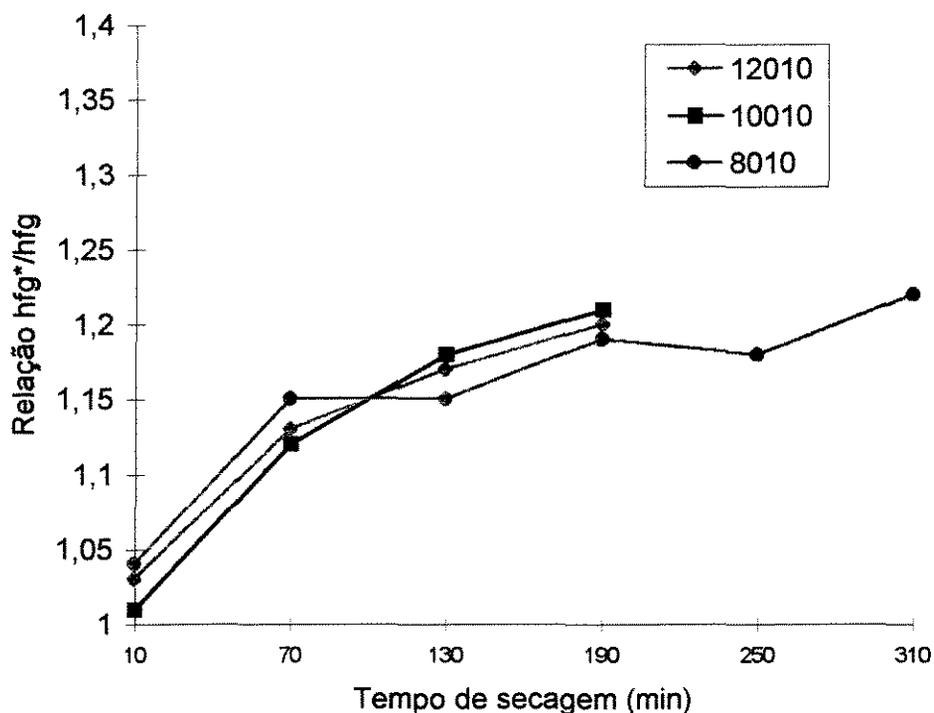


Figura 29 - Relação entre calor latente de vaporização da água contida no produto e o calor latente de vaporização da água livre (hfg^*/hfg) em função do tempo de secagem para os tratamentos 12010, 10010 e 8010.

Segundo Lasseran (1988), o calor latente de vaporização (entalpia de vaporização) diminui quando a temperatura aumenta, mas em temperatura constante somente sofre acréscimo quando o conteúdo de umidade for menor que 15%.

Na Figura 29 observa-se que aos dez minutos de secagem com umidade dos grãos de 17,40; 16,90 e 17,20% para os tratamentos 12010, 10010 e 8010 respectivamente, nota-se que a relação hfg^*/hfg está entre 1,00 e 1,05, ou seja, o calor latente de vaporização muito próximo ao da água livre. Aos setenta minutos a umidade foi reduzida para 13,80; 14,54 e 15,81% e portanto próximo aos 15%, sendo que a relação hfg^*/hfg sofre um acréscimo significativo a partir desse ponto.

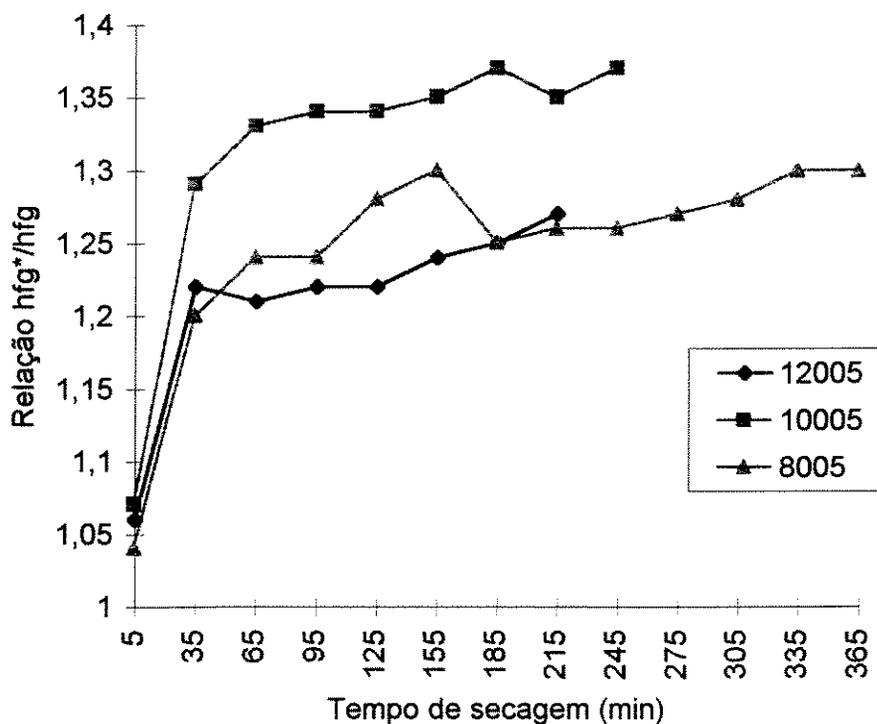


Figura 30 - Relação entre calor latente de vaporização da água contida no produto e o calor latente de vaporização da água livre (hfg^*/hfg) em função do tempo de secagem para os tratamentos 12005, 10005 e 8005.

Para os dados da Figura 30 ocorre praticamente a mesma situação, somente com as relações hfg^*/hfg maiores em todos os tratamentos em função das menores temperaturas atingidas pelos grãos durante a secagem. É importante salientar que o trigo duro IAC1002 não apresentou o mesmo comportamento da razão hfg^*/hfg do modelo desenvolvido por Cenkowski *et al.* (1992). Na Figura 6 em comparação com as Figuras 29 e 30 nota-se que o

IAC1002 acompanha mais a tendência da relação hfg^*/hfg dos trigos "hard" e "soft" do que do grão de cevada, como mostra o trabalho para trigo duro dos autores.

Para as vazões de ar verifica-se que quanto mais seco o produto, menor a vazão do ar de secagem, o que ganha importância nos projetos de secadores comerciais. Esta diminuição de vazão está relacionada a um aumento da pressão estática no leito pelo aumento da densidade aparente do grão e a diminuição do tamanho dos espaços intergranulares que aumenta o atrito do ar com o grão. Ocorreu para os tratamentos 12010, 10010 e 8010 uma diminuição respectivamente de vazão na ordem de 15,0; 13,8 e 16,9% e nos tratamentos 12005, 10005 e 8005 na ordem de 18,9; 22,5 e 22% respectivamente.

A secagem ao sol em camada delgada, nas condições da região de Campinas e em virtude da época em que foi realizada (verão), parece bastante promissora, superando até mesmo em termos de taxa de secagem ($1,92\% \cdot h^{-1}$) os tratamentos 8005, 8010 e sendo praticamente igual ao tratamento 10005. Para trigo dentro desta faixa de umidade (19,86 à 10,26%) e em pequenas quantidades de produto a ser seco (principalmente para pequenos produtores) torna-se uma secagem bastante econômica.

Na Tabela 50 pode-se observar um resumo de alguns parâmetros envolvidos na secagem de todos os tratamentos (12010, 10010, 8010, 12005, 10005, 8005 e Solar).

Tabela 50 - Parâmetros envolvidos na secagem artificial e solar para todos os tratamentos estudados.

Tratamento	Tempo total câmara secagem (min)	Tempo total câmara repouso (min)	Tempo total secagem ¹ (h)	Umidade final (%)	Taxa média secagem ($\% \cdot h^{-1}$)	Rendimento térmico médio (%)	Consumo específico calor médio ($kJ \cdot kg^{-1}$)	Queda de vazão (%)
12010	40	200	4,0	10,00	3,26	82,8	2775	15,0
10010	40	200	4,0	11,11	2,78	84,2	2767	13,8
8010	60	300	6,0	11,04	1,78	77,0	2828	16,9
12005	40	200	4,0	10,66	2,61	77,2	2973	18,9
10005	45	225	4,5	11,30	2,07	72,4	3220	22,5
8005	65	325	6,5	11,04	1,54	71,0	3059	22,0
Solar	-	-	5,0	10,26	1,92	-	-	-

¹ Na determinação do tempo total de secagem foi considerado também o último período na câmara de repouso.

Ao analisar-se a Tabela 50 com a finalidade de aplicação dos dados obtidos em secadores intermitentes comerciais fica claro alguns pontos, para as condições específicas deste estudo:

- Retira-se mais umidade por hora e com isto diminui-se o tempo de secagem, melhora-se o rendimento do secador (termicamente e em consequência o consumo específico de calor) quando operamos com temperaturas mais altas e maior tempo de residência na câmara de secagem.
- Temperaturas mais elevadas e tempo de residência maior, para secadores intermitentes de pequeno porte, diminuem os custos operacionais (principalmente a mão-de-obra), uma vez que os secadores nacionais operam com fornalhas a lenha.
- Tempo de residência maior diminui o consumo específico de energia (ventilador e elevadores), e por diminuírem o número de "giros" do grão dentro do secador ocorre uma diminuição do nível de injúrias mecânicas.

5.3. Granulometria do Trigo

Na Tabela 51 observa-se os dados referentes ao Módulo de Finura (MF), Diâmetro Geométrico Médio (DGM) e o Índice de Uniformidade (IU) do trigo IAC1002 moído em moinho de martelos em relação aos tratamentos de secagem.

Tabela 51 - Dados referentes a moagem do trigo IAC1002, Módulo de Finura (MF), Diâmetro Geométrico Médio (DGM) e Índice de Uniformidade (IU) em relação aos tratamentos de secagem.

Índices	Secagem artificial			Secagem artificial			Média secagem artificial	Solar	
	10 minutos			5 minutos					
	120	100	80	120	100	80			
MF	2,83	2,89	2,88	2,70	2,82	2,84	2,83	3,05	
DGM (μm)	740,51	771,96	766,63	676,70	735,40	745,66	739,48	862,50	
IU (%)	> 2 mm	2,76	3,71	3,38	2,48	3,42	2,33	3,01	2,64
	Entre 2 e 0,6 mm	65,22	66,85	65,55	60,80	63,45	66,13	64,67	72,72
	< 0,6 mm	32,02	29,44	31,07	36,72	33,13	31,54	32,32	24,64

Ao analisar-se os dados da Tabela 51 em termos da média dos tratamentos com secagem artificial comparados com os da secagem solar observa-se que, a secagem a altas temperaturas diminui o Módulo de Finura (MF) do trigo, o Diâmetro Geométrico Médio e para o Índice de Uniformidade (IU) aumentou a proporção de partículas finas (31,2%) diminuindo a proporção de partículas médias (11,0%).

Estas constatações precisam ser melhor estudadas, uma vez que os dados apresentados representam a moagem de uma única amostra de cada um dos tratamentos, porém a tendência é muito significativa pois em nenhum dos processos de moagem o MF e por conseguinte o DGM dos tratamentos com secagem artificial aproximaram-se da secagem solar. Outra razão são os coeficientes de variação, o do MF para os seis dados de temperatura e média de 2,83 foi de 2,4% e para o DGM com média de 739,48 μm foi de 4,6%.

Nos trabalhos de Hansen & Henderson (1966), Wondra *et al.* (1995c) e Zanotto *et al.* (1996), fica clara a influência da granulometria das rações no desempenho dos animais e no consumo de energia elétrica dos equipamentos para obtê-la. Confirmada esta tendência, embora utilize-se um moinho sempre com as mesmas características na moagem (diâmetro de furos das peneiras, número de martelos, igual rotação, etc.), para a redução das partículas, conforme o tipo de processamento sofrido na secagem dos grãos, a ração produzida poderá apresentar as mais variadas características em termos de granulometria e consumo de energia.

A compra de grãos pelas fábricas de rações neste caso deverá ser acompanhada por um histórico dos produtos em termos de secagem, e a qualidade no processamento poderá vir a ser uma exigência junto aos produtores de matérias primas.

5.4. Desempenho dos Frangos de Corte

O desempenho dos frangos de corte foi analisado em função do peso total (g) aos 7, 14 e aos 21 dias conforme pode-se observar na Tabela 52.

Tabela 52 - Peso total (g) dos frangos de corte da linhagem ROSS aos 7, 14 e 21 dias de idade (médias de 5 repetições).

Tratamentos	Idade em dias		
	7	14	21
T1	150,50 ^a	373,30 ^a	771,60 ^a
T2	138,25 ^a	351,13 ^a	733,25 ^a
T3	142,60 ^a	346,90 ^a	726,20 ^a
T4	138,50 ^a	349,40 ^a	732,90 ^a
T5	136,50 ^a	336,30 ^a	717,00 ^a
T6	138,40 ^a	333,20 ^a	711,40 ^a
T7	139,10 ^a	351,20 ^a	738,20 ^a
T8	151,10 ^a	383,60 ^a	801,30 ^a

¹No tratamento T2 às médias foram obtidas com 4 repetições, considerando-se uma unidade experimental como parcela perdida (um dos frangos foi considerado como refugo e o outro morreu de morte súbita).

²Médias dentro das colunas com sobrescritos comuns não apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey (P > 0,05).

No Apêndice E pode-se encontrar os resumos e as tabelas da análise de variância (ANOVA²³) para o peso total dos frangos por tratamento e dentro dos períodos de crescimento de 1-7, 8-14 e 15-21 dias.

Na análise de variância do experimento obteve-se para todos os períodos estudados diferenças não significativas ($P > 0,05$), ou seja os pesos totais dos frangos de corte, em todos os períodos estudados, não diferem entre si em virtude dos tratamentos a um nível de significância de 5%.

Deve-se no entanto para o presente estudo avaliar-se alguns aspectos de fundamental importância. Nas Figuras 31,32 e 33 são apresentados os tratamentos, por períodos estudados, em relação ao peso total dos frangos.

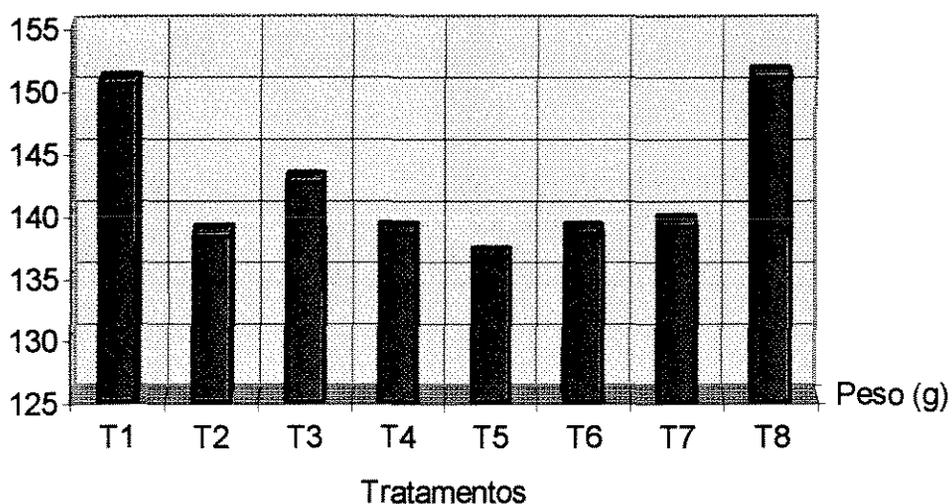


Figura 31 - Peso dos frangos em gramas por tratamento aos 7 dias de idade ($P=0,27$).

²³ Foi calculada com o "software" EXEL 7.0 para WINDOWS 95.

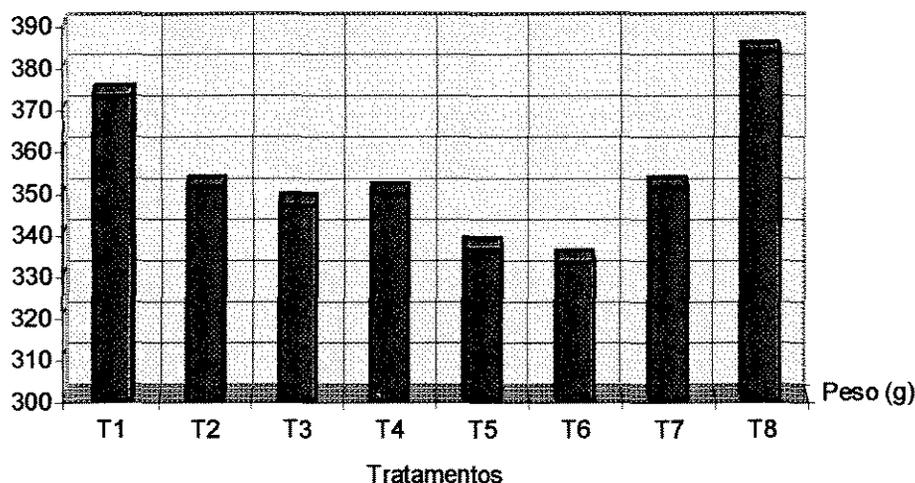


Figura 32 - Peso dos frangos em gramas por tratamento aos 14 dias de idade ($P=0,07$).

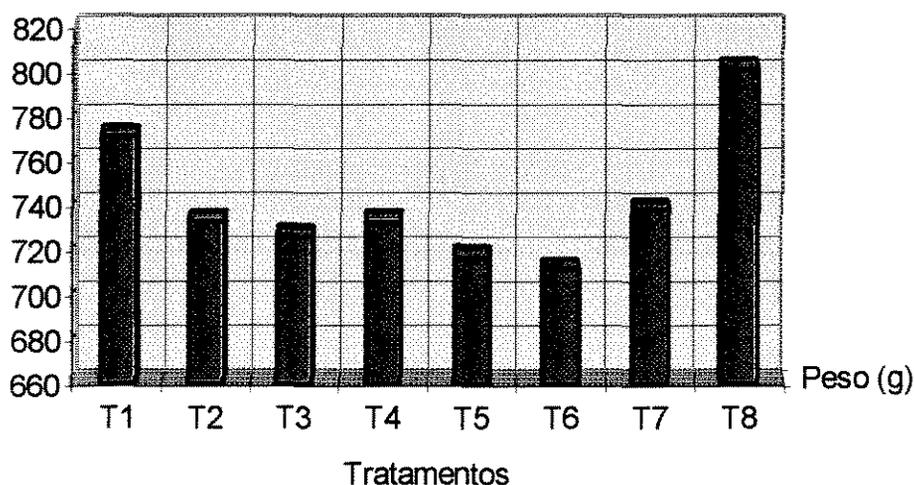


Figura 33 - Peso dos frangos em gramas por tratamento aos 21 dias de idade ($P=0,20$).

Ao analisar-se as Figuras 32 e 33, nota-se uma clara tendência em relação às temperaturas e tempos de residência empregados. Os tratamentos cujas rações foram utilizados os trigos secos com maior tempo de residência (T1, T2 e T3), apresentaram maiores ganhos de peso dos frangos nos 14 dias de idade em relação aos demais (T4, T5 e T6), e esta tendência manteve-se aos 21 dias. Analisando-se as temperaturas dentro do mesmo tempo de residência, observa-se que quanto maior a temperatura empregada na secagem do trigo usado

nas rações, maior propensão a um aumento do peso final dos frangos aos 14 e 21 dias de idade, $T1 > T2 > T3$ e $T4 > T5 > T6$.

Os tratamentos T1 (12010) e T8 (secagem ao sol + 0,25% de L-lisina) foram os que apresentaram maiores pesos totais aos 7, 14 e 21 dias. É oportuno observar-se na Figura 31, peso dos frangos aos 7 dias, que os tratamentos T1 e T8, já apresentavam uma nítida tendência de superioridade ($P=0,27$). Nesta fase, e até aproximadamente o terceiro dia as aves nutrem-se também via saco vitelino, e portanto é um período de menor resposta a tratamentos nutricionais, a não ser que alguns demonstrem uma nítida superioridade em relação aos demais.

Por outro lado, ao observar-se o intervalo de confiança para a diferença de médias aos 21 dias ($P=0,20$), encontra-se para esta diferença entre os tratamentos T1 e T8, avaliada pela prova de *t*, como não significativa, o mesmo ocorrendo entre os tratamentos T2, T3, T4, T5, T6 e T7. Ao comparar-se porém T1 e T8 aos demais tratamentos são encontradas diferenças significativas quando utiliza-se o mesmo teste.

As respostas deste experimento com relação aos níveis de significância estatística provavelmente foi mascarada pelo pequeno número de animais utilizados nas unidades experimentais, em virtude de que se dispunha de pequenas quantidades de trigo para o experimento com os frangos. Porém acredita-se que a tendência demonstrada é bastante clara e capaz de se repetir dentro de níveis de significância mais aceitáveis ($P < 0,05$) na medida que se disponha de mais produto aumentando-se com isto o número de animais do experimento.

O fator econômico também deve ser levado em conta (Pimentel Gomes, 1984). Por exemplo, supondo-se que, duas propriedades rurais que criam frangos tipo "minu"²⁴, a primeira seca o trigo com a metodologia do tratamento 12010 (T1) e a segunda com o 8005 (T6). A diferença entre o T1 (771,6 g) e o T6 (711,4g) é de 60,2 g e como esta diferença só é significativa ao nível de 20% de probabilidade, quer isto dizer, que ao determinar-se o intervalo de confiança para a diferença das médias, e neste caso é (29,0g; 91,4g), e portanto pode-se dizer, com 80% de probabilidade (aproximada) que, a verdadeira diferença deve estar

²⁴ Este tipo de frango é abatido com 800 a 850 g de peso, portanto mais próximo do peso final em que foi encerrado o presente experimento.

entre 29,0 e 91,4 g de peso, ao lado de uma probabilidade de 10% de que seja maior que 91,4 g e uma probabilidade de 10% de que na verdade a diferença seja menor que 29,0 g. Se a utilização do tratamento de secagem 12010 não custar mais que o de 8005 ele deve ser recomendado sem nenhuma dúvida, muito embora a diferença de peso final não seja significativa. Como pode-se observar neste trabalho, ficou demonstrado que o tratamento 12010 é muito superior ao 8005, e deste modo justifica plenamente a sua utilização.

Como existe uma probabilidade de 90% de que a diferença de peso final, entre os tratamentos T1 e T6, seja superior a 29,0 g por ave, extrapolando-se este valor para um aviário com capacidade para 12000 frangos, encontra-se um acréscimo aproximado de no mínimo 3,7% no peso final do lote.

Deve-se ter em conta também, que o trigo processado com diferentes tratamentos na secagem fez parte de somente 50% da ração formulada. O estudo com milho, com umidades mais elevadas, que é um dos principais ingredientes das rações de frangos e suínos, compondo de 70 à 80% das formulações, poderá mostrar respostas ainda mais significativas.

A melhoria verificada no desempenho das aves, que consumiram ração onde o trigo foi elevado a temperaturas mais altas, pode ser explicado provavelmente em virtude do aumento da digestibilidade dos carboidratos e solubilização parcial das proteínas, semelhante ao que ocorre no processo de peletização descrito por Moran (1987) *apud* Penz & Maiorka (1996).

6. CONCLUSÕES

As informações contidas no presente trabalho, considerando as temperaturas do ar empregadas, a relação de intermitência, o tempo de residência na câmara de secagem e a faixa de umidade em que o trigo foi secado, permitem as seguintes conclusões:

- O aumento da taxa de secagem e a redução do tempo total de exposição dos grãos de trigo ao ar aquecido, durante a secagem intermitente, podem ser obtidos pela elevação da temperatura do ar em conjunto com o aumento do tempo de residência na câmara de secagem.
- As perdas de água dos grãos de trigo dos diferentes tratamentos, durante a secagem intermitente, podem ser representadas por equações exponenciais ou polinômios de segundo grau o que confere taxas decrescentes de retirada de água a medida que diminui a umidade dos grãos.
- A secagem intermitente não causa efeitos prejudiciais à qualidade do trigo duro utilizado como ração para aves, sendo que, existe uma tendência a um maior peso final dos frangos quando utiliza-se temperaturas mais elevadas combinadas com um maior tempo de residência.
- Existem fortes indícios de que o aumento da temperatura dos grãos através da secagem artificial do trigo, pode interferir nos parâmetros avaliados de granulometria (MF), (IU) e (DGM), sendo evidenciada uma maior diminuição das partículas em relação a secagem ao sol.
- A utilização de temperaturas mais elevadas combinada com maior tempo de residência, conduziu a secagem intermitente a um melhor rendimento térmico e um menor consumo específico de calor.

7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Aproved methods of the American Association of Cereal Chemists**, 7. ed. St.Paul, AACC, 1983. v. 1, 2.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Aproved methods of the American Association of Cereal Chemists** . St.Paul, AACC, 1984.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Aproved methods of the American Association of Cereal Chemists** , 8. ed. St.Paul, AACC, 1990. V. 2.

ARNOSTI JUNIOR, S. **Análise da influência da velocidade e temperatura do fluido na secagem de sementes em leito deslizante e escoamentos cruzados**. São Carlos, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia da UFSCar. 1993. 95f. Diss. Mestr. em Engenharia Química - Pesquisa e Desenvolvimento de Processos Químicos.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. ed. By Helrich, K. 15 ed. Arlington, Virginia, AOAC, 1990.

BAKKER-ARKEMA, F.W. Selected aspects of crop processing and storage: A review. **J. agric. Engng Res.**, v. 30, p. 1-22, 1984.

BAKKER-ARKEMA, F.W. High-temperature grain drying. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE GRÃOS, 1993, Canela. **Anais...** Canela: CESA/ FAO, 1994. 522p. p. 163-176.

BAKKER-ARKEMA, F.W; BALLINGER, M. **Stack-type crossflow grain dryer**. ASAE, St.Joseph, 1983. Paper n. 83-3015.

BAKKER-ARKEMA, F.W.; FONTANA, C. **Comparison of rice drying systems**. ASAE, Chicago, 1983. Paper n. 83-3532.

BAR, W.H.; PIZZINATTO, A. **Análise e avaliação de trigo e de suas farinhas quanto às qualidades tecnológicas**. Campinas, ITAL. 1979. 114p. Não publicado.

BASTOS, E. **Trigo: da lavoura ao pão**. Ícone Editora Ltda: São Paulo, 1987. 95p.

BEVILACQUA, R. Quality control and grain storage the role of the Canadian Grain Commission. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE GRÃOS, 1993, Canela. **Anais...** Canela: CESA/ FAO, 1994. 522p. p.13-32, 1994.

- BIAGI, J.D.; SILVA, I.J.O. da. Software para determinar as propriedades psicrométricas do ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA 19., 1990, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ/USP, 1990. v. 2, p. 1161-1175.
- BIAGI, J.D.; VALENTINI, S.R.T.; QUEIROZ, D.M. Secagem de produtos agrícolas. In: CORTEZ, L.A.B.; MAGALHÃES, P.S.G. (coordenadores). **Introdução à engenharia agrícola**. Editora da Unicamp: Campinas, 1992. p. 245-266.
- BOBBIO, F.O.; BOBBIO, P.A. **Introdução à química de alimentos**. 2. ed. Livraria Varela: São Paulo, 1992a. 223p.
- BOBBIO, P.A.; BOBBIO, F.O. **Química do processamento de alimentos**. 2. ed. Livraria Varela: São Paulo, 1992b. 151p.
- BOUNOUS, E.B. **Comparação de métodos de secagem em sementes de azevém anual (*Lolium multiflorum* L.)**. Pelotas, Faculdade de Agronomia da UFPel. 1986. 109f. Diss. Mestr. em Agronomia - Tecnologia de Sementes.
- BOYACLOGLU, M.H.; D'APPOLONIA, B.L. Characterization and utilization of durum wheat for breadmaking. I. Comparison of chemical, rheological, and baking properties between bread wheat flours and durum wheat flours. **Cereal Chemistry**, v. 71, n. 1, p. 21-28, 1994a.
- BOYACLOGLU, M.H.; D'APPOLONIA, B.L. Characterization and utilization of durum wheat for breadmaking. II. Study of flour blends and various additives. **Cereal Chemistry**, v. 71, n. 1, p. 28-34, 1994b.
- BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de semente**. Brasília, 1992. 188p.
- BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying cereal grains**. The AVI Publishing Co.: Westport, Connecticut, 1974. 265p.
- BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Van Nostrand Reinold: New York, 1992. 450p.
- CAMARGO, C.E. de O.; CAMARGO, C.R. de O.; FELÍCIO, J.C. *et al.* **Avaliação das características agronômicas e tecnológicas de genótipos de trigo duro, trigo e triticale**. Campinas, IAC, 1993. 27p. (Boletim Científico, 29).
- CAMPOS, M.G.; HARA, T.; VIEIRA, M. et al. Percentual de grãos inteiros no beneficiamento de arroz em casca, em relação à temperatura do ar e ao tempo de residência na câmara de secagem. **Engenharia Agrícola**, n. 12, p. 9-17, 1992.

- CARVALHO, N.M. **A secagem de sementes**. FUNEP: Jaboticabal, 1994. 165p.
- CENKOWSKI, S.; JAYAS, D.S.; HAO, D. Latent heat of vaporization for selected foods and crops. **Canadian Agricultural Engineering**, v. 34, n. 3, p. 281-286, July/Aug./Sept. 1992.
- CHIEN, K.S.; MATTHES, R.K.; VERMA, B.P. Dimensional analysis of seed-moisture movement in deep-bed drying. **Transactions of the ASAE**, v. 14, p. 277-281, 1971.
- CIACCO, C.F.; CHANG, Y.K. **Tecnologia de massas alimentícias**. São Paulo, FTPT. [ca.1982]. 187p. (Série Tecnologia Agroindustrial, 8).
- CIACCO, C.F.; CRUZ, R. **Fabricação de amido e sua utilização**. São Paulo, FTPT. [ca.1982]. 152p. (Série Tecnologia Agroindustrial, 7).
- CIENTEC . **Laudo de estudo de fornalha a lenha de fogo direto da CASP S. A.** Porto Alegre, Fundação de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul. 1979. Não publicado.
- DALBELLO, O. **Eficiência do processo de secagem do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) e milho pipoca (*Zea mays* L.)**. Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP. 1995. 112f. Diss. Mestr. em Engenharia Agrícola - Pré-Processamento de Produtos Agropecuários.
- DICK, J.W. Basic Structure of durum wheat emphasizing its unique chemical, physical and quality characteristics. **The Macaroni Journal**, Oct. 1981.
- DIEMAR, W. **Laboratoriumsbuch fur Lebensmittelchemiker**. 8 aufl. Drisdem: Verlag Von Theodor Steinkopff, 1963.
- EL-DASH, A. A.; CAMARGO, C.O.; DIAZ, N.M. **Fundamentos da tecnologia de panificação**. São Paulo, FTPT.[ca.1982]. 349p. (Série Tecnologia Agroindustrial, 6)
- EMATER-RS - ASSOCIAÇÃO DE EMPREENDIMENTOS DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. **Norma de Identidade, Qualidade, Embalagem e Apresentação do Trigo (*Triticum aestivum* L.)**. Porto Alegre: EMATER-RS, 1994. 11p. Texto legal.
- EMATER-RS - ASSOCIAÇÃO DE EMPREENDIMENTOS DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL; EMBRAPA-CNPT - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Trigo com qualidade**. Porto Alegre: EMATER- RS, 1995. 10p.

- FARONI, L.R.D.; HARA, T.; DALPASQUALE, V.A. Determinação do rendimento do arroz (cultivar IR 841) após secagem às temperaturas de 50°, 60°, 70°C, para períodos de repouso de 30, 60, 120 e 180 minutos. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 11 e 12, p. 26-30, 1986-1987.
- FELÍCIO J.C. Seção de Arroz e Cereais de Inverno. Instituto Agrônomo de Campinas-IAC. Comunicação pessoal, 1996.
- FELÍCIO, J.C.; CAMARGO, C.E. de O.; VITTI, P. *et al.* Origem e avaliação de trigo 'Tapajós'(IAC 72), 'Anhumas'(IAC 227) e 'Yaco'(IAC 287) para o estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 52, n. 2, p. 219-235, 1994a.
- FELÍCIO, J.C.; CAMARGO, C.E. de O.; VITTI, P. *et al.* Comportamento agrônomo e avaliação tecnológica dos cultivares de trigo IAC 120 (Curumi), IAC 286 (Takaoka) e IAC 289 (Marruá) para o estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 53, n. 2, p. 191-208, 1994b.
- FOUST, A.S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, W. *et al.* **Princípios das operações unitárias**. 2. ed. Guanabara Dois S. A.: Rio de Janeiro, 1982. 670p.
- FRANCO, J.B.R. Engenheiro Agrônomo. Estrêla-RS. Comunicação Pessoal, 1996.
- GALLAHER, G.L. A method of determining the latent heat of agricultural crops. **Agricultural Engineering**, v. 32, n. 1, p. 34,38, Jan. 1951.
- GALLI, J. Sobre as causas do "GESSO" em arroz. **Lavoura Arrozeira**, n. 309. set./out. 1978.
- GAMA ALVES, I.T. **Aspectos da evolução da produção e da pesquisa de trigo no Brasil**. Campinas, Faculdade de Economia da UNICAMP. 1991. 174f . Tese Doutorado em Economia.
- GARCIA, E.E.C.; PADULA, M.; SARANTÓPOULOS, C.I.G.L. **Embalagens plásticas: propriedades de barreira**. Campinas , ITAL. 1989. 44p. Não publicado.
- GUARIENTI, E.M. **Qualidade industrial do trigo**. Passo Fundo, EMBRAPA-CNPT. 1993. 27p. (Documentos, 8).
- GUSTAFSON, R.J.; MOREY, R.V. Moisture and quality variations across the column of a crossflow grain dryer. **Transactions of the ASAE**, v. 24, n. 2, p. 1621-1625, 1981.
- GUSTAFSON, R.J.; MOREY, R.V.; CHRISTENSEN, C.M. *et al.* Quality changes during high-low temperature drying. **Transactions of the ASAE**, v. 21, p. 162-168, 1978.

- HALL, C.W. **Drying and storage of agricultural crops**. Avi Publishing Company: Westport, 1980. 381p.
- HANSEN, R.C.; HENDERSON, S.M. Agricultural grain comminution: sising critique and nutritive analysis. **Transactions of the ASAE**, v. 9, n. 6, p. 818-823, 1966.
- HANSEN, R.C.; STEWART, R.E. Energy-size reduction relations in agricultural grain comminution. **Transactions of the ASAE**, v. 8, n. 1, p. 230-234,237. 1965.
- HENDERSON, S.M. Feed griding studies. **Agricultural Engineering**, v. 42, n. 7, p. 350-353, July 1961.
- HENDERSON, S.M.; PERRY, R.L. **Agricultural process engineering**. Avi Publishing Company: Westport, 1982. 442p.
- IBGE. Anuário estatístico do Brasil 1989-1994. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, RJ, 1989-1994.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. 3. ed. São Paulo, 1985.
- JACOBSEN, A.J. **O panorama setorial da triticultura gaúcha no processo de integração do mercosul**. Porto Alegre, EMATER-RS. 1993. 32p. (Série Realidade Rural, 8).
- JENSEN, A.H.; TERRILL, S.W.; BECKER, D.E. Nutritive value of corn dried at 140°, 180° and 220° fahrenheit for swine of different ages. **J. Anim. Sci.**, v. 19, p. 629-638, 1960.
- JOHNSON, H.K.; DALE, A.C. Heat required to vaporize moisture. **Agricultural Engineering**, v. 35, n. 10, p. 705-709,714, oct. 1954.
- KNIGHT, J.W. **Wheat starch and gluten and their conversion products**. Leonard Hill: London, 1965. 156p.
- KREYGER, J. **Drying and storing grains , seeds and pulses in temperate climates**. Institute for Storage and Processing of Agricultural Produce-IBVL: Wageningen, 1972. 333p.
- KRUGER, J.E.; MATSUO, R.R. Comparison of alpha-amylase and simple sugar levels in sound and germinated durum wheat during pasta processing and spaghetti cooking. **Cereal Chemistry**, v. 59, n. 1, p. 26-31, 1982.
- LACERDA FILHO, A.F. de; QUEIROZ, D.M.; ROA, G. Avaliação experimental de secador comercial intermitente de arroz. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 7, p. 39-49, 1982.

- LASSERAN, J.C. The drying of grains-principles, equipment, energy savings and fire safety. In: MULTON, J.L. (editor). **Preservation and storage of grains, seeds and their by-products**. Tec & Doc-Lavoisier: Paris, 1988. p. 606-663.
- LASSERAN, J.C. **Aeração de grãos**. Trad. de José Carlos Celaro, Miryan Aponchiado Celaro e Miriam Costa Val Gomide. Viçosa, CENTREINAR. 1981.128p. (Série CENTREINAR, 2).
- LIMA, G.J.M.M. de. **O trigo na alimentação de suínos e aves**. Concórdia, EMBRAPA - CNPSA. 1996. 4p. Não publicado.
- LOEWER, O.J.; BRIDGES, T.C.; BUCKLIN, R.A. **On-farm drying and storage systems**. American Society Agricultural Engineers: [S.I.], 1994. 650p.
- LUZ, C.A.S. **Secagem de sementes de arroz em secador intermitente lento**. Pelotas, Faculdade de Agronomia da UFPel. 1986. 103f. Diss. Mestr. em Agronomia - Tecnologia de Sementes.
- MADAMBA, P.S.; DRISCOLL, R.H.; BUCKLE, K.A. Shrinkage, density and porosity of garlic during drying. **Journal of Food Engineering**, v. 23, p. 309-319, 1994.
- MELLO JR, C.A. Processamento de grãos de milho e sorgo visando aumento do valor nutritivo. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 4., 1991, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1991. 302 p. p.263-283.
- MIRANDA, T.R. **Secagem intermitente lenta de sementes de soja (*Glycine max* L. Merrill)**. Pelotas, Faculdade de Agronomia da UFPel. 1978. 93f. Diss. Mestr. em Agronomia - Tecnologia de Sementes.
- MITCHELL, R.J.; WALDROUP, P.W.; HILLARD, C.M. *et al.* Effects of pelleting and particle size on utilization of roasted soybeans by broilers. **Poultry Science**, v. 51, n. 2, p. 506-510, 1972.
- NEDEL, J.L. Progresso genético no rendimento de grãos de cultivares de trigo lançadas para cultivo entre 1940 e 1992. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v 29, n. 10, p. 1565-1570, out. 1994.
- NELLIST, M.E. Developments in continuous flow grain driers. **The Agricultural Engineer**, p. 74-80, 1982.
- NOGUEIRA, A.C.L. **Avaliação de secagem de arroz (*Oryza sativa* L.) por fluxo cruzado em escala de laboratório**. Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP. 1991. 122f. Diss. Mestr. em Engenharia Agrícola.

- NORDSTROM, J.W.; MEADE, R.J.; SOWERS, J.E. *et al.* Effect of drying temperatures on nutritive value of opaque-2 corn. **J. Anim. Sci.**, v. 33, p. 237-238, 1971.
- OLIVEIRA, P.A.V. de; MARTINS, R.R. **Secador de grãos pré-fabricado em cimento para pequenas propriedades.** Concórdia, EMBRAPA-CNPISA. 1992. 5p. (Comunicado Técnico, 193).
- OSÓRIO, E.A. **A cultura do trigo.** Editora Globo S.A.: São Paulo, 1992. 218p.
- OTTEN, L.; BROWN, R.; ANDERSON, K. A study of commercial crossflow grain dryer. **Canadian Agricultural Engineering**, v. 22, n. 2, p. 164-170, Dec. 1980.
- PARK, K.J. **Secagem de produtos agrícolas.** Campinas, FEAGRI/UNICAMP. 1991. 167p. Não publicado.
- PEÑA, R.J.; AMAYA, A. **Rapid estimation of gluten quantity in bred wheat, durum wheat and triticale using the sodium-dodecyl-sulfate (SDS) sedimentation test.** México: CIMMYT, 1985. Unpublished grain quality methods.
- PENZ, A.M.; MAIORKA, A. Uso de rações com diferentes graus de granulometria para frangos de corte. In: CONFERÊNCIA APINCO'1996 DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 1996, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FACTA, 1996. 208p. p.153-170.
- PICKETT, L.K.; PINKERTON, J.W.; YOERGER, R.R. *et al.* Accelerated drying of corn. **Transactions of the ASAE**, v. 6, n. 2, p. 151-157, 1963.
- PIMENTEL GOMES, F. **A estatística moderna na pesquisa agropecuária.** POTAFOS: Piracicaba, 1984. 160p.
- PIROZI, M.R. **Avaliação da qualidade tecnológica de variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) durante o armazenamento.** Lavras, Curso de Ciência de Alimentos da UFLA. 1995. 149f. Diss. Mestr. em Ciência de Alimentos - Tecnologia de Cereais.
- PIZZINATTO, A.; CAMPAGNOLLI, D.M.F. **Avaliação e controle da qualidade da farinha de trigo.** Campinas, ITAL. 1992. 48p. Não publicado.
- PIZZINATTO, A.; MAGNO, C.P.R.S.; CAMPAGNOLLI, D.M.F. **Avaliação e controle de qualidade da farinha de trigo.** Campinas, ITAL. 1996. 67p. Não publicado.
- PUZZI, D. **Abastecimento e armazenamento de grãos.** Instituto Campineiro de Ensino Agrícola: Campinas, 1986. 603p.
- REUNIÃO DA COMISSÃO TÉCNICA DE TRIGO DA SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Recomendações para 1996.** Campinas, IAC, 1996. 68p. (Boletim Técnico, 167).

- REUNIÃO DA COMISSÃO SUL BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO, 29, Porto Alegre, 1997. **Recomendações da...**, Porto Alegre: Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Trigo, 1997. 82p.
- RIVERA, P.H.; PEO, E.R.; MOSER, B.D. *et al.* Effect of drying temperature on nutritional quality and availability of amino acids in normal and opaque-2 corn for rats. **J. Anim. Sci.**, v. 46, n. 5, p. 1275-1286, May 1978.
- ROSA, O.S. Temperaturas recomendadas para a secagem de sementes de trigo e arroz utilizando o método intermitente. In: SEMINÁRIO PANAMERICANO DE SEMILLAS, 5., 1966, Maracay. **Anais...** Maracay: 1966. 27p.
- SABBAH, M.A.; FOSTER, G.H.; HAUGH, C.G. *et al.* Effect of tempering after drying on cooling shelled corn. **Transactions of the ASAE**, v. 15, p. 763-765, 1972.
- SCHÜLER, E. Secagem com programa escalonado reduz quebra do grão. **Lavoura Arrozeira**, v. 48, n. 424. nov./dez. 1995.
- SHELLENBERGER, J.A. Production and utilization of wheat. In: POMERANZ, Y. (editor). **Wheat chemistry and technology**. American Association of Cereal Chemists: St.Paul, 1978. p.1-18.
- SILVA, J.S.; AFONSO, A.D.L.; GUIMARÃES, A.C. *et al.* Análise do sistema de secagem. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 2, n. 5. 31p.1992a.
- SILVA, J.S.; SABIONI, P.M.; AFONSO, A.D.L. *et al.* Avaliação de secadores e custo de secagem de produtos agrícolas. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 2, n. 2. 19p.1992b.
- SINÍCIO, R.; MUIR, W.E. Comparison of mathematical models to simulate aeration of wheat stored in Brazil. **J. agric. Engng Res.**, v. 64, n. 2, p. 119-130, June 1996.
- SOARES, L.M.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Survey of aflatoxins, ochratoxin A, zearalenone, and sterigmatocystin in some Brazilian foods by using multi-toxin thin-layer chromatographic method. **J. Assoc. Off. Anal. Chem.**, Washington, 72: 22-26.
- SODHA, M.S.; BANSAL, N.K.; KUMAR, A. *et al.* **Solar crop drying**. CRC Press: Boca Raton, 1987. v. 1. 141p.
- STAUDT, E.; ZIEGLER, E. **Flour chemistry**. Buhler Brothers Ltda: Switzerland, 1973. 200p.

- STEFFE, J.F.; SINGH, R.P.; BAKSHI, A.S. Influence of tempering time and cooling on rice milling yields and moisture removal. **Transactions of the ASAE**, v. 22, p. 1214-1218, 1224, 1979.
- STEVENS, G.R.; THOMPSON, T.L. Improving crossflow grain dryer design using simulation. **Transactions of the ASAE**, v. 19, n. 4, p. 778-781, 1976.
- THOMPSON, H.J.; SHEDD, C.K. Equilibrium moisture and heat of vaporization of shelled corn and wheat. **Agricultural Engineering**, v. 35, n. 11, p. 786-788, Nov. 1954.
- VILLELA, F.A. **Efeitos da secagem intermitente sobre a qualidade de sementes de milho**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura da USP. 1991. 104f. Tese Doutorado em Agronomia - Fitotecnia.
- WALL, J.S.; JAMES, C.; DONALDSON, G.L. Corn proteins: chemical and physical changes during drying of grain. **Cereal Chemistry**, v. 52, n. 6, p. 779-790, nov. dec. 1975.
- WEBER, E.A. **Armazenagem agrícola**. Kepler Weber Industrial: Porto Alegre, 1995. 400p.
- WONDRA, K.J.; HANCOCK, J.D.; KENNEDY, G. A. *et al.* Effects of reducing particle size of corn in lactation diets on energy and nitrogen metabolism in second-parity sows. **J. Anim. Sci.**, v. 73, n. 2, p. 427-432, 1995a.
- WONDRA, K.J.; HANCOCK, J.D.; BEHNKE, K.C. *et al.* Effects of particle size and pelleting on growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in finishing pigs. **J. Anim. Sci.**, v. 73, n. 3, p. 757-763, 1995b.
- WONDRA, K.J.; HANCOCK, J.D.; KENNEDY, G. A. *et al.* Reducing particle size of corn in lactation diets from 1,200 to 400 micrometers improves sow and litter performance. **J. Anim. Sci.**, v. 73, n. 2, p. 421-426, 1995c.
- WOODFORDE, J.; LAWTON, P.J. Drying cereal grains in beds six inches deep. **J. agric. Engng Res.**, v. 30, p. 146-171, 1965.
- ZANCHE, C. de. **Secaderos de cereales**. Trad. de Manuel Camps Michelena. Mundi-Prensa: Madrid, 1991. 96p.
- ZANOTTO, D.L.; BELLAVER, C. **Método de determinação da granulometria de ingredientes para uso em rações de suínos e aves**. Concórdia, EMBRAPA - CNPSA. 1996. 5p. (Comunicado Técnico, 215).
- ZANOTTO, D.L.; NICOLAIEWSKY, S.; FERREIRA, A.S. *et al.* Granulometria do milho na digestibilidade das dietas para suínos em crescimento e terminação. **R. Soc. Bras. Zootec.**, Viçosa, v. 24, n.3, p. 428-436, 1995.

ZANOTTO, D.L.; NICOLAIEWSKY, S.; FERREIRA, A.S. *et al.* Desempenho produtivo de suínos submetidos a dietas com diferentes granulometrias do milho. **R. Soc. Bras. Zootec.**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 501-510, 1996.

ZIMMER, G.J.; VILLELA, F.A.; TILLMANN, M.A.A. *et al.* Aeração seca para sementes de arroz. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 27, n. 9, p. 1371-1378, set. 1992.

APÊNDICES

Apêndice A

Dados da Câmara Fria Durante o Período de Armazenamento

Neste apêndice encontram-se apresentados na Tabela 1A os dados referentes as temperaturas médias semanais e umidades relativas médias semanais registradas por Termohigrógrafo, bem como as cinco determinações das temperaturas na massa de grãos durante o período de 12/8/96 à 17/3/97.

Tabela 1A - Temperaturas médias, umidade relativa média do ar e temperatura do grão estocado na câmara fria.

Semana	Temperatura média do ar (°C)	Umidade relativa média do ar (°C)	Temperatura média dos grãos (°C)
12.08.1996-19.08.1996	5	> 90	
19.08.1996-26.08.1996	5	> 90	
26.08.1996-02.09.1996	5	> 90	
02.09.1996-09.09.1996	2	78-86	3,16
09.09.1996-16.09.1996	4	80-88	
16.09.1996-23.09.1996	4	78-86	
23.09.1996-30.09.1996	4	78-86	
30.09.1996-07.10.1996	4	78-86	3,93
07.10.1996-14.10.1996	2	78-86	
14.10.1996-21.10.1996	4	78-86	
21.10.1996-28.10.1996	4	78-86	
28.10.1996-04.11.1996	4	78-86	3,13
04.11.1996-11.11.1996	4	78-86	
11.11.1996-18.11.1996	3	76-86	
18.11.1996-25.11.1996	3	78-84	
25.11.1996-02.12.1996	3	78-84	
02.12.1996-09.12.1996	4	78-84	3,50
09.12.1996-16.12.1996	4	78-84	
16.12.1996-23.12.1996	4	78-84	
23.12.1996-30.12.1996	3	76-84	
30.12.1996-06.01.1997	2	76-82	
06.01.1997-13.01.1997	3	78-84	
13.01.1997-20.01.1997	3	78-84	
20.01.1997-27.01.1997	3	76-84	
27.01.1997-03.02.1997	2	76-84	
03.02.1997-10.02.1997	3	76-84	
10.02.1997-17.02.1997	3	74-84	
17.02.1997-24.02.1997	2	74-82	3,23
24.02.1997-03.03.1997	2	74-82	
03.03.1997-10.03.1997	3	74-80	
10.03.1997-17.03.1997	3	64	
Média	3,35	81,13	3,39
CV	27,3	5,49	9,89

Apêndice B

Neste apêndice observa-se os dados referentes a moagem do trigo com o uso do moinho experimental Buhler do ITAL (Tabela1B).

Tabela 1B - Produtos da moagem (peso em g) e rendimento em (%) do trigo IAC1002.

Produtos da moagem	Peso (g) ¹	Rendimento (R) (%)
Farinha de quebra 1	251,0	4,48
Farinha de quebra 2	86,1	1,54
Farinha de quebra 3	38,9	0,69
Total de Farinha de Quebra	376,0	6,71
Farinha de redução 1	945,3	16,88
Farinha de redução 2	873,9	15,61
Farinha de redução 3	547,3	9,77
Total de Farinha de Redução	2366,5	42,26
Total de Farinha	2742,5	48,97
Farelo	952,2	17,00
Farelinho	1517,4	27,10
	2469,6	44,10
Total de Produtos	5212,1	93,07
Total de perdas (P)	387,9	6,93
Totais	5600	100,00
	Extração (E)	53,59%

¹ O peso inicial da amostra foi de 5600 g.

² A extração da moagem é $E=R+2/3*P$

Apêndice C

Neste apêndice pode-se observar os resultados das análises do trigo de todos os tratamentos de secagem e da ração produzida a partir do trigo do tratamento solar (Tabela 1C) realizadas pela Nutron Alimentos Ltda de Campinas/SP.

Tabela 1C - Análises do trigo IAC1002 e da ração produzida com o tratamento de secagem ao sol.

Análises	Tratamentos							Ração ¹
	12010	10010	8010	12005	10005	8005	Solar	
Umidade (%)	10,61	11,94	11,45	11,02	12,02	11,23	11,09	10,53
Proteína Bruta (%)	10,57	10,88	10,21	10,45	10,54	10,11	10,52	19,04
Fibra Bruta (%)	2,20	2,50	1,95	2,35	1,95	2,00	2,15	3,25
Amido (%)	70,57	72,63	70,37	70,10	71,20	68,35	69,02	-
Densidade (g.cm ⁻³)	0,8079	0,8132	0,8202	0,8228	0,8189	0,8236	0,8096	-
Cinza (%)	-	-	-	-	-	-	-	5,86
cálcio(%)	-	-	-	-	-	-	-	1,01
Fósforo (%)	-	-	-	-	-	-	-	0,66
Sal (%)	-	-	-	-	-	-	-	0,48
Sódio (%)	-	-	-	-	-	-	-	0,19

¹Ração confeccionada a partir do tratamento solar sem lisina.

Apêndice D

Neste Apêndice pode-se observar os resumos dos resultados dos tratamentos de secagem do trigo realizados com o protótipo de secador intermitente (Tabelas 1D, 1E, 1F, 1G, 1H e 1I).

Tabela 1D - Dados de secagem do tratamento 12010.

Tempo secagem (min)	Temp. ar ambiente (°C)		Temp. plenum (°C)	Temp. saída (°C)	Rend. térmico (%)	Consumo específico calor (kJ/kg)	hfg*/hfg	Temp. câmara repouso (°C)	Umidade do produto (%)	Vazão ar (m³/min)
	BS ¹	BU ²								
0									20,35	
0-10	27,9	24,0	128,3	37,5	90,4	2530	1,03		17,40	3,38
10-60								57,3		
60-70	29,4	24,5	124,6	45,7	82,9	2769	1,13		13,80	3,07
70-120								59,7		
120-130	28,4	24,5	126,2	47,7	80,3	2857	1,17		11,36	2,96
130-180								64,7		
180-190	30,3	25,1	128,3	52,1	77,8	2946	1,20		10,00	2,87
190-240								69,4		
Média	29,0	24,5	126,8	45,7	82,8	2775	-	62,8	-	3,07

¹BS - Bulbo seco.²BU - Bulbo úmido.

Tabela 1E - Dados de secagem do tratamento 10010.

Tempo secagem (min)	Temp. ar ambiente (°C)		Temp. plenum (°C)	Temp. saída (°C)	Rend. térmico (%)	Consumo específico calor (kJ/kg)	hfg*/hfg	Temp. câmara repouso (°C)	Umidade do produto (%)	Vazão ar (m³/min)
	BS	BU								
0									19,94	
0-10	29,7	23,9	107,2	34,9	93,3	2487	1,01		16,90	3,27
10-60								50,6		
60-70	30,6	24,1	107,1	42,2	84,8	2737	1,12		14,54	3,06
70-120								55,0		
120-130	31,8	25,1	107,9	46,7	80,4	2889	1,18		12,49	2,96
130-180								58,4		
180-190	32,5	25,2	108,8	48,9	78,5	2956	1,21		11,11	2,82
190-240								61,6		
Média	31,1	24,6	107,7	43,2	84,2	2767	-	56,4	-	3,03

Tabela 1F - Dados de secagem do tratamento 8010.

Tempo secagem (min)	Temp. ar ambiente (°C)		Temp. plenum (°C)	Temp. saída (°C)	Rend. térmico (%)	Consumo específico calor (kJ/kg)	hfg*/hfg	Temp. câmara repouso (°C)	Umidade do produto (%)	Vazão ar (m³/min)
	BS	BU								
0									20,23	
0-10	24,6	20,4	84,3	33,1	85,8	2562	1,04		17,20	3,31
10-60								45,3		
60-70	26,3	21,0	83,5	39,1	77,6	2808	1,15		15,81	3,12
70-120								47,2		
120-130	27,3	21,7	83,5	40,1	77,2	2818	1,15		14,54	3,01
130-180								50,0		
180-190	28,2	23,2	83,4	42,5	74,5	2909	1,19		13,39	2,91
190-240								50,0		
240-250	29,5	23,4	83,7	43,0	75,1	2883	1,18		12,05	2,84
250-300								54,6		
300-310	30,4	23,3	82,3	44,9	72,1	2990	1,22		11,04	2,75
310-360								53,8		
Média	27,7	22,2	83,4	40,4	77,0	2828	-	50,1	-	2,99

Tabela 1G - Dados de secagem do tratamento 12005.

Tempo secagem (min)	Temp. ar ambiente (°C)		Temp. plenum (°C)	Temp. saída (°C)	Rend. térmico (%)	Consumo específico calor (kJ/kg)	hfg*/hfg	Temp. câmara repouso (°C)	Umidade do produto (%)	Vazão ar (m³/min)
	BS	BU								
0									20,02	
0-5	23,1	21,8	129,5	36,4	87,5	2609	1,06		19,41	3,38
5-30								46,2		
30-35	23,3	22,0	125,6	47,2	76,6	2987	1,22		17,27	3,19
35-60								49,8		
60-65	23,4	22,6	128,8	47,6	77,0	2969	1,21		15,94	3,02
65-90								50,7		
90-95	24,1	23,0	129,0	48,6	77,6	2985	1,22		14,68	2,96
95-120								52,7		
120-125	24,8	23,3	128,3	49,1	76,5	2992	1,22		13,50	2,89
125-150								53,3		
150-155	25,7	23,7	129,4	51,4	75,2	6042	1,24		12,49	2,82
155-180								53,6		
180-185	26,5	23,7	128,9	52,7	74,4	3075	1,25		11,11	2,76
185-210								56,4		
210-215	26,7	23,8	129,3	53,9	73,2	3125	1,27		10,66	2,74
215-240								57,9		
Média	24,7	23,0	128,6	48,4	77,2	2973	-	52,6	-	2,97

Tabela 1H - Dados de secagem do tratamento 10005.

Tempo secagem (min)	Temp. ar ambiente (°C)		Temp. plenum (°C)	Temp. saída (°C)	Rend. térmico (%)	Consumo específico calor (kJ/kg)	hfg*/hfg	Temp. câmara repouso (°C)	Umidade do produto (%)	Vazão ar (m³/min)
	BS	BU								
0									19,73	
0-5	24,9	21,9	104,0	34,2	88,2	2634	1,07		18,49	3,47
5-30								42,4		
30-35	22,9	21,3	105,9	45,1	73,3	3167	1,29		17,64	3,18
35-60								46,5		
60-65	23,4	21,5	106,9	47,4	71,3	3252	1,33		16,64	3,03
65-90								48,1		
90-95	23,7	21,9	107,7	48,4	70,6	3282	1,34		15,48	2,96
95-120								50,4		
120-125	24,5	22,3	108,3	49,4	70,3	3296	1,34		14,66	2,89
125-150								51,6		
150-155	25,2	22,6	108,2	50,0	70,1	3304	1,35		13,97	2,84
155-180								52,7		
180-185	26,1	23,8	108,0	51,5	69,0	3367	1,37		12,85	2,79
185-210								53,6		
210-215	27,3	24,1	109,5	52,0	70,0	3315	1,35		12,12	2,71
215-240								53,7		
240-245	27,4	23,8	108,6	52,6	69,0	3362	1,37		11,30	2,69
245-270								55,3		
Média	25,0	22,6	107,4	47,8	72,4	3220	-	50,5	-	2,95

Tabela II - Dados de secagem do tratamento 8005.

Tempo secagem (min)	Temp. ar ambiente (°C)		Temp. plenum (°C)	Temp. saída (°C)	Rend. térmico (%)	Consumo específico calor (kJ/kg)	hfg*/hfg	Temp. câmara repouso (°C)	Umidade do produto (%)	Vazão ar (m ³ /min)
	BS	BU								
0									20,39	
0-5	23,4	21,7	86,7	32,1	86,3	2549	1,04		18,28	3,37
5-30								37,3		
30-35	23,4	21,5	86,6	39,7	74,2	2934	1,20		17,74	3,17
35-60								41,8		
60-65	23,6	21,6	86,7	41,8	71,2	3049	1,24		16,74	3,10
65-90								43,0		
90-95	24,4	22,1	86,7	42,3	71,3	3042	1,24		16,07	3,02
95-120								44,0		
120-125	25,2	22,5	87,5	44,5	69,0	3129	1,28		15,37	2,96
125-150								45,4		
150-155	25,7	22,6	85,6	45,1	67,6	3189	1,30		14,60	2,89
155-180								45,6		
180-185	26,4	23,0	86,3	44,2	70,3	3074	1,25		14,20	2,85
185-210								47,3		
210-215	27,2	23,2	86,1	45,1	69,6	3098	1,26		13,45	2,78
215-240								47,0		
240-245	27,7	22,8	85,3	45,2	69,6	3095	1,26		12,97	2,78
245-270								46,5		
270-275	27,9	22,9	84,9	45,4	69,3	3108	1,27		12,30	2,74
275-300								47,2		
300-305	28,8	22,9	84,8	46,4	68,6	3133	1,28		12,11	2,71
305-330								48,0		
330-335	28,8	22,8	85,2	47,3	67,2	3190	1,30		11,39	2,67
335-360								50,4		
360-365	29,9	22,8	85,2	48,0	67,3	3180	1,30		11,04	2,64
365-390								49,7		
Média	26,3	22,5	86,0	43,6	71,0	3059	-	45,6	-	2,90

Apêndice E

Neste apêndice pode-se observar os resumos das análises de variância dos tratamentos das rações, nas fases de 1-7 dias, 8-15 dias e 16-21 dias de idade dos frangos.

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
T1	5	752,5	150,5	59,125
T2	4	553	138,25	141,0833333
T3	5	713	142,6	66,425
T4	5	692,5	138,5	85,25
T5	5	682,5	136,5	30,875
T6	5	692	138,4	31,925
T7	5	695,5	139,1	203,3
T8	5	755,5	151,1	385,425

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1152,642308	7	164,6631868	1,318138898	0,274940766	2,323169213
Dentro dos grupos	3872,55	31	124,9209677			
Total	5025,192308	38				

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
T1	5	1866,5	373,3	303,325
T2	4	1404,5	351,125	1592,395833
T3	5	1734,5	346,9	90,05
T4	5	1747	349,4	405,675
T5	5	1681,5	336,3	248,075
T6	5	1666	333,2	718,95
T7	5	1756	351,2	1012,825
T8	5	1918	383,6	1625,8

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	10376,75609	7	1482,393727	2,051894588	0,079697599	2,323169213
Dentro dos grupos	22395,9875	31	722,4512097			
Total	32772,74359	38				

RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
T1	5	3858	771,6	1865,425
T2	4	2933	733,25	7964,083333
T3	5	3631	726,2	259,825
T4	5	3664,5	732,9	1046,675
T5	5	3585	717	541,625
T6	5	3557	711,4	5567,3
T7	5	3691	738,2	4167,95
T8	5	4006,5	801,3	3758,075

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	31807,05769	7	4543,865385	1,519199814	0,19747916	2,323169213
Dentro dos grupos	92719,75	31	2990,959677			
Total	124526,8077	38				