



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA ELISEU MACIEL**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AGROINDUSTRIAL**

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO CULTIVAR UPFA 20 TEIXERINHA,  
SECAGEM E CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO NA QUALIDADE  
INDUSTRIAL DE AVEIA**

**DANIEL SIMIONI**  
**Engenheiro Agrônomo**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Pelotas,  
sob a orientação do Prof. Dr. Moacir  
Cardoso Elias, como parte das  
exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Ciência e Tecnologia  
Agroindustrial, para obtenção do  
título de Mestre em Ciências.

**PELOTAS**  
**Rio Grande do Sul - Brasil**  
**Março de 2005**

## Dados de catalogação na fonte:

(Marlene Cravo Castillo – CRB-10/744)

S591c Simioni, Daniel

Caracterização química do cultivar UPF A20 Teixerinha, secagem e de condições de armazenamento na qualidade industrial de aveia / Daniel Simioni ; orientador Moacir Cardoso Elias; co-orientador Luiz Carlos Gutkoski . – Pelotas, 2005. –72 f.: il. Dissertação ( Mestrado ). Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas,. Pelotas, 2005.

1. Avena sativa L. 2. Composição química 3. Secagem interminente 4. Consumo de energia 5. Condição de armazenamento I .Elias, Moacir Cardoso (orientador) II .Título.

CDD 633.13

**DANIEL SIMIONI**

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO CULTIVAR UPFA 20 TEIXERINHA,  
SECAGEM E CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO NA QUALIDADE  
INDUSTRIAL DE AVEIA**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Pelotas, sob a  
orientação do Prof. Dr. Moacir Cardoso  
Elias, como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Ciência e Tecnologia Agroindustrial,  
para obtenção do título de Mestre em  
Ciências.

Orientador: Dr. Moacir Cardoso Elias

Co-orientador: Dr. Luiz Carlos Gutkoski

PELOTAS  
Rio Grande do Sul - Brasil  
Março de 2005

**DANIEL SIMIONI**

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO CULTIVAR UPFA 20 TEIXERINHA,  
SECAGEM E CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO NA QUALIDADE  
INDUSTRIAL DE AVEIA**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Pelotas, sob a  
orientação do Prof. Dr. Moacir Cardoso  
Elias, como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Ciência e Tecnologia Agroindustrial,  
para obtenção do título de Mestre em  
Ciências.

APROVADA: 2005

---

Dr. Moacir Cardoso Elias  
(Orientador)

---

Dr. Luiz Carlos Gutkoski

---

Ph.D. Fernando I. F. de Carvalho

---

Dr. Valdecir Carlos Ferri

Aos meus pais José e Aliete (*in memoriam*) e a minha irmã Silvia, pelo amor, carinho, compreensão, apoio e incentivo.

**Dedico**

*“Pouca ciência torna os homens orgulhosos; muita ciência torna-os humildes. Assim, as espigas vazias elevam a cabeça soberba, enquanto as cheias inclinam-se humildemente para a terra”.*

***Autor desconhecido***

## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Moacir Cardoso Elias, pela orientação, ensinamentos, apoio, incentivo, confiança e principalmente pela amizade.

Ao Professor Luiz Carlos Gutkoski, pela orientação, estímulo, sugestões, dedicação e amizade.

Aos amigos e colegas de apartamento, André Sousa dos Santos, Diego Vargas e Fábio Cristiano Trevizol, pela grande amizade, coleguismo, ajuda e pela palavra amiga em todos os momentos.

Aos colegas de laboratório, Alexandra Moras, Flavio Manetti Pereira, Leonor João Marini, Cátia Maria Romano, Prof<sup>a</sup> Márcia A. Goularte, Ana Clara Klug Tavares, Vandeir Conrad, Sandra Raiman, Élvio Aosani, Maurício de Oliveira, Dejalmo Prestes, Romi N. dos Santos, Élton Zanatta, Jonis Gelain, pela ajuda, convivência, amizade e coleguismo.

Aos professores Manoel Artigas Schirmer, Álvaro Renato G. Dias pela ajuda e convivência.

À Universidade Federal de Pelotas pelo Curso de Pós-graduação.

Ao Centro de Pesquisa em Alimentação da Universidade de Passo Fundo, pela oportunidade de realização de parte deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.

Aos meus pais José Simioni e Aliete Bristott Simioni (*in memoriam*) e minha irmã Silvia Bristott Simioni, pelo apoio, compreensão e convivência durante o andamento do trabalho.

Ao meu primo Rodrigo Volpato, pela amizade, convivência e ajuda.

À minha noiva Carolina Cardoso Deuner, por ser alguém muito especial na minha vida, pelo estímulo, amor e confiança.

Especialmente a Deus.

*Muito obrigado,*

*Daniel Simioni*

## SUMÁRIO

<b>SUMÁRIO .....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>xiii</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xvi</b>
<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>2 METODOLOGIA GERAL.....</b>	<b>3</b>
2.1 Caracterização da matéria prima .....	3
2.2 Caracterização do local .....	3
2.3 Experimento .....	3
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>6</b>
3.1 Composição química da aveia .....	6
3.2 Parâmetros de secagem .....	9
3.3 Armazenamento .....	13
<b>4 ESTUDO I - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO CULTIVAR DE AVEIA UPFA 20 TEIXEIRINHA .....</b>	<b>17</b>
4.1 INTRODUÇÃO .....	17
4.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	18
4.2.1 Matéria-prima .....	18
4.2.2 Análises .....	19
4.2.2.1 Composição centesimal aproximada .....	19
4.2.2.2 Composição em ácidos graxos .....	19
4.2.2.3 Minerais .....	20
4.2.2.4 Composição em aminoácidos .....	20
4.2.2.5 Escore químico .....	20
4.2.2.6 Energia metabolizável .....	20
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	21
4.3.1 Composição centesimal .....	21

4.3.2 Composição em ácidos graxos .....	23
4.3.3 Composição em minerais .....	23
4.3.4 Composição em aminoácidos .....	24
4.3.5 Escore químico e energia metabolizável .....	24
4.4 CONCLUSÕES .....	26
<b>5 ESTUDO II - PARÂMETROS OPERACIONAIS NA SECAGEM INTERMITENTE DO CULTIVAR DE AVEIA UPFA 20 TEIXEIRINHA</b> .....	27
5.1 INTRODUÇÃO .....	27
5.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	29
5.2.1 Material experimental .....	29
5.2.2 Métodos .....	29
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	31
5.4 CONCLUSÕES .....	37
<b>6 ESTUDO III - MANEJO OPERACIONAL DA SECAGEM INTERMITENTE E ARMAZENAMENTO EM CONDIÇÕES AMBIENTAIS CONTROLADAS E NÃO CONTROLADAS DE AVEIA CULTIVAR UPFA 20 TEIXEIRINHA.....</b>	39
6.1 INTRODUÇÃO .....	39
6.2 MATERIAL E MÉTODOS ... ..	41
6.2.1 Matéria-prima .....	41
6.2.2 Métodos experimentais .....	41
6.2.3 Avaliações .....	42
6.2.3.1 Extrato etéreo .....	42
6.2.3.2 Índice de acidez .....	43
6.2.3.3 Composição de ácidos graxos .....	43
6.2.3.4 Umidade .....	43
6.2.3.5 Peso do hectolitro .....	43
6.2.3.6 Contaminação fúngica .....	44
6.2.3.7 Determinação de micotoxinas.....	44
6.2.3.8 Análise estatística .....	44

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	45
6.4 CONCLUSÕES .....	60
<b>7 DISCUSSÃO GERAL .....</b>	<b>61</b>
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>63</b>

## LISTA DE TABELA

Tabela 1	Delineamento experimental de secagem intermitente, utilizando três níveis de temperatura e três umidades de armazenamento....	4
Tabela 2	Composição centesimal de grãos de aveia com casca e descascados, cultivar UPFA 20 Teixeirainha .....	21
Tabela 3	Composição em ácidos graxos do óleo de grãos de aveia descascados, cultivar UPFA 20 Teixeirainha.....	23
Tabela 4	Teores de minerais em cariopses de aveia, cultivar UPFA 20 Teixeirainha.....	23
Tabela 5	Composição em aminoácidos das proteínas da cariopse de aveia, cultivar UPFA 20 Teixeirainha .....	25
Tabela 6	Energia metabolizável e escore químico de grãos de aveia com casca e descascados, cultivar UPFA 20 Teixeirainha.....	25
Tabela 7	Delineamento experimental de secagem intermitente, utilizando três níveis de temperatura e três umidades finais de secagem e de armazenamento.....	30
Tabela 8	Delineamento experimental da secagem intermitente, utilizando três níveis de temperatura e três umidades de armazenamento....	42
Tabela 9	Extrato etéreo em grãos de aveia do cultivar UPFA 20 Teixeirainha, submetidos a três temperaturas de secagem, armazenados em ambiente não controlado com três umidades do grão por oito meses.....	45
Tabela 10	Extrato etéreo em grãos de aveia da cultivar UPFA 20 Teixeirainha, submetidos a três temperaturas de secagem, armazenados em ambiente controlado com três umidades do grão por oito meses.....	46
Tabela 11	Composição em ácidos graxos do óleo de grãos de aveia, cultivar UPFA 20 Teixeirainha, armazenados em sistema convencional, durante oito meses.....	49
Tabela 12	Teor de água (%b.u.) em grãos de aveia, cultivar UPFA 20 Teixeirainha, submetidos à secagem intermitente com três temperaturas do ar, armazenados pelo sistema convencional em duas condições ambientais, com três umidades por oito meses.....	52

Tabela 13	Temperatura e umidade relativa média mensal durante os oito meses de armazenamento na região de Pelotas.....	53
Tabela 14	Peso do hectolitro ( $\text{kg hl}^{-1}$ ) de grãos de aveia, cultivar UPFA 20 Teixeira, submetidos à secagem intermitente com três temperaturas do ar, armazenados pelo sistema convencional em ambiente controlado, com três umidades por oito meses.....	54
Tabela 15	Peso hectolitro ( $\text{kg hl}^{-1}$ ) de grãos de aveia, cultivar UPFA 20 Teixeira, submetidos à secagem intermitente com três temperaturas do ar, armazenados pelo sistema convencional em ambiente não controlado, com três umidades por oito meses.....	54
Tabela 16	Incidência fúngica (%) em grãos aveia, cultivar UPFA 20 Teixeira, armazenados em ambiente controlado, em três umidades no primeiro, quarto e oitavo mês de armazenamento.....	56
Tabela 17	Incidência fúngica (%) em grãos aveia, cultivar UPFA 20 Teixeira, armazenados em ambiente não controlado, em três umidades no primeiro, quarto e oitavo mês de armazenamento.....	57
Tabela 18	Fungos com potencial toxicogênico (%) em grãos aveia, cultivar UPFA 20 Teixeira, armazenados em ambiente controlado em três umidades no primeiro, quarto e oitavo mês de armazenamento.....	58
Tabela 19	Fungos com potencial toxicogênico (%) em grãos aveia, cultivar UPFA 20 Teixeira, armazenados em ambiente não controlado em três umidades no primeiro, quarto e oitavo mês de armazenamento.....	59

## LISTA DE FIGURA

Figura 1	Temperatura da massa de grãos de aveia, cultivar UPFA 20 Teixeira, durante o processo de secagem intermitente em três temperaturas do ar de secagem até três umidades de armazenamento com relação de intermitência de 1:3.....	32
Figura 2	Umidade da massa de grãos de aveia, cultivar UPFA 20 Teixeira, durante o processo de secagem intermitente em três temperaturas do ar de secagem até a umidade final de 11, 13 e 15% com relação de intermitência de 1:3.....	34
Figura 3	Tempo de secagem da massa de grãos de aveia, cultivar UPFA 20 Teixeira, durante o processo de secagem intermitente em três temperaturas do ar de secagem até a umidade final de 11, 13 e 15% com relação de intermitência de 1:3.....	34
Figura 4	Consumo energético (Kw) para o aquecimento do ar de secagem durante o processo de secagem intermitente de aveia, cultivar UPFA 20 Teixeira, em três temperaturas de do ar secagem até três umidades de armazenamento com relação de intermitência de 1:3.....	35
Figura 5	Taxa de secagem (%) da massa de grãos de aveia, cultivar UPFA 20 Teixeira, durante o processo de secagem intermitente em três temperaturas do ar de secagem até a umidade final de 11, 13 e 15% com relação de intermitência de 1:3.....	36
Figura 6	Eficiência energética do processo de secagem intermitente em três temperaturas do ar de secagem até a umidade final de 11, 13 e 15% com relação de intermitência de 1:3.....	37
Figura 7	Acidez do óleo de grãos de aveia do cultivar UPFA 20 Teixeira, submetidos à secagem intermitente com três temperaturas do ar de secagem, armazenados com três umidades do grão, em ambiente não controlado por oito meses.....	47
Figura 8	Acidez do óleo de grãos de aveia do cultivar UPFA 20 Teixeira, submetidos à secagem intermitente com três temperaturas do ar de secagem, armazenados com três umidades do grão, em ambiente controlado por oito meses.....	47

Figura 9	Teor de água (%bu) em grãos de aveia, do cultivar UPFA 20 Teixeirinha submetidos á secagem intermitente, armazenado com três umidades por oito meses em ambiente não controlado.....	50
Figura 10	Teor de água (%bu) em grãos de aveia, do cultivar UPFA 20 Teixeirinha submetidos á secagem intermitente, armazenado com três umidades por oito meses em ambiente controlado.....	51

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO****AUTOR: Engenheiro Agrônomo Daniel Simioni****TÍTULO: Caracterização química do cultivar UPFA 20 Teixeira, secagem e condições de armazenamento na qualidade industrial de aveia.****ORIENTADOR: Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias****CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Luiz Carlos Gutkoski****Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial-DCTA-UFPel - Março de 2005****RESUMO**

Objetivou-se com o trabalho, caracterizar quimicamente o cultivar de aveia UPFA 20 Teixeira e avaliar o efeito combinado da temperatura do ar de secagem, umidade final e condição ambiental de armazenamento na conservabilidade e qualidade industrial de grãos armazenados em sistema convencional por oito meses. Foram utilizados grãos de aveia (*Avena sativa* L.) do cultivar UPFA 20 Teixeira, safra agrícola de 2003/2004 e avaliado composição química, composição em ácidos graxos, composição em aminoácidos, escore químico, energia metabolizável, temperatura do ar de secagem, umidade final e consumo de energia. Durante o armazenamento da aveia em condição ambiental controlada e não controlada foi determinado periodicamente em grãos com casca extrato etéreo, acidez, composição em ácidos graxos, umidade, peso do hectolitro, contaminação fúngica e micotoxinas. O trabalho foi realizado em três experimentos. No primeiro foi realizada a caracterização química do cultivar; no segundo experimento foi avaliado o desempenho energético durante o processo de secagem intermitente em diferentes temperaturas do ar de secagem e umidade final. No experimento três foi avaliado o efeito combinado das variáveis temperatura de secagem, umidade final e condições ambientais de armazenamento na conservabilidade e qualidade industrial de aveia armazenada. Os experimentos foram realizados em delineamento inteiramente casualizados (DIC), utilizando fatorial 3 x 3 x 2 (temperatura do ar de secagem; umidade final e condição ambiental de armazenamento). Os resultados foram analisados estatisticamente pelo emprego da análise de variância (Anova) e nos modelos significativos as médias comparadas entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade. A secagem intermitente quando realizada em condição menos drástica de temperatura é um método eficiente na conservação de parâmetros biológicos e tecnológicos de qualidade em grãos de aveia branca. Grãos de aveia com umidade em torno de 15% apresentam melhor conservabilidade quando armazenados em condição ambiental controlada. A degradação de lipídios e o aumento da acidez durante o armazenamento são maiores em grãos secos em processo intermitente com ar a  $105 \pm 5$  °C. Secagem intermitente, mesmo com temperaturas do ar de até  $105 \pm 5$  °C não provoca a estabilização metabólica. A temperatura do ar de secagem e as umidades inicial e final são fatores determinantes para estimar o consumo energético e a taxa de secagem de grãos de aveia.

**Palavras-chave:** *Avena sativa* L, composição química, secagem intermitente, consumo de energia, condição de armazenamento.

**MASTER OF SCIENCE DISSERTATION****AUTHOR: Agronomist Engineer Daniel Simioni****TITLE: Chemical characterization the variety UPFA 20 Teixeirainha, drying and storage conditions in the industrial quality.****SUPERVISOR: Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias****CO-SUPERVISOR: Prof. Dr. Luiz Carlos Gutkoski****Department of Agroindustrial Science and Technology - DCTA - UFPel - May of 2005****ABSTRACT**

The objective of this work is to characterize chemically the UPFA 20 Teixeirainha cultivar and evaluate the combined effect of drying air temperature, final humidity and storage environmental condition in conservation and industrial quality of stored grains in conventional system for eight for eight months. UPFA 20 Teixeirainha cultivar oat grains were used, 2003/2004 crop and evaluated chemical composition, fatty acid composition, aminoacid in composition, chemical score, metabolic energy, drying air temperature, final humidity and energy consumption. During the oat storage in controlled and not controlled environmental conditions were evaluated periodically in grains with ethereal extract, acidity, fatty acid, humidity, hectolitre weight, characterization of the cultivar was established. In the second experiment the energetic performance was evaluated during the intermittent drying process in different temperatures of drying air and final humidity. In the third experiment the combined effect of the variable drying temperatures, final humidity and storage environmental conditions in the conservation and industrial quality of stored oat were analyzed. The experiments were performed in totally randomized, using 3 x 3 x 2 (drying air temperature; final humidity and storage environmental condition). The results were analyzed statically by both the use of variances analyses (Anova) and in the significant models the averages by Duncan test at the probability of 5%. The intermittent drying when realized in less drastic temperature condition is an efficient method of conservation of both biological and technological parameters of quality in white oat grains. Oat grains with humidity around of 15% present better conservation when stored in controlled environmental condition. The lipids degradation and acidity's increase during the storage are bigger in dry grains in intermittent process with air at  $105 \pm 5$  °C. Drying intermittent even with air temperatures up to  $105 \pm 5$  °C don't create the metabolic stabilization. The drying air temperature and both initial e final humidity are determining factors to evaluate the energetic consumption and oat grain drying rate.

**Key words:** oat, chemical composition, intermittent drying, energetic consumption, storage condition.

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O centro de origem da aveia hexaplóide (*Avena sativa* L.) está situado na região da Ásia Menor (Coffman, 1961). Segundo o mesmo autor, a aveia foi utilizada pelos povos desde os primeiros séculos d.C., porém é mais recente sua importância na produção mundial de grãos. De acordo com Almeida (1998), existem evidências indicando que a aveia foi introduzida no Brasil pelos espanhóis, que colonizaram o Uruguai e a Argentina, através do Estado do Rio Grande do Sul.

Com a evolução da agricultura nas últimas décadas no Brasil, a cultura da aveia foi fortemente impulsionada, principalmente pelo advento do sistema de plantio direto. Segundo Calegari (1997), a aveia tem sido utilizada para produção de grãos, forragem para alimentação animal, cobertura do solo/adubação verde com diversos benefícios, dentre eles, com destaque para a redução de populações de patógenos como *Gaeumanomyces graminis*, causador do mal-do-pé no trigo (*Triticum aestivum*) e o controle de plantas invasoras. A produção de grãos na safra 2004/2005 foi de 435 mil toneladas (Conab, 2004), sendo utilizado na industrialização para consumo humano cerca de 45 mil toneladas. O aspecto nutricional mais importante encontrado na aveia para o consumo humano é o alto teor de fibras alimentares, que contribuem não somente para o melhoramento das funções gastrointestinais como para a redução dos níveis de colesterol no sangue, sendo considerado alimento funcional (Gutkoski, 2000).

No ponto de maturação fisiológica, grãos ou sementes apresentam teores máximos de amido, proteínas, óleo e umidade, podendo ser realizada a colheita da maioria das espécies. A partir da maturação fisiológica a atividade metabólica dos grãos tem prosseguimento, propiciando condições para o desenvolvimento de fungos, insetos e a deterioração. Através da remoção de umidade por secagem, natural ou artificial, e uma correta armazenagem, torna-se possível a conservação de produtos agrícolas durante o período de entressafra (Biagi, 2002).

A manutenção da qualidade industrial dos grãos de aveia depende de secagem adequada, umidade do grão, tempo e condições de armazenamento. O conhecimento do comportamento higroscópico dos grãos durante o armazenamento permite estabelecer padrões de conservabilidade.

O processo de secagem intermitente se caracteriza pela passagem descontínua do ar aquecido pela massa de grãos também em movimento, promovido pela recirculação do grão no secador. Este sistema favorece a difusão da água do interior para a periferia do grão, e a evaporação da água periférica ocorre de maneira branda e equilibrada. Neste processo, os grãos permanecem recirculando no interior do secador durante toda a operação e o seu contato com o ar aquecido se realiza de modo descontínuo (Elias, 2002).

Os principais parâmetros que influenciam a taxa de secagem com utilização de ar forçado são a temperatura e umidade relativa do ambiente, temperatura e fluxo do ar de secagem, umidade inicial, final e de equilíbrio do grão, temperatura e velocidade do grão no secador, bem como o cultivar e o histórico da semeadura à colheita (Biagi, 2002). Umidade e temperatura elevadas, aliadas a métodos inadequados de armazenamento e manuseio dos grãos são fatores combinados que resultam em maior desenvolvimento fúngico, causando as maiores perdas em grãos (Elias, 2002 a).

Devido a aveia branca ter se destacado no mercado agrícola há poucas décadas, informações sobre parâmetros de secagem intermitente e de condições de ambiente de armazenamento são escassas no Brasil, sendo necessários estudos mais específicos, que possibilitem estabelecer condições de secagem e armazenamento a fim de manter a qualidade dos grãos até sua industrialização para o consumo humano.

O trabalho objetivou caracterizar quimicamente o cultivar UPFA 20 Teixeira e estudar parâmetros de secagem intermitente e de condições ambientais de armazenamento na conservabilidade e qualidade industrial de grãos de aveia branca.

## 2 METODOLOGIA GERAL

### 2.1 Caracterização da matéria-prima

O cultivar de aveia (*Avena sativa* L) UPFA 20 Teixeirainha foi desenvolvido e selecionado pela Universidade de Passo Fundo, a partir da linhagem UPF 92 AL 300, tendo sido lançada no mercado em 2001. Tem como principais características: hábito de crescimento vertical, estatura de planta baixa, panícula de coloração branca e de forma irregular, resistência à ferrugem do colmo e grãos de coloração clara. Quanto aos aspectos de qualidade e rendimento, apresenta peso do hectolitro de 49 kg.hl<sup>-1</sup>, peso de mil grãos de 36 g, rendimento médio de grãos de 3049 kg.ha<sup>-1</sup> e rendimento industrial de 54% (CBPA, 2003).

### 2.2 Caracterização do local

O município Capão do Leão está situado a 31° 52' 00" de latitude Sul e 52° 21' 24" de longitude e a uma altitude de 13,24m. O clima segundo a classificação de Köepen é temperado, sendo 1280,2mm a média anual de precipitação pluviométrica, com solo classificado em planossolo e uma temperatura média anual de 17,9 °C.

### 2.3 Experimento

A aveia foi semeada de acordo com as indicações técnicas para a cultura da aveia (CBPA, 2003), utilizando semente fiscalizada e área de um hectare no Centro Agropecuário da Palma da Universidade Federal de Pelotas, município de Capão do Leão, RS. A colheita foi realizada quando os grãos atingiram a umidade de 18%, pelo uso de colhedeira automotriz obtendo rendimento de 2200 kg há<sup>-1</sup>. Os grãos foram submetidos à operação de pré-limpeza e transportados para o Laboratório de Pós-Colheita e Industrialização de Grãos da FAEM - UFPel, para a realização dos experimentos. A secagem intermitente foi realizada em secador-piloto modelo Vitória Laboratório, dotado de câmaras cilíndricas e fundo cônico, sendo regulado para operar em três temperaturas do ar de secagem e na relação de intermitência de 1:3.

Os experimentos de secagem foram realizados em delineamento inteiramente casualizados (DIC), utilizando fatorial 3 x 3 x 2 (temperatura do ar de secagem; umidade final e condição de ambiente de armazenamento). Para cada

uma das temperaturas do ar de secagem (60, 85 e 105 °C), a umidade final da massa foi 11, 13 e 15% (Tabela 1). Os grãos foram colocados em sacarias de polietileno de 50kg e armazenados em ambiente controlado e não controlado pelo período de oito meses. A condição de ambiente controlado consistiu em controle da temperatura ambiente em  $18\pm 1$  °C. Os grãos foram avaliados mensalmente quanto à infestação por insetos e quando necessário realizado o controle através do expurgo com o emprego de fosfina.

Tabela 1. Delineamento experimental de secagem intermitente, utilizando três níveis de temperatura e três umidades de armazenamento

<b>Tratamento</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Umidade (%)</b>
T1	60 $\pm$ 5	11
T2	110 $\pm$ 5	11
T3	85 $\pm$ 5	15
T4	85 $\pm$ 5	13
T5	85 $\pm$ 5	11
T6	110 $\pm$ 5	13
T7	110 $\pm$ 5	15
T8	60 $\pm$ 5	15
T9	60 $\pm$ 5	13

O trabalho foi dividido em três experimentos. No primeiro experimento, os grãos foram caracterizados quimicamente quanto à composição em proteína bruta, extrato etéreo, cinzas, umidade, fibra alimentar total, carboidratos, minerais, composição em ácidos graxos, composição em aminoácidos, escore químico e energia metabolizável. No segundo foram estudados parâmetros de secagem intermitente, avaliando tempo de secagem, temperatura da massa de grãos durante a secagem, taxa horária de remoção de água, consumo e eficiência energética. No terceiro experimento a conservabilidade dos grãos foi analisada por testes físico-químicos e microbiológicos através das avaliações de umidade, peso do hectolitro, extrato etéreo, acidez do extrato etéreo, composição em ácidos graxos, fungos e micotoxinas.

A secagem e as análises físicas e físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Controle de Qualidade de Grãos,

do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, as microbiológicas no Laboratório de Patologia de Sementes do Departamento de Fitossanidade, ambos da FAEM-UFPEL. As análises de fibra alimentar, composição em ácidos graxos e micotoxinas foram realizadas nos laboratórios do Centro de Pesquisa em Alimentação da UPF e a análise de composição em aminoácidos na Faculdade de Medicina da USP, campus de Ribeirão Preto.

Os resultados experimentais foram analisados pelo emprego da análise de variância e nos modelos significativos realizado a comparação múltipla de média pelo emprego do teste de Duncan a 5% de probabilidade. O processamento de dados e a análise estatística foram realizados com o uso do programa estatístico SANEST (SISTEMA DE ANALISE ESTATISTICA – INTABEX Processors Brasil Ltda.).

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Composição química da aveia

A aveia (*Avena sativa* L) que tem como centro de origem a Ásia e o Oriente Médio foi utilizada pelos povos desde os primeiros séculos d.C. (Coffman, 1961) e passou a ter grande importância no Brasil devido ao aumento de sua utilização na alimentação animal como forrageiros, grãos processados, cobertura do solo para rotação de culturas e sistema de semeadura direta. Nas últimas décadas os produtos flocos, farinha e farelo de aveia conquistaram um importante espaço na alimentação humana, em função de suas propriedades, passando a ser empregados como matéria-prima industrial para a produção e formulação de diferentes produtos alimentícios (Gutkoski, 1996).

Segundo IBGE (2004), a cultura da aveia ocupa o sexto lugar na classificação da produção mundial de cereais sendo que os maiores produtores mundiais são os Estados Unidos, seguidos da Rússia e Canadá. O Brasil apresentou em 2004 uma produção de 435.092 toneladas e rendimento médio de 1.464 kg.ha<sup>-1</sup>. Os maiores produtores nacionais são os estados do Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Mato Grosso do Sul com produção de 320.294, 80.197, 19.806 e 14.795 toneladas, respectivamente.

Esse cereal está melhor adaptado às regiões frias, em áreas entre 35 e 50° de latitude norte e de 20 a 40° de latitude sul (Murphy & Hoffman, 1992), refletidas pelas maiores áreas de produção. A produção de grãos de aveia aumentou no Brasil de 39 mil toneladas em 1976 para 435 mil toneladas em 2004 (CONAB, 2004), representando um crescimento de 1115%. Além do aumento de disponibilidade interna, houve também uma melhoria na qualidade dos grãos produzidos em termos de aumento de peso do hectolitro, maior tamanho dos grãos e menor porcentagem de casca (Floss, 2002).

A organização morfológica e química do grão de aveia foi descrita por vários autores (Betchel e Pomeranz, 1981; Fulcher, 1986; Hosney, 1990). As cariopses dos grãos de aveia se desenvolvem dentro de coberturas florais que, na realidade, são folhas modificadas. Estas envolvem as cariopses tão firmemente que permanecem aderidas a elas após a colheita e constituem as glumelas dos grãos de aveia (Hosney, 1990).

A cariopse representa em torno de 65-70% do grão, enquanto as glumas ou casca, os restantes 30-35%. A proporção entre cariopse e casca é influenciada pelas condições ambientais e pelos genótipos. Conforme Youngs (1972) o rendimento industrial de grãos de aveia variou entre 68,2% e 76,4% e o peso de mil grãos entre 18,7 g e 22,7 gramas, em sete genótipos de aveia cultivados nas mesmas condições ambientais. O endosperma é composto pela camada de aleurona e pelo endosperma amiláceo. As células amiláceas contribuem com 55,8 a 68,3% do peso total da cariopse (Betchel e Pomeranz, 1981). As células da camada de aleurona secretam enzimas hidrolíticas durante a germinação, que digerem e mobilizam as reservas de amido, lipídios e proteínas. As camadas externas e a aleurona formam a fração de moagem conhecida como farelo. O embrião de aveia, compreendendo escutelo e eixo embrionário, está localizado na porção anterior, perto da base da cariopse.

A proporção das estruturas do grão de aveia com casca e descascado é de 25% de casca, 9 e 12% de pericarpo, 63 e 84% de endosperma e de 2,8% e 3,7% de germe, respectivamente (Kent, 1984). O grão de aveia possui um comprimento de 6 a 13mm, largura de 1 a 4,5mm, peso médio de 32 mg e densidade de 520 a 756 kg.m<sup>-3</sup> (Shukla, 1975).

Devido à quantidade dos constituintes químicos presentes no grão, a aveia é um cereal de alto valor nutricional. Entre os outros cereais, destaca-se por sua alta porcentagem de lipídios, que varia de 3,1 a 10,9%, distribuídos por todo o grão e com predominância de ácidos graxos insaturados e também por seu teor e qualidade protéica, variando de 12,4 a 24,5% no grão descascado (Sá *et al.*, 2000). Além disso, sua constituição contém de 9-11% de fibra alimentar total, responsável pelos efeitos benéficos à saúde humana (Pedó & Sgarbieri, 1997).

O aspecto nutricional mais importante encontrado na aveia para o consumo humano é o alto teor de fibras alimentares, que contribuem não somente para o melhoramento das funções gastrointestinais como para a redução dos níveis de colesterol no sangue. De acordo com estudos de Peterson (1992), a fibra alimentar foi definida como a soma de polissacarídeos e ligninas de vegetais que não são digeridos por enzimas, enquanto que fibra bruta é o resíduo obtido após tratamento ácido e alcalino, realizados em laboratório. Essa fibra é composta por celulose, hemicelulose, gomas, pectinas e mucilagens. Com relação a sua solubilidade em água, a fibra alimentar tem componentes insolúveis como a

lignina, celulose e várias hemiceluloses e como componentes solúveis pectinas, gomas, algumas hemiceluloses e amidos resistentes (Walker, 1993), sendo que as percentagens da fibra alimentar variam de 7,1-12,1% e esta variação se deve aos vários métodos de determinação utilizados e também pelas diferenças entre cultivares (Frollich & Nyman, 1993).

Os teores de fibras alimentares solúveis encontradas nos grãos de aveia são relativamente maiores quando comparado aos demais cereais, dentre estas fibras estão as  $\beta$ -glucanas considerados um dos mais importantes componentes e polissacarídeos não amiláceos encontrados nas paredes celulares dos grãos. A propriedade fisiológica das  $\beta$ -glucanas mais notável é a redução dos níveis de colesterol total sérico e LDL (lipoproteína de baixa densidade) em seres humanos e animais (Cho *et al.*, 1993; Lupton *et al.*, 1991) e além disso é rica em lipídios, os quais são fonte de energia maior que os carboidratos. De acordo Morrison (1978), a porcentagem de lipídios no grão de aveia varia entre 5,0 e 9,0%, sendo superior às porcentagens encontradas em trigo (2,1-3,8%), arroz (1,83-2,5%), milho (3,9-5,8%), cevada (3,3-4,6%) e centeio (2,0-3,5%).

A aveia é um alimento funcional por excelência pois atende a definição atual, ou seja, é um alimento que tem a aparência similar a um alimento convencional, consumida como parte de uma dieta normal e além de sua função nutritiva básica, apresenta propriedades fisiológicas benéficas e/ou reduz os riscos de contrair enfermidades crônicas (Stephen, 2000). A aveia também atende quanto à definição de grão integral por apresentar após o seu processamento o mesmo balanço de nutrientes que é encontrado na matéria-prima original (Marquart *et al.*, 2000).

A aveia apresenta forte tendência a rancificação devida principalmente às enzimas lipases, produtoras de ácidos graxos livres, os quais, por serem de natureza insaturada, são facilmente oxidados a hidroperóxidos, que, em reações posteriores, se transformam numa grande variedade de compostos de baixo peso molecular (Ekstrand, 1993).

A deterioração de lipídios, além de afetar o sabor, também resulta na destruição de ácidos graxos essenciais e de vitaminas lipossolúveis. Além disso, produtos de rancidez oxidativa podem possuir atividade tóxica, carcinogênica ou mutagênica (Shahidi, 1995). A composição dos lipídios da aveia é favorável à alimentação humana devido ao alto conteúdo de ácidos graxos insaturados

(Peterson, 1992). Os ácidos palmítico, oléico e linoléico são os mais encontrados, representando em torno de 95% do total (Gutkoski & El-Dash, 1999). Os ácidos mirístico, esteárico e linolênico ocorrem em menores quantidades e apenas traços dos ácidos graxos de cadeia longa (Youngs, 1986).

O alto conteúdo dos ácidos oléico e linoléico resulta em favorável relação de ácidos graxos insaturados para ácidos graxos saturados, resultando em torno de 3,0. O índice mínimo recomendado nas dietas pelos órgãos de saúde é de 1,0 (Lockhart & Hurt, 1986).

A aveia também é superior aos demais cereais em relação ao teor protéico, sendo 18% o maior valor encontrado por Peterson (1992). Asp (1992) em trabalho de caracterização química de cultivares de aveia encontrou 15,9% em média de proteínas. As proteínas de aveia são de alta qualidade apresentando composição aminoacídica de acordo com os padrões exigidos pela FAO/OMS (Hoseney, 1991). Porém, assim como nos demais cereais o primeiro aminoácido limitante é a lisina, seguido da treonina conforme o trabalho de Pedó & Sgarbieri (1997).

O teor de amido da aveia pode ser considerado baixo, quando comparado aos outros cereais como centeio, cevada e trigo, devido à alta concentração de proteínas, lipídios e fibras, com teores médios entre 43,7 e 61,0% (Paton, 1977).

A aveia é considerada uma boa fonte de manganês, magnésio, ferro e ainda apresenta quantidades satisfatória de cálcio, zinco e cobre. Em estudos nutricionais também foram identificados elementos traços de cromo, níquel, flúor, molibidênio, cobalto, vanádio, selênio e estanho. Weaver *et al.* (1981), analisando os elementos minerais Fe, Zn, Mn, Cu, Cr, Ni em diferentes estágios de moagem da aveia verificaram que o descascamento resultou em aumento de todos os nutrientes estudados, refletindo menor concentração de minerais na casca quando comparado com a cariopse, exceto para o cromo.

### **3.2 Parâmetros de secagem**

A colheita deve ser realizada o mais rapidamente possível quando os grãos tiverem atingido a umidade aproximada de 15% (CBPA, 2003). Rupollo (2003) e Marini (2004) citam 18 a 20% como umidade mais adequada para colheita, quando o sistema de secagem for mecânica ou forçada. O retardamento na colheita determina a ação de fatores adversos, com prejuízos tanto no rendimento quantitativo como qualitativo, ou seja, ocorre acamamento e quebra do colmo das

plantas, com conseqüentes perdas de panículas que caem ao solo e não são recolhidas pelas colhedoras, o que reflete negativamente no rendimento. Além disso, o retardamento da colheita contribui para a deterioração dos grãos, pois equivale a armazená-los a campo, em condições desfavoráveis, expondo-os por um maior período aos agentes patogênicos e também determina, ainda, a redução significativa do peso do hectolitro e o escurecimento do grão, com sua depreciação industrial (CBPA, 2003).

Quando se colhe com umidade elevada, a atividade metabólica de respiração dos grãos e dos microrganismos presentes na massa ocorre em elevadas taxas, levando ao aquecimento da massa, devido à liberação de energia calórica. Essa condição também é própria ao desenvolvimento de fungos e de insetos, conduzindo à rápida deterioração. Através da remoção do excesso de água pela secagem, e com uma correta armazenagem, torna-se possível a conservação de produtos agrícolas até a entressafra (Portella & Eichelberger, 2001).

Apesar das vantagens que apresenta, a secagem é uma operação potencialmente danosa à qualidade dos grãos. A magnitude do dano depende dos corretos manejos dos teores de água inicial e final do produto, da temperatura, da umidade relativa, do fluxo de ar, da taxa de secagem e do período de exposição ao ar aquecido (Miranda *et al.*, 1999). Essa é uma operação crítica dentro da seqüência de processamento dos grãos (colheita, secagem, armazenamento, manuseio e transporte). É também consenso geral que a secagem inadequada é a maior causa de deterioração dos grãos durante o armazenamento. Pode-se conceber a secagem como um processo de transferência simultânea de calor e de matéria. O ar, ao mesmo tempo em que fornece calor ao sistema, absorve água do produto em forma de vapor. O gasto de energia térmica provocado pela evaporação da água é acompanhado por um resfriamento do ar. Contudo, o ar absorve em forma de vapor o que perdeu sob a forma de calor, caracterizando um processo adiabático ou isoentálpico. Sendo assim, os grãos são produtos higroscópicos e, como tais, podem sofrer variações no seu conteúdo de água, a qualquer momento, de acordo com as condições do ar ambiente que os circundam (Elias, 2000).

Os parâmetros que influenciam a taxa de secagem, com utilização de ar forçado, são, principalmente, a temperatura e a umidade relativa do ambiente, a

temperatura e o fluxo do ar de secagem, a umidade inicial a final e a de equilíbrio do produto, a temperatura e a velocidade do produto no secador, bem como o cultivar e a história do produto da semeadura até a colheita (Biagi *et al.*, 2002). A temperatura do ar de secagem é o parâmetro de maior flexibilidade num sistema de secagem em altas temperaturas. As temperaturas do ar conjugadas com o fluxo do ar de secagem são fatores responsáveis pela quantidade de água removida no processo de secagem e na qualidade do produto final. O aumento de temperatura implica em menor gasto de energia por unidade de água removida, maior velocidade na taxa de secagem e maior gradiente de temperatura e umidade, enquanto que um aumento no fluxo de ar reduz a eficiência energética, mas também aumenta a velocidade de secagem (Lasseran, 1978; Biagi *et al.*, 2002).

Quando entram em contato com o ar, os grãos realizam trocas, até que pressões de vapor e temperatura de um e de outro sejam semelhantes, atingindo os equilíbrios energético, hídrico e térmico. Enquanto a pressão de vapor do ar for menor do que a dos grãos, haverá secagem e quando a temperatura do ar for maior do que a dos grãos, estes sofrerão aquecimento (Lasseran, 1978; Elias *et al.*, 2002). O aquecimento do ar de secagem, com as finalidades de diminuir sua umidade relativa, de aumentar sua entalpia e sua capacidade evaporativa devem ser controlado dentro de limites determinados, em virtude dos danos físico-químicos e biológicos que podem causar os grãos (Elias, 2000). Os danos mais freqüentemente observados, quando a secagem por ar aquecido não for convenientemente controlada, são redução de vigor e germinação, alterações de cor, formação de crosta periférica, perda de matéria seca, redução da integridade física, diminuição da digestibilidade das proteínas, desestruturação do amido, suscetibilidade à incidência de defeitos e redução da conservabilidade, além do desperdício de tempo e de energia (Elias, 1998).

Nos secadores intermitentes ocorre movimentação dos grãos e do ar de secagem, que mantém períodos de contato e de isolamento alternadamente. Esse equipamento é constituído de duas câmaras, uma de secagem, onde ocorrem as trocas de energia e de matéria durante o contato do ar, insuflado ou succionado, com os grãos, e outra de equalização, onde os grãos continuam sua movimentação, mas sem contato com o ar. Na câmara de secagem, o ar cede energia térmica, resfria-se e absorve, na forma de vapor, a água periférica que

evapora do grão (Elias, 2000). Na câmara de equalização, durante o período de repouso, a reidratação das camadas externas dos grãos diminui o gradiente interno de umidade, liberando gradativamente as tensões internas geradas por esse gradiente. Isso resulta em menos danos por trincamento, melhora o rendimento de grãos inteiros e a qualidade final do produto (Martins *et al.*, 2002). De acordo com o modelo de secador, com o fluxo e com a temperatura do ar de secagem, com o fluxo dos grãos e com a velocidade de secagem imprimida durante a operação, a relação entre o tempo de exposição dos grãos ao ar e o tempo de repouso será maior ou menor, sendo facilmente encontradas, nas unidades de beneficiamento, operações bastante diversas, com relações do tipo 15:1, 10:1, 6:1 e 3:1, sendo classificados, por alguns autores, como secadores intermitentes rápidos ou intermitentes lentos (Elias, 2002).

Desde que a temperatura do ar de secagem não seja muito elevado, normalmente não superior a 115 °C, nem muito baixa, normalmente não inferior a 70 °C, este é um sistema que permite obter bons resultados, embora exija maiores investimentos e uso de tecnologia mais sofisticada do que o estacionário. A secagem intermitente pode valer-se de temperaturas, na entrada do secador, de 70 a 100 °C, quando os grãos estiverem muito úmidos, e de até 120 °C, no final do processo, com menores prejuízos ao rendimento e à qualidade dos grãos do que com ar a temperatura constante (Rupollo, 2004; Marini, 2004; Elias, 2004).

De acordo com Harrington (1972), sementes mais úmidas são mais suscetíveis aos danos térmicos, razão pela qual sugeriu que, quanto maior o teor de água, menor deve ser a temperatura empregada. Brandenburg *et al.* (1961) ponderam que a água superficial pode ser retirada sob alta temperatura do ar, uma vez que o processo de evaporação remove calor suficientemente, não alterando a temperatura dos grãos. Abaixo de 30% de água, no entanto, a quantidade de água, para evaporação fica menos disponível, e a temperatura da massa tende a aumentar. Cavariani citado por Martins *et al.* (2002) enfatiza que temperaturas de secagem devem ter como referência, a da massa de grãos; assim, valores situados entre 40 e 43°C são considerados como máximos, e acima dos quais, dano físicos ou químicos podem ser gerados.

Durante a secagem intermitente, mesmo quando são utilizadas temperaturas e relação de intermitência distintas, o sistema de secagem uniformiza a temperatura de massa de grãos quando a diferença de temperatura do ar de

secagem não for muito elevada. Segundo Marini (2004), no sistema de secagem com relação de intermitência de até 1:5, os efeitos da temperatura do ar predominam na manutenção dos parâmetros biológicos e tecnológicos de qualidade em grãos de aveia branca.

A secagem intermitente é um método eficiente no preparo de grãos para o armazenamento, reduzindo rapidamente o teor de umidade dos produtos recém colhidos, em níveis que possibilitem evitar alterações metabólicas e minimizem a ação de fungos e insetos durante a estocagem.

### **3.3 Armazenamento**

A predição das condições de armazenagem segura permite a preservação de características qualitativas de grãos recentemente colhidos por um longo período de armazenamento, podendo evitar que ocorra uma significativa deterioração. As mudanças na qualidade dos grãos durante o armazenamento são difíceis de avaliar e monitorar.

Os grãos são produtos vivos e a armazenagem é facilitada por apresentarem alta concentração de substâncias nutritivas e baixo teor de água. Possuem baixa capacidade de condutibilidade calorífica e isto significa que as diferenças de temperatura no produto armazenado só são perceptíveis em distâncias curtas e períodos longos, o que leva ao acúmulo de calor na massa de grãos, com todas as conseqüências desvantajosas, como aumento da respiração, desenvolvimento microbiano, infestação com insetos e condensação (Gwinner *et al.*, 1997; Puzzi, 2000).

A umidade do grão, o tempo e as condições de armazenamento são os principais fatores que agem sobre a qualidade do produto, influenciando diretamente no metabolismo de grãos, fungos e outros organismos associados. Mudanças na qualidade nutricional que ocorrem durante o armazenamento constituem a rede de resultados de interações dentro de um sistema ecológico complexo. Manter a qualidade do grão é o maior objetivo de um administrador da unidade armazenadora. Procedimentos e condições para uma armazenagem segura possibilitam preservar as características qualitativas dos grãos por longos períodos (Elias, 2002; Rupollo, 2004).

Os tipos de manutenção a aplicar, sua periodicidade e intensidade ficam na dependência de resultados observados ao longo do período de armazenamento,

das medidas de controle de qualidade obtidas em testes, onde fatores como variação de umidade relativa e temperatura do ar, umidade e temperatura do grão, bem como a avaliação do grau de desenvolvimento de microrganismos, de insetos e de ácaros, presença de roedores e variação de acidez do óleo, entre outros, devem ser considerados (Elias, 2002).

No armazenamento, além do metabolismo do próprio grão, há o de organismos associados, principalmente fungos, cujos principais danos causados são mudanças de coloração, desgaste de reservas nutritivas, alterações na estrutura dos carboidratos, lipídeos, proteínas e vitaminas, produção de toxinas, aquecimento, exalação de odores desagradáveis e presença dos próprios microrganismos, com redução da capacidade germinativa e de vigor (Elias, 1998; Rupollo, 2004). Os danos ocasionados por fungos são muitas vezes desconsiderados até que alcancem proporções alarmantes. Os fungos não ocasionam só perdas diretas, senão que podem ameaçar também a saúde do homem e dos animais produzindo venenos, as chamadas micotoxinas, as quais contaminam os alimentos e as forragens (Gwinner *et al.*, 1997; Scussel, 2002).

Conforme Pomeranz (1974), os lipídios caracterizam a fração mais sensível à deterioração durante o armazenamento, devido à redução do seu conteúdo total e/ou pela sensibilidade a alterações estruturais. As ações das enzimas (lipases, peroxidases e fosfolipases) dos próprios grãos e das produzidas pela microflora associadas contribuem para o rompimento das ligações éster dos glicerídeos neutros e dos fosfolipídios, aumentando o teor de ácidos graxos livres. Christensen & Kaufman citados por Krabbe (1995), relatam que os fungos produzem lipases, que degradam a gordura dos cereais a ácidos graxos livres, os quais são usados como fonte de energia no seu próprio metabolismo.

A aveia é o cereal com os maiores níveis de triglicerídeos e de atividade lipolítica, sendo assim, apresenta uma forte tendência a rancidez, devida à presença de enzimas lipases, produtoras de ácidos graxos livres o que pode resultar em produtos de baixa qualidade comercial. Urquhart *et al.*, (1983) afirmam que a maior atividade de lipase está associada com a camada de aleurona. A atividade da lipase é afetada pela quantidade de água disponível. A maior atividade ocorre em aveia com 25-50% de umidade, porém, ao aumentar para 75-100%, a atividade é inibida (Ekstrand *et al.*, 1992). As melhores condições para a reação são temperatura de 40 °C e umidade de 20% . O tempo

necessário para 90% de hidrólise varia de poucos dias a várias semanas. Porém, a reação é inibida pelo acúmulo de glicerol no interior da cariopse e de ácidos graxos livres na fase oleosa. Ekstrand *et al.* (1992) observaram redução da atividade de lipase com a secagem (40 a 80 °C) de grãos de aveia, mas somente a temperaturas acima de 60 °C a atividade reduziu-se consideravelmente.

A atividade de peroxidase não foi afetada pelas condições estudadas, mostrando maior estabilidade térmica. Quando a aveia foi tratada termicamente pelo uso de vapor, as enzimas apresentaram atividade insignificante, indicando inativação total das mesmas. O contato direto com a água causa um efeito mais efetivo na transferência de calor e a inativação de enzimas é completa. Quando grãos de aveia foram tratados por 10 minutos com vapor na temperatura de 70 °C, mais de 70% de atividade residual foi detectada. Ao imergir a aveia em água a 80 °C por 10 minutos, a atividade residual de lipase foi de apenas 2%, o que indica que o tratamento com calor seco é pouco efetivo na inativação enzimática (Matlashewski *et al.*, 1982).

Molteberg *et al.* (1995) estudaram o efeito do armazenamento e do processamento térmico sobre o conteúdo de ácidos graxos livres da aveia. Verificaram que ocorreu aumento na quantidade de ácidos graxos livres com o aumento do tempo de armazenamento nas amostras não tratadas. Durante o processamento térmico ocorreu redução dos ácidos graxos livres, isto se deve complexação de ácidos graxos com proteínas e amido.

Grãos de aveia não danificados, armazenados à temperatura ambiente em umidade abaixo de 12% apresentam pequenas variações nos níveis de acidez do óleo. Porém, maiores valores de umidade e/ou temperatura, bem como desagregação parcial ou total do grão, são condições suficientes para a ação de enzimas, principalmente a lipase (Matlashewski *et al.*, 1982; Urquhart *et al.*, 1983; Puzzi, 2000).

A estabilidade, em adição à aceitabilidade, e principalmente à manutenção da qualidade dos produtos de aveia devem ser monitoradas nas várias etapas ao longo da cadeia produtiva, como escolha do cultivar, manejo da lavoura, colheita, armazenamento, moagem até a obtenção dos produtos finais. No entanto, a ocorrência de moléstias, danificação mecânica, instabilidade climática e manejos deficientes nas operações de colheita e armazenamento levam ao aumento de

acidez e à conseqüente redução da estabilidade ao armazenamento de grãos e dos produtos de aveia (Rupollo, 2004).

## 4 ESTUDO I

### CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO CULTIVAR DE AVEIA UPFA 20 TEIXEIRINHA

#### 4.1 INTRODUÇÃO

A aveia (*Avena sativa* L) é um cereal de excelente valor nutricional. O conteúdo de carboidratos nos grãos da aveia pode chegar a 75-80% do peso seco, sendo o amido o componente principal. Destaca-se entre os cereais pela sua melhor qualidade protéica e maior porcentagem de lipídios, que varia entre 3,1 e 10,9%, estando distribuídos em todo o grão, com a predominância de ácidos graxos insaturados (Sá *et al.*, 2000). Segundo Morrison (1978), a porcentagem de lipídios no grão de aveia varia entre 5,0 e 9,0%, sendo superior às porcentagens encontradas em trigo (2,1-3,8%), arroz (1,8-2,5%), milho (3,9-5,8%), cevado (3,3-4,6%) e centeio (2,0-3,5%). Os ácidos graxos palmítico, oléico e linoléico são os mais encontrados, representando em torno de 95% do total dos lipídios da aveia (Gutkoski & El-Dash, 1999).

Em relação ao teor protéico a aveia também é superior aos demais cereais, sendo encontrado 15,9% em média (ASP, 1992). As proteínas de aveia são de alta qualidade, apresentando composição aminoacídica de acordo com os padrões exigidos pela FAO/OMS (Hoseney, 1991).

O aspecto nutricional mais importante encontrado na aveia para o consumo humano é o alto teor de fibras alimentares (Làstity, 1998), que contribuem não somente para o melhoramento das funções gastrointestinais como para a redução dos níveis de colesterol no sangue. Os teores de fibras alimentares solúveis encontradas nos grãos de aveia estão entre 9 e 11% (Pedó & Sgarbieri, 1997), podendo alcançar valores de até 13,8% em cultivares do Sul do Brasil (Gutkoski & Trombetta, 1999). Dentre estas fibras estão as  $\beta$ -glucanas, polissacarídeos não amiláceos encontrados nas paredes celulares dos grãos.

Segundo Sá *et al.* (2000), as  $\beta$ -glicanas, moléculas lineares compostas de ligações glicosídicas  $\beta$ -1,3 e  $\beta$ - 1,4 são componentes das fibras solúveis presentes em grande quantidade na aveia. A cariopse de aveia contém entre 3,9

e 6,8% de  $\beta$ -glicanas e o farelo entre 5,8 e 8,9% (Wood *et al.*, 1991). Estes componentes têm importante ação na redução do colesterol sanguíneo em indivíduos com hipercolesterolemia.

Os produtos contendo fibra de aveia reduzem o risco de doenças cardiovasculares, diabetes, hipertensão e obesidade (Anderson, 1993). Além disso, diminuem as concentrações séricas de colesterol total, lipídios totais e triglicerídios de forma significativa e aumentam a fração de colesterol-HDL, conhecido como o colesterol benéfico. Devido a essas propriedades, a aveia é considerada um alimento funcional (Flores, 2000).

Entre os carboidratos, o amido é o constituinte em maior abundância na aveia, com teores médios de 43,7 a 61,0% (Paton, 1977), valores confirmados por Weber *et al.* (2002) que encontraram 50,7% em cariopses de aveia do cultivar UPF 18. Porém, se comparada a outros cereais como centeio, cevada e trigo, a concentração de amido em aveia pode ser considerado baixo, devido aos altos teores de proteínas, lipídios e fibras.

O conhecimento da quantidade de cada um dos constituintes químicos presentes no grão de aveia permite a utilização diferenciada desse cereal pela indústria de alimentos (Tisian, 2000). Desta forma é extremamente importante a caracterização química dos cultivares lançados no mercado para identificar o potencial tecnológico e as possíveis formas de utilização dos produtos de aveia pelas indústrias de alimentos.

Com o trabalho objetivou-se caracterizar quimicamente o cultivar de aveia UPFA 20 Teixeira, recomendado pela Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia a partir da safra agrícola de 2001.

## **4.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.2.1 Matéria-prima**

Para a realização do trabalho foram utilizados grãos de aveia (*Avena sativa* L), cultivar UPFA 20 Teixeira. Este cultivar foi desenvolvido e selecionado pela Universidade de Passo Fundo a partir da linhagem UPF 92 AL 300, tendo sido lançado no mercado em 2001.

Os grãos de aveia foram produzidos em um hectare, no Campo Experimental da Palma, da UFPel, localizado no município do Capão do Leão,

RS, na safra 2003/2004. A colheita foi realizada mecanicamente com o auxílio de colhedoura automotriz, específica para colher experimentos, de propriedade da Embrapa Terras Baixas de Pelotas. As operações de pós-colheita foram realizadas no Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Controle de Qualidade de Grãos (DCTA-FAEM-UFPEL). A aveia foi descascada em descascador de aveia marca Imack e as análises de grão com casca e descascados realizadas no Laboratório de DCTA-FAEM-UFPEL e no Laboratório de Cereais do Centro de Pesquisa em Alimentação da UPF.

## **4.2.2 Análises**

### **4.2.2.1 Composição centesimal aproximada**

Os lipídios totais foram determinados em aparelho Soxhlet pelo método 30.20 da AACC (1995). O teor de cinzas foi determinado de acordo com o método 08-01 da AACC (1995). A proteína bruta (N x 6,25) foi determinada pelo método Kjeldahl, procedimento 46-13 da AACC (1995). Umidade foi determinada pelo método da estufa a  $105 \pm 3$  °C, com circulação natural de ar, por 24 horas, de acordo com a metodologia oficial de análise de sementes preconizada pelo Ministério da Agricultura (Brasil, 1992). Fibra Alimentar total foi determinada segundo o método 991.43 da AOAC (1997). Os carboidratos foram estimados por diferença, diminuindo-se de 100 o somatório de proteínas, lipídios, cinzas, umidade e fibra alimentar total. As análises foram realizadas em triplicata.

### **4.2.2.2 Composição em ácidos graxos**

A extração do óleo da farinha de aveia foi realizada pelo método 30.20 da AACC (1995) em aparelho Soxhlet. A transformação em ésteres metílicos foi de acordo com Maia & Rodriguez-Amaya (1993), adaptado de Hartman & Lago (1973). As amostras foram saponificadas e os ácidos graxos metilados com o reagente esterificante constituído por cloreto de amônio-ácido sulfúrico e metanol. A composição em ácidos graxos foi determinada usando cromatógrafo Varian Star 3400 CX, com integração automática operando nas seguintes condições: coluna DB-Wax 30m x 25mm x 0,25µm, temperatura inicial da coluna 130 °C (0 minutos), rampa de aquecimento 2 °C.min<sup>-1</sup>, temperatura final 210 °C (10 minutos). O gás de arraste utilizado foi H<sub>2</sub> ultra puro, temperatura do injetor de 220

°C e do detector 230 °C, injetor tipo splitless e injetada alíquota de 1µL. A identificação dos ácidos graxos foi feita com padrão Supelco FAME Mix C8-C24, nº 18918.

#### 4.2.2.3 Minerais

As determinações de cálcio, potássio, sódio, magnésio, ferro, zinco, manganês e cobre foi realizada de acordo com Tedesco *et al.* (1995), através da mineralização das amostras em mufla a 480 °C e diluição em ácido nítrico a 5%. A quantificação foi realizada em espectrômetro de absorção atômica em aparelho marca Perkin Elmer, modelo 3110, em duplicata.

#### 4.2.2.4 Composição em aminoácidos

A composição quantitativa em aminoácidos da aveia foi determinada pelo método de Spackmann (1958) através de hidrólise com HCl 6N a 110 °C por 22 h. O triptofano foi determinado no hidrolisado alcalino com LiOH 4N, segundo metodologia proposta por Lucas & Sotelo (1980). Os resultados foram expressos em g Aa 16g N<sup>-1</sup> a as análises realizadas em duplicata.

#### 4.2.2.5 Escore químico

O escore químico (EQ) foi estabelecido pela relação de cada um dos aminoácidos essenciais da proteína em estudo com o aminoácido correspondente do padrão de referência da FAO/WHO/UNU (1989), crianças de 2 a 5 anos. Os quocientes indicam a ordem dos aminoácidos limitantes e o valor encontrado para o aminoácido mais limitante é considerado uma estimativa do valor biológico da proteína em estudo, ou seja:

$$EQ = \frac{mga \text{ min oácido} / gN \text{ da proteína teste}}{mga \text{ min oácido} / gN \text{ padrão referência}} \times 100$$

#### 4.2.2.6 Energia metabolizável

A energia metabolizável foi calculada a partir dos dados de composição centesimal aproximada, de acordo com a Portaria do Ministério da Saúde nº 41 (1998). No cálculo foram usados os fatores de conversão de 4 kcal para carboidratos e proteínas e de 9 kcal para lipídios e os valores expressos em kcal

100g<sup>-1</sup>. A energia metabolizável dos carboidratos foi obtida a partir da diferença entre 100 e a soma dos teores de proteína bruta, lipídios, fibra alimentar, umidade e cinzas.

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.3.1 Composição centesimal

Na Tabela 2 estão apresentados os valores da composição centesimal de grãos de aveia do cultivar UPFA 20 Teixeirainha com casca e descascados em termos de proteínas, lipídios, cinzas, umidade, fibra alimentar total e carboidratos.

Tabela 2. Composição centesimal de grãos de aveia com casca e descascados, cultivar UPFA 20 Teixeirainha

Componentes	Com casca (%)	Descascados (%)
Proteína bruta (N x 6,25) <sup>2</sup>	9,88 ± 0,40	14,41 ± 0,43
Lipídios totais <sup>2</sup>	5,42 ± 0,23	7,68 ± 0,25
Cinzas <sup>2</sup>	2,83 ± 0,06	1,97 ± 0,02
Água <sup>2</sup>	13,28 ± 0,07	13,3 ± 0,06
Fibra alimentar total <sup>2</sup>	31,64 ± 0,12	12,7 ± 0,14
Carboidratos <sup>1</sup>	36,95 ± 0,41	49,94 ± 0,42

<sup>1</sup> Calculado por diferença; <sup>2</sup> média de três determinações ± desvio padrão.

O teor de proteínas nos grãos descascados foi de 14,41%, estando próximo à média de 15,01% encontrada por Pedó & Sgarbieri (1997) ao caracterizar quatro cultivares de aveia cultivados no sul do Brasil. Para os grãos com casca o teor de proteínas foi de 9,88%, sendo justificável esta diferença pelo fato de ter uma maior concentração de fibras e minerais, influenciando diretamente no valor final dos demais componentes químicos.

A concentração de lipídios foi de 7,68 e 5,42%, nos grãos descascados e com casca, respectivamente. O valor encontrado para grãos descascados está de acordo com os resultados obtidos por Pedó & Sgarbieri (1997) que foram de 6,33% para o cultivar UFRGS 14, 7,18% para UPF 16, 7,50% para UPF 15 e 7,45% para o cultivar CTC 03. Comparando com dados da literatura (Miller *et al.*, 1993), o teor de lipídios do cultivar UPFA 20 Teixeirainha está dentro da média internacional para cultivares domésticos que se situa entre 5,0 e 9,0g 100.g<sup>-1</sup>.

Gutkoski *et al.* (1997) em estudo de caracterização química da cultivar UPF 16 verificaram valores mais altos (8,90%), na fração de granulometria superior a 532  $\mu\text{m}$ , 8,0% na cariopse e 7,27% na fração de granulometria inferior a 532  $\mu\text{m}$ . Weber *et al.* (2002), Rupollo *et al.* (2004) e Marini (2004) estudando o cultivar UPF 18, encontraram 15,1%, 14,9% e 15,1% respectivamente para proteína bruta e 7,0%, 6,8% e 6,9% para lipídios. Eggum & Gullord (1983) ao estudar a qualidade nutricional de 12 cultivares Norueguesas encontraram teores de proteína variando de 10,25% a 17,31%, enquanto a concentração de lipídios ficou entre 5,70% e 10,41%.

O teor de cinzas foi de 1,97% e 2,83%, em grãos descascados e com casca, respectivamente. Para os grãos descascados, o valor encontrado é similar ao encontrado por Pedó & Sgarbieri (1997), 2,00%, por Weber *et al.* (2002), 1,95% e Marini (2004), 2,10%. Rupollo *et al.* (2004) ao estudarem um cultivar com grãos sem descascamento encontraram um teor de cinzas de 2,23%. O elevado teor de cinzas em aveia com casca se justifica pela constituição do grão de aveia, que tem maior concentração de fibras e minerais nesta fração.

A fibra alimentar da aveia apresenta propriedades hipocolesterolêmicas e hipoglicêmicas e está presente em altas concentrações no grão (Wood *et al.*, 2004). O cultivar UPFA 20 Teixeira apresentou 12,7% e 31,64% de fibra alimentar total em grãos descascados e com casca, respectivamente. Weber *et al.* (2002), ao caracterizarem o cultivar UPF 18 encontraram 13,32% de fibra alimentar total, sendo 5,59% solúvel e 7,73% insolúvel. A fração de fibra solúvel é a mais importante, pois é nesta fração que se encontram as beta-glicanas, que tem um efeito benéfico para a saúde humana. Em estudo de cultivares de aveia recomendados pela Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia, Gutkoski & Trombetta (1999) verificaram o maior teor de fibra alimentar total no cultivar UPF 16, com 13,86% seguido pelo UFRGS 7 com 13,50% e do CTC 13 com 13,18%. Sá, *et al.* (1998) ao caracterizar o cultivar IAC 7 encontraram um teor de fibra alimentar total de 11,55%, sendo menor que o encontrado no cultivar em estudo no presente trabalho. As fibras de aveia reduzem a incidência de doenças cardiovasculares, diabetes, hipertensão e obesidade.

### 4.3.2 Composição em ácidos graxos

A composição lipídica da aveia é constituída por um alto teor de ácidos graxos insaturados (Tabela 3). Gutkoski & El-Dash (1999) encontraram valores muito próximos aos observados no presente trabalho, sendo que 95% do total são representados pelos ácidos palmítico, oléico e linoléico. A alta concentração de ácidos graxos insaturados contribui para a frágil estabilidade dos produtos de aveia (Galliard, 1983).

Tabela 3. Composição em ácidos graxos do óleo de grãos de aveia descascados, cultivar UPFA 20 Teixeira

Ácido graxo			
Saturado	g 100g <sup>-1</sup>	Insaturado	g 100g <sup>-1</sup>
Mirístico - C14:0	0,00	Oléico - C18:1	43,47
Palmítico - C16:0	14,20	Linoléico - C18:2	39,64
Estearico - C18:0	1,98	Linolênico - C18:3	0,72
Total saturados	16,81	Total insaturados	83,83

Médias aritméticas em duplicata e resultados expressos em g 100g<sup>-1</sup>.

### 4.3.3 Composição em minerais

Na Tabela 4 está apresentada a composição mineral em grãos de aveia descascados da cultivar UPFA 20 Teixeira, analisados logo após a colheita. Verifica-se que os minerais presentes em maior quantidade na aveia são fósforo,

Tabela 4. Teores de minerais de cariopses de aveia, cultivar UPFA 20 Teixeira

Mineral	mg 100g <sup>-1</sup>	RDA* (mg 100g <sup>-1</sup> )
Cobre	0,819	1,5-2,0
Manganês	4,510	1,0-1,5
Ferro	4,448	10
Cálcio	47,55	800
Magnésio	66,97	120
Sódio	21,38	400
Fósforo	340,00	1 600
Potássio	267,68	1 600
Zinco	2,16	10

\*Recommended Dietary Allowances – RDA (1989) – crianças de 4-6 anos.

seguido de potássio, magnésio, cálcio e sódio. Estes resultados estão de acordo com Rupollo (2003), ao determinar o teor de minerais de cariopses de aveia do cultivar UPF 18.

#### **4.3.4 Composição em aminoácidos**

A composição em aminoácidos do cultivar UPFA 20 Teixeira e o padrão da FAO/WHO/UM (1985) encontram-se na Tabela 5. Os aminoácidos isoleucina, leucina, treonina, histidina e lisina ficaram abaixo do padrão enquanto que os valores encontrados para valina, tirosina, aromáticos totais e triptofano apresentaram resultados acima do recomendado pela FAO/WHO/UNU (1985).

Segundo o padrão da FAO/WHO/ UNU (1985), referente ao requerido por crianças de 2 a 5 anos de idade, a lisina é o aminoácido mais limitante no âmbito de 60 a 70% das referências. Treonina foi o segundo aminoácido essencial mais limitante, confirmando os resultados obtidos por Pedó *et al.* (1999) ao estudar quatro cultivares produzidas no Sul do Brasil.

O valor nutritivo de uma proteína depende, sobretudo de sua capacidade de fornecer nitrogênio e aminoácidos, em quantidades adequadas, para suprir as necessidades do organismo. Assim, a abordagem mais lógica para avaliar a qualidade protéica é comparar o conteúdo de aminoácidos de um alimento com as necessidades humanas através do escore químico (Boutrif, 1991).

#### **4.3.5 Escore químico e energia metabolizável**

Na Tabela 6 encontram-se os valores de escore químico e energia metabolizável de grãos de aveia com casca e descascados do cultivar UPFA 20 Teixeira. A lisina foi o primeiro aminoácido limitante apresentando escore químico de 58,27%. O valor encontrado neste cultivar está acima dos 52,20% relatados por Weber *et al.* (2002) ao caracterizarem o cultivar de aveia UPF 18, bem como dos 44,3% em trigo e 50,8% em milho encontrados por Pedersem & Eggum (1983). No trabalho realizado por Pedó & Sgarbieri (1997) os valores de escore químico encontrados foram 68,96% para o cultivar UPF 15, 62,40% em UPF 16, 60,68% em CTC 03 e 70,68% em UFRGS 14, portanto superiores ao verificado para o cultivar UPFA 20 Teixeira.

Tabela 5. Composição em aminoácidos das proteínas da cariopse de aveia, cultivar UPFA 20 Teixeira

Aminoácidos	Cariopse (mg 100g <sup>-1</sup> )	Padrão da FAO (mg 100g <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>
Valina	3,54	3,5
Isoleucina	2,57	2,8
Leucina	5,90	6,6
Treonina	2,94	3,4
<sup>1</sup> / <sub>2</sub> Cistina	2,12	
Metionina	1,28	
Suf. totais	3,40	
Tirosina	2,73	2,5
Fenilalanina	3,96	
Arom. totais	6,43	6,3
Histidina	1,84	1,9
Lisina	3,38	5,8
Triptofano	1,38	1,1
Ac. Aspártico	7,70	
Serina	4,08	
Ac. Glutâmico	17,28	
Prolina	4,51	
Glicina	4,26	
Alanina	4,95	
Arginina	5,52	

<sup>1</sup>Padrão teórico da FAO/WHO/UNU, 1989; crianças de 2 a 5 anos.

Tabela 6. Energia metabolizável e escore químico de grãos de aveia com casca e descascados, cultivar UPFA 20 Teixeira

Determinação	Com casca	Descascado
Energia metabolizável (kcal.100g <sup>-1</sup> )	236,61	326,52
Escore químico (g.100g <sup>-1</sup> )	-	58,27

O cultivar estudado apresentou 326,52kcal.100g<sup>-1</sup> de energia metabolizável, em grãos descascados, estando similar aos 326,56kcal.100g<sup>-1</sup> encontrados por Weber *et al.* (2002). Ao caracterizar frações de moagem de

aveia, Gutkoski *et al.* (1997) reportaram valores acima dos encontrados no presente trabalho, sendo  $362,23\text{kcal}\cdot 100\text{g}^{-1}$  na fração de granulometria superior a  $532\ \mu\text{m}$ ,  $371,03\text{kcal}\cdot 100\text{g}^{-1}$  em cariopses inteiras e  $385,46\text{kcal}\cdot 100\text{g}^{-1}$  na fração de granulometria inferior a  $532\ \mu\text{m}$ .

Em grãos de aveia com casca o valor de energia metabolizável foi  $236,61\text{kcal}\cdot 100\text{g}^{-1}$ . O menor valor de energia metabolizável deve-se à presença da casca elevando o teor de fibra alimentar. Em consequência ocorre uma redução proporcional em proteínas, lipídios e carboidratos, constituintes utilizados na determinação do valor calórico total.

#### 4.4 CONCLUSÕES

O cultivar UPFA 20 Teixeirainha apresentou padrões comparáveis à média internacional para a composição em lipídios. O teor de proteínas é alto e comparável com os demais cultivares de aveia já caracterizados no Brasil. A composição aminoacídica é adequada e comparável com o padrão da FAO, sendo lisina o primeiro aminoácido limitante. O escore químico ficou abaixo dos valores encontrados em outros cultivares de aveia. O descascamento permite obter grãos com 38% a mais de energia metabolizável do que a mesma quantidade de grãos com casca. A aveia estudada mostra-se similar aos demais cultivares brasileiros já caracterizados quimicamente.

## 5 ESTUDO II

### PARÂMETROS OPERACIONAIS NA SECAGEM INTERMITENTE DO CULTIVAR DE AVEIA UPFA 20 TEIXEIRINHA

#### 5.1 INTRODUÇÃO

Secagem adequada, umidade de armazenamento, tempo e condições de armazenamento são os principais fatores que agem sobre a qualidade do produto, aí incluindo o metabolismo do próprio grão e a ação de organismos associados. Assim, o entendimento do comportamento higroscópico dos grãos durante a secagem e o armazenamento permite estabelecer de forma mais apropriada os padrões de conservação da aveia.

A finalidade da secagem é a remoção parcial da água existente junto da matéria sólida, por evaporação. Quando o calor necessário para evaporar a água é fornecido aos grãos, ocorrem transferências simultâneas de calor e massa (Porto, 2001).

A secagem constitui a operação mais importante no preparo de grãos para o armazenamento e tem por finalidade colocá-los em níveis recomendáveis de umidade para evitar a deterioração e a perda da qualidade durante o processo de estocagem. Na secagem devem ser evitadas fermentações durante o processo, assim como o excesso de temperatura, devendo a operação ser feita até a obtenção de um grau de umidade conveniente e de um produto uniforme (Ness, 1998; Porto, 2001; Marini, 2004).

A secagem intermitente é caracterizada pela passagem descontínua do ar aquecido pela massa de grãos, também em movimento, promovido pela recirculação do grão no secador. Com isto, há difusão da água do interior para a periferia do grão, e a evaporação da água periférica ocorre de maneira branda e equilibrada. Neste processo, os grãos permanecem recirculando no interior do secador durante toda a operação, e o seu contato com o ar se realiza de um modo descontínuo e repetitivo (Elias, 2002).

Desde que a temperatura do ar de secagem não seja muito elevada, normalmente não superior a 120 °C, nem muito baixa, não inferior a 70 °C, este é

um sistema que permite obter bons resultados, embora exija grandes investimentos e uso de tecnologias sofisticadas.

O ar de secagem, ao mesmo tempo em que fornece calor ao sistema, absorve água do produto em forma de vapor. O gasto de energia térmica provocada pela evaporação da água é acompanhado por um resfriamento do ar. Contudo, ele absorve em forma de vapor o que perde sob a forma de calor, caracterizando um processo adiabático ou isoentálpico. Grãos são produtos higroscópicos e, como tais, podem sofrer variações no seu conteúdo de água, a qualquer momento, de acordo com as condições do ar ambiente que os circundam (Elias, 2000; Boemeke, 2000; Milman, 2001).

É importante que a colheita seja realizada logo que houver condições, pois quanto mais tempo os grãos permanecerem expostos às intempéries, no campo, maiores serão as perdas, por ataque de pássaros, roedores, insetos e fungos, além do metabolismo dos próprios grãos (Elias, 2002; CBPA, 2003).

Um excesso de umidade nos grãos significa gastos extras em energia para a secagem dos grãos, deterioração dos equipamentos, além de, em alguns casos, perda em qualidade do produto (Silva, 1998). Por outro lado, colheitas com umidades muito baixas resultam em grãos mais quebradiços e com mais defeitos metabólicos (Dias, 1993; Elias *et al.*, 2003).

Hulasare *et al.* (1999), estudando as características de secagem em camada fina de aveia sem casca observaram que a mesma tem maior facilidade de secagem do que trigo e cevada. Na secagem de 21% para 16% de umidade, para a aveia sem casca uma hora de secagem é suficiente enquanto para trigo e cevada são 16 horas e 17 horas, respectivamente. Vários fatores como o conteúdo de óleo, constituição genética do grão, dimensões dos grãos, densidade e ano da colheita podem contribuir em direção à maior razão de secagem da aveia quando comparada com o trigo e a cevada (Neuber, 1981). Isso demonstra que a tendência ao equilíbrio higroscópico de grãos de aveia no armazenamento se caracteriza com maior dinâmica de dessorção e de sorção de umidade originadas pelos gradientes de pressão de vapor de água e térmico entre a massa de grãos e o ar ambiente, quando comparado com grãos de trigo e cevada.

O uso de uma serie de curtos períodos sob a ação do ar aquecido, intercalado por períodos sem aquecimento, aumenta a quantidade de água removida por unidade de tempo de exposição ao ar aquecido em relação à

secagem contínua. Isso ocorre por que a secagem não é mais limitada pela velocidade de migração interna de umidade, uma vez que esta ocorre durante o período de repouso. Isso leva à melhor eficiência energética da secagem (Villela, 1992; Boemeke, 2000; Milman, 2001).

Com o trabalho objetivou-se avaliar parâmetros operacionais e desempenho energético da secagem intermitente de grãos de aveia branca com diferentes temperaturas do ar de secagem e umidade final de secagem para o armazenamento.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.2.1 Material Experimental

Para a condução do experimento foram utilizados grãos de aveia branca (*Avena sativa* L), do cultivar UPFA 20 Teixeira, produzidos no Campo Experimental do Centro Agropecuário da Palma, da UFPel, localizado no município de Capão do Leão, RS, na safra 2003/2004. As operações de pós-colheita foram realizadas no Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos do DCTA-FAEM-UFPel.

### 5.2.2 Métodos

Após a recepção da aveia pré-limpa em equipamentos de escala industrial, as amostras foram submetidas à secagem intermitente, conforme representação na Tabela 7.

Para a secagem intermitente foi utilizado secador piloto modelo Vitória Laboratório, de câmaras cilíndricas e fundo cônico centrado, com os seguintes parâmetros operacionais básicos:

- Capacidade estática do funil inferior: 18 kg;
- Capacidade estática da câmara de secagem: 40 kg;
- Capacidade estática da câmara de equalização: 102 kg;
- Capacidade estática total: 160 kg;
- Vazão do ventilador centrífugo:  $124,16 \text{ m}^3 \text{ ar h}^{-1}$ ;
- Capacidade do elevador:  $752 \text{ kg h}^{-1}$ .

Tabela 7. Delineamento experimental de secagem intermitente, utilizando três níveis de temperatura e três umidades finais de secagem e de armazenamento

Tratamento	Temperatura (°C)	Umidade final(%)
T1	60±5	11
T2	110±5	11
T3	85±5	15
T4	85±5	13
T5	85±5	11
T6	110±5	13
T7	110±5	15
T8	60±5	15
T9	60±5	13

O acionamento mecânico, do secador/elevador e do ventilador centrífugo, era por contra-marcha, composto de um conjunto de polias e correias acionadas cada uma por motor elétrico monofásico de 0,33 cv. O ar de saída do secador foi canalizado para um sistema de captação de pó, constituído de um ciclone que evitou a poluição do ar no Laboratório.

O calor de aquecimento do ar foi gerado por oito resistências elétricas monofásicas de 700 W, instaladas na curva de calor da câmara de secagem, das quais seis eram comandadas por termostato (precisão  $\pm 5$  °C) de acionamento automático e duas permaneciam sempre ligadas durante as secagens para evitar choque térmico nos grãos, a cada vez que o termostato desligava as demais resistências. A relação de intermitência foi de 1:3, sendo igual para todos os tratamentos.

O manejo térmico utilizado para a secagem, submeteu os grãos a três temperaturas constantes do ar de secagem, respectivamente  $60 \pm 5$ ,  $85 \pm 5$  ou  $110 \pm 5$  °C, até atingirem 15, 13 ou 11% e umidade final para o armazenamento; em cada temperatura de entrada do ar de secagem, as quais permaneciam nas respectivas faixas (55 a 65, 80 a 90 ou 105 a 115 °C) do início ao fim de cada operação, constituído os nove tratamentos.

Durante as secagens, em intervalos de meia hora, foram realizadas medições da temperatura do ar de secagem (bulbo seco), da temperatura do ar

de saída (bulbo seco), da temperatura e do teor de umidade da massa de grãos e da energia consumida. Para a medição do consumo de energia foram utilizados medidores de potência marca Inepar modelo F-32 com precisão 0,1kw, instalados antes dos termostatos. Para a medição das temperaturas do ar ambiente foi utilizado um psicrômetro Incoterm, 50 °C, com precisão de 1°C, instalado próximo a entrada do no aquecimento do secador intermitente. Para a medição das temperaturas do ar de secagem e do ar de saída foram utilizados termômetros de 150 °C, Incoterm, precisão de 1°C. Para a medição da temperatura da massa, os grãos foram colocados numa garrafa térmica de isopor de 1 L, e imediatamente introduzido um termômetro de mercúrio, com precisão de 0,5 °C, efetuando-se a leitura após três minutos. Para a medição do grau de umidade da massa de grãos durante a secagem foi utilizado um determinador baseado na propriedade da resistência elétrica marca Elo's Universal modelo EH, devidamente calibrado pelo método de estufa a  $105 \pm 3$  °C.

O grau de umidade final da massa de grãos de cada tratamento foi determinado após a descarga, utilizando-se o método da estufa a  $105 \pm 3$  °C, com circulação natural de ar, por 24 horas, conforme preceitua as regras para análise de grãos do Laboratório de Grãos, do DCTA/FAEM/UFPel.

A taxa horária de secagem foi calculada pela variação horária em pontos percentuais do grau de umidade da massa de grãos em base úmida. A eficiência energética foi obtida pela relação da energia consumida para o aquecimento do ar e a variação em pontos percentuais do grau de umidade da massa de grãos em base úmida.

### **5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Na Figura 1 estão representadas as temperaturas da massa de grãos no decorrer das secagens para cada manejo térmico.

Observando-se os dados expressos na Figura 1, é possível se verificar que as temperaturas têm um crescimento maior nas primeiras horas de secagem, tendendo à estabilização, porque, após a evaporação da umidade periférica, começa a ocorrer o aquecimento da massa de grãos, que provoca aumento da pressão interna do grão (calor sensível).

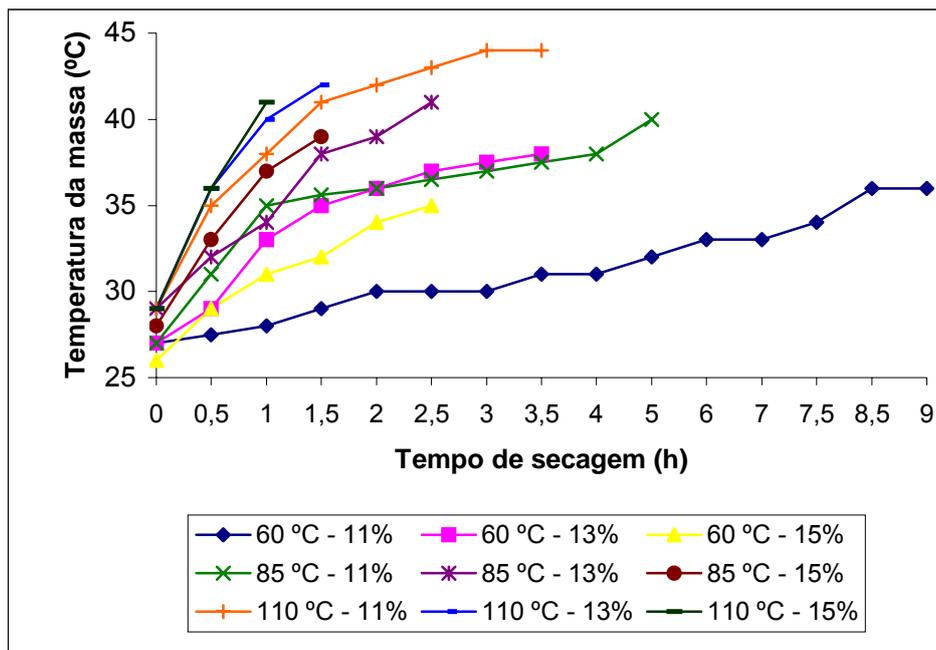


Figura 1. Temperatura da massa de grãos de aveia, cultivar UPFA 20 Teixeirainha, durante o processo de secagem intermitente em três temperaturas do ar de secagem e três umidades de armazenamento, utilizando relação de intermitência de 1:3.

Quando a água interna por difusão atinge a periferia há evaporação. Estes fenômenos criam, simultaneamente, gradientes de umidade e pressão, permitindo a difusão da água do interior para a periferia do grão. A massa então passa a ter sua temperatura pouco alterada (calor latente de vaporização) durante a operação (Milman, 2001).

Os valores estão de acordo com os princípios registrados na literatura. A troca de calor por vapor de água ocorre na zona de secagem, lavando ao aquecimento dos grãos e ao resfriamento do ar de saída. À medida que a umidade dos grãos vai diminuindo, a troca de energia em forma de calor por água decresce e, conseqüentemente, a temperatura da massa de grãos aumenta, conforme relatam (Bonazzi, 1997 e Portella & Eichelberger, 2001).

Em todos os tratamentos com temperatura do ar de secagem a 110 °C, e no tratamento com 85 °C até 13% de umidade, a temperatura da massa de grãos ultrapassou 40 °C, sendo que valores situados entre 40 e 43 °C são considerados como máximos, e acima dos quais, danos físicos ou químicos podem ser gerados (Martins, *et al.*, 2002; Simioni *et al.*, 2004).

A duração do período de secagem foi determinada pelo tempo decorrido entre a umidade inicial e a final dos grãos, mostrando-se influenciada por elas e pela temperatura do ar no processo de secagem (Figura 2). A duração do período de secagem foi tanto maior quanto mais elevada a umidade na colheita, menor a umidade de armazenamento e menor a temperatura do ar de secagem, estando esse comportamento de acordo com observações feitas por Brooker *et al.* (1992), Cavariani *et al.* (1999); Portella & Eichelberger (2001) e Boemeke *et al.* (2003).

Pode-se observar (Figura 3) que nos tratamentos com temperatura do ar maior, o percentual de umidade dos grãos baixa rapidamente logo nas primeiras horas, atenuando a redução da umidade a partir de então, em decorrência da alta temperatura utilizada e por se tratar de água retida apenas por pressão osmótica e capilaridade, a qual oferece menor resistência para ser removida. Esse comportamento está em acordo com o relatado por outros autores (Elias & Rombaldi 1989; Boemeke, 2000 e Milman, 2001).

No início do processo a velocidade de secagem é decrescente e rápida, ou seja, a perda de água por unidade de tempo é elevada, apesar de a velocidade de deslocamento da água do interior do grão ser inferior à taxa de evaporação. Após o período inicial da secagem, a velocidade de remoção de água passa a ser lenta, onde a quantidade de energia que chega ao grão é elevada em relação àquela que deixa o grão por transferência de massa, resultando em baixo rendimento térmico. São bem caracterizadas as fases de secagem com temperatura constante dos grãos (rápida redução de umidade) a de temperatura crescente dos grãos (lenta redução de umidade), conforme pode ser verificado pela observação conjunta da Figuras 1 e 2.

Nos tratamentos onde o processo de secagem estendeu-se até a umidade final da massa de grão de 11%, o consumo de energia para o aquecimento do ar foi significativamente superior em relação aos demais tratamentos. Esta diferença deve-se ao maior tempo utilizado pelo processo de secagem (Figura 3). O tratamento conduzido com temperatura do ar de secagem de 60 °C até a umidade de armazenamento de 11% teve o maior consumo de energia devido à baixa taxa horária de remoção de água em consequência da baixa temperatura utilizada e da maior variação de umidade entre início e o término do processo de secagem.

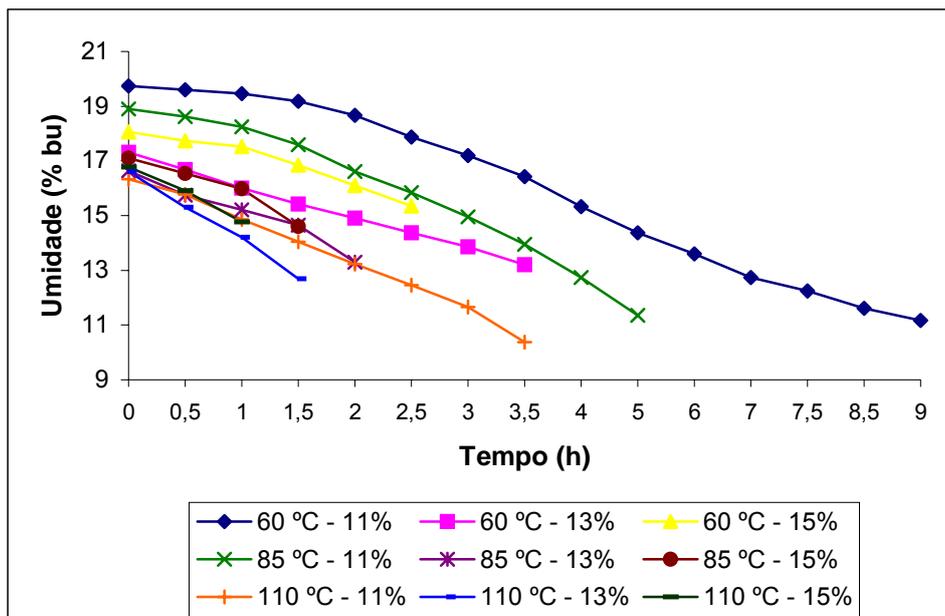


Figura 2. Umidade da massa de grãos de aveia, cultivar UPFA 20 Teixeira, durante o processo de secagem intermitente em três temperaturas do ar de secagem e três umidades de armazenamento utilizando relação de intermitência de 1:3.

A Figura 3 demonstra claramente que a variável temperatura do ar de secagem é o principal determinante do tempo de secagem, seguida pela umidade final de secagem para o armazenamento e umidade inicial do grão.

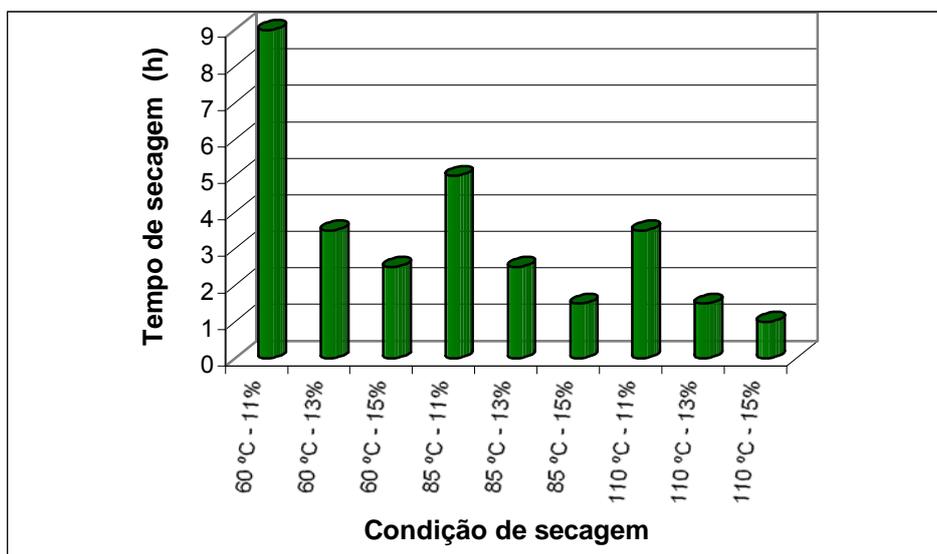


Figura 3. Tempo de secagem da massa de grãos de aveia, cultivar UPFA 20 Teixeira, durante o processo de secagem intermitente em três temperaturas do ar de secagem e três umidades de armazenamento utilizando relação de intermitência de 1:3.

Na Figura 4 está representado o consumo energético para o aquecimento do ar durante o processo de secagem intermitente para cada condição de secagem.

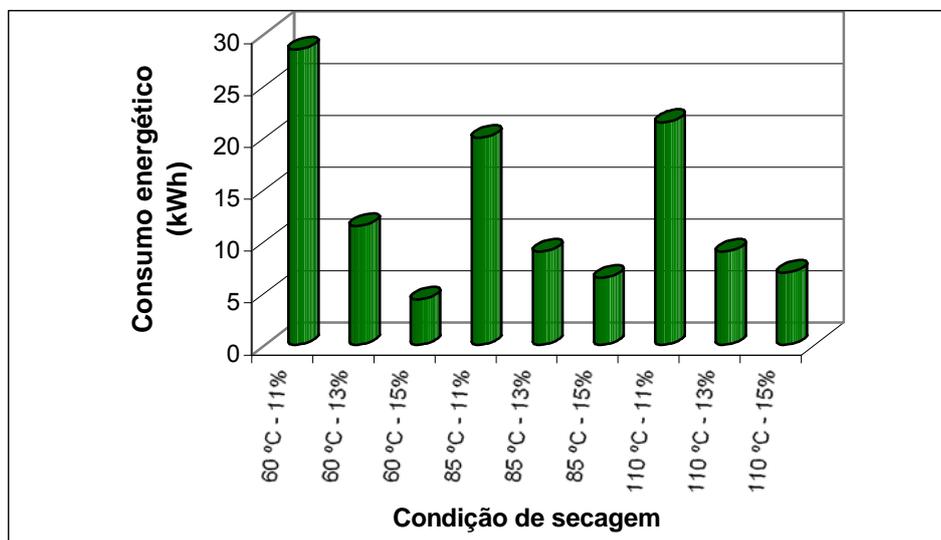


Figura 4. Consumo energético (kWh) para o aquecimento do ar de secagem durante o processo de secagem intermitente de aveia, cultivar UPFA 20 Teixeira, em três temperaturas de do ar secagem e três umidades de armazenamento utilizando relação de intermitência de 1:3.

Esses dados encontram apoio na literatura especializada. Segundo Portella & Eichelberger (2001), Cihan & Ece (2001), Martins *et al.* (2002), o consumo de energia caracteriza o funcionamento de um secador, e depende das condições ambientais (o consumo é menor com ar ambiente mais quente e umidade relativa baixa), do grau de saturação do ar na saída do secador e da umidade inicial do produto. Com relação à umidade inicial, quanto mais baixa for a umidade dos grãos, maior é a tendência de aumento do gasto térmico por ponto percentual de água retirada, uma vez que é tanto mais difícil extrair água do grão quanto menor for a umidade, conforme relata Lasseran (1978).

Independente da umidade de colheita ou de armazenamento, a taxa de secagem (Figura 5) aumentou com o aumento da temperatura do ar de secagem, devido à menor umidade relativa e ao aumento da taxa de evaporação da água contida nos grãos. O mesmo foi observado por Cihan & Ece (2001) e Portella & Eichelberger (2001).

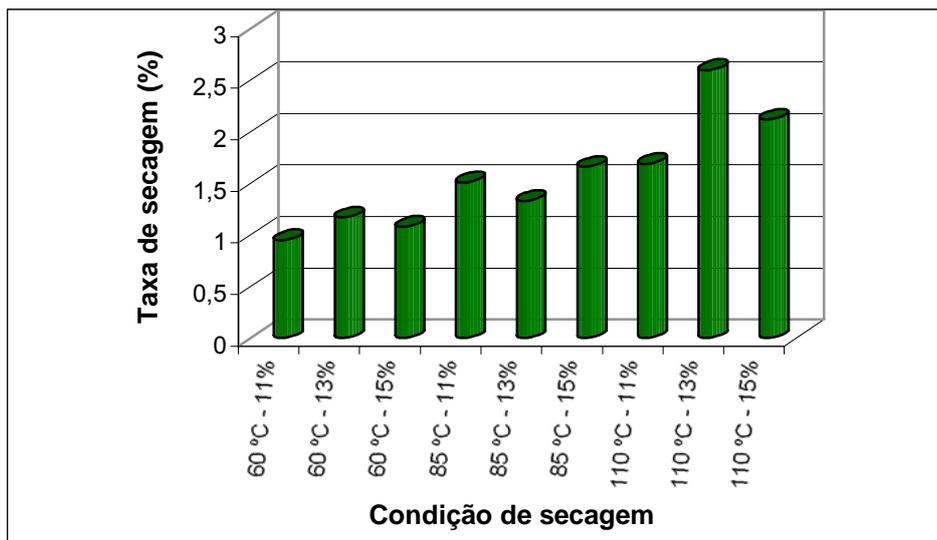


Figura 5. Taxa de secagem (%) da massa de grãos de aveia, cultivar UPFA 20 Teixeira, durante o processo de secagem intermitente em três temperaturas do ar de secagem e três umidades finais de armazenamento utilizando relação de intermitência de 1:3.

No início do processo a taxa de secagem tende a ser maior, devido à baixa resistência oferecida pela água para ser removida. Após um curto período, a taxa de secagem passa a diminuir, em consequência do aumento da resistência da água em ser removida do grão. Esta dificuldade em remover o excesso de água provoca queda na taxa de secagem, sendo mais acentuada quando se deseja chegar a uma umidade final menor, como é o caso dos tratamentos conduzidos até 11% de umidade.

A temperatura do ar de secagem é o parâmetro de maior flexibilidade num sistema de secagem em altas temperaturas. A temperatura do ar conjugada com o fluxo do ar são fatores responsáveis pela quantidade de água removida no processo de secagem e na qualidade do produto final. O aumento de temperatura implica em menor gasto de energia por unidade de água removida e maior velocidade na taxa de secagem, e maior gradiente de temperatura e umidade, enquanto que um aumento no fluxo de ar reduz a eficiência energética, mas também aumenta a velocidade de secagem (Lasseran, 1978; Biagi *et al.*, 2002).

Na Figura 6, está representado a eficiência energética no processo de secagem, na combinação de três temperaturas do ar de secagem e três umidades finais de armazenamento, calculada pela relação de energia consumida e a quantidade de água removida.

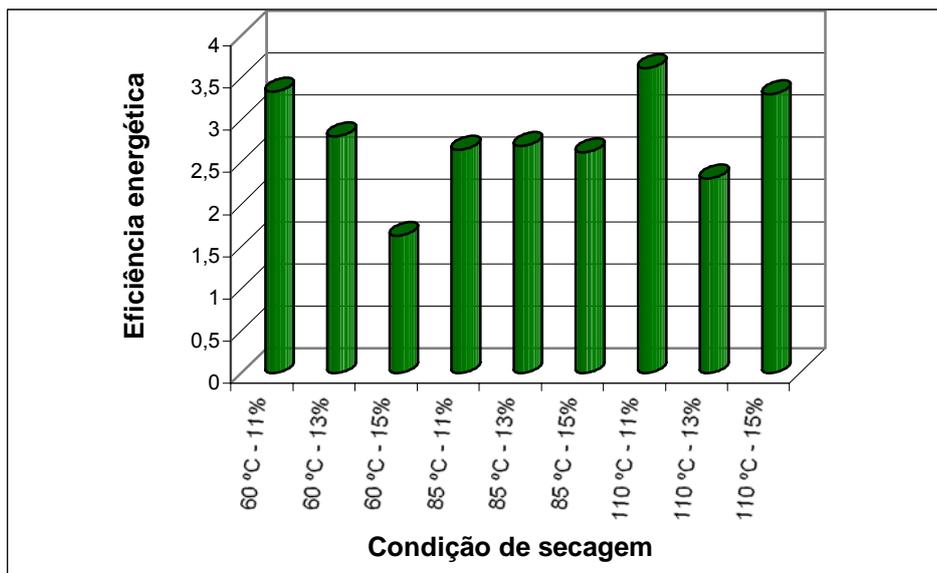


Figura 6. Eficiência energética do processo de secagem intermitente em três temperaturas do ar de secagem e três umidades finais de armazenamento utilizando relação de intermitência de 1:3.

O tratamento com a menor temperatura do ar de secagem, menor umidade de armazenamento, menor taxa de secagem, maior tempo de secagem, maior consumo energético e maior umidade inicial ficou entre os que resultaram em maior eficiência energética no processo de secagem. Isto está atribuído principalmente à grande variação do teor de umidade inicial e final.

Em relação à eficiência energética, a variável mais expressiva é a umidade final do processo de secagem, demonstrando correlação inversa, sendo que a variável temperatura apenas apresentou correlação positiva para a variável 15% de umidade.

## 5.4 CONCLUSÕES

- a) A taxa de secagem expressa em pontos percentuais de água removida por hora de operação aumenta com o aumento da temperatura do ar de entrada no secador intermitente.
- b) Temperatura do ar na entrada do secador, umidade final e umidade inicial dos grãos, nesta ordem, são os fatores que mais influenciam no tempo de secagem intermitente, com ar em temperatura constante.
- c) Para secagem de aveia em casca até valores menores do que 13% de umidade, em processo intermitente com temperatura constante do ar de

secagem, essa temperatura deve ser inferior a 105 °C para não provocar excessivo aquecimento dos grãos em níveis que comprometam sua conservabilidade no armazenamento e sua qualidade industrial, mas deve ser superior a 65 °C para que o tempo de secagem não seja tão grande que provoque excessivo consumo de energia elétrica e calórica em níveis que comprometam a economicidade do processo.

d) Em secagem intermitente com ar a temperatura constante, quanto mais altas forem as temperaturas do ar na entrada do secador e a umidade inicial dos grãos, e quanto menor for a umidade final dos grãos para o armazenamento, maior será o consumo de energia elétrica e calórica na operação.

## 6 ESTUDO III

### MANEJO OPERACIONAL DA SECAGEM INTERMITENTE E ARMAZENAMENTO EM CONDIÇÕES AMBIENTAIS CONTROLADAS E NÃO CONTROLADAS DE AVEIA CULTIVAR UPFA 20 TEIXEIRINHA

#### 6.1 INTRODUÇÃO

Secagem adequada, umidade, tempo e condições de armazenamento são os principais fatores que agem sobre a qualidade dos grãos, incluindo o metabolismo do próprio grão, a ação de fungos e outros organismos associados. O entendimento do comportamento higroscópico dos grãos durante a secagem e o armazenamento permite estabelecer, de forma mais apropriada, os padrões de conservabilidade (Portella & Eichelberger, 2001).

A predição de condições de armazenamento seguro permite preservar as características qualitativas de grãos por um longo período, evitando perdas significativas de deterioração (Rupollo *et al.*, 2004). As condições físico-químicas, propriedades tecnológicas, valor nutricional, condições sanitárias e de segurança para o consumo humano ou animal são fatores que em conjunto afetam a qualidade e o valor comercial de grãos (Fleurat-Lessard, 1997; Marini, 2004). As alterações durante o armazenamento são difíceis de serem avaliadas e monitoradas (Fleurat-Lessard, 2002).

O grau de umidade do grão e a temperatura no armazenamento podem determinar a intensidade de danos por fungos, insetos e pragas. Como a maioria dos sistemas biológicos, os grãos se deterioram ao serem armazenados. Particularmente sob condições desfavoráveis de alta umidade relativa do ar, alta umidade do grão e altas temperaturas, a deterioração progride mais rapidamente (Nora, 1992; Lorini *et al.*, 2002).

As trocas de calor e água entre os grãos armazenados e o ar ambiente são dinâmicas e contínuas até o limite de obtenção do equilíbrio higroscópico, em determinadas condições de temperatura. O processo ocorre por sorção ou dessorção de água pelos grãos, em função do diferencial de pressão de vapor de água e/ou de temperatura entre esses e a atmosfera intergranular. As condições de atividade de água dos grãos estão estreitamente relacionadas com o

desenvolvimento microbiano durante o armazenamento (Multon, 1980; Scussel, 2002).

As alterações de qualidade que gradualmente ocorrem em grãos armazenados são resultados de interações dentro de um complexo sistema ecológico (Multon, 1988; Tipples, 1995). Segundo Frisvad (1995), as condições de elevada umidade dos grãos em equilíbrio higroscópico e mantidos sob temperatura ambiente aumentam o metabolismo dos grãos, o que favorece o crescimento microbiano, acelerando sua atividade. Segundo Rupollo (2003), em condições aeróbicas normais, a temperatura e umidade são os principais fatores que afetam a taxa de produção de CO<sub>2</sub> ou de consumo de O<sub>2</sub>. Outros fatores como período de armazenamento, contaminação fúngica no início do armazenamento e grau de infestação por insetos também podem influenciar (Wrigley *et al.*, 1994). Alguns fungos de armazenamento produzem durante seu metabolismo compostos tóxicos denominados micotoxinas. A ingestão destes metabólitos pelo homem ou pelos animais pode vir a causar doenças, denominadas micotoxicoses ou mesmo a morte (D'Mello & Macdonald, 1997; Scussel, 2002).

O desenvolvimento de fungos em grãos cereais ocorre a partir de 0,72 de atividade de água a 20°C (Hodges, 1989). Com a perda de 1g de matéria seca por respiração aeróbica usando 1,07 g de O<sub>2</sub>, 1,47 g de CO<sub>2</sub>, 0,6 g de água, cerca de 15,4 kJ de energia na forma de aquecimento são liberadas. Dessa forma, a taxa de respiração é próxima à perda de matéria seca do grão e, conseqüentemente, à perda global de qualidade.

Dos constituintes da aveia, os lipídios representam a fração mais suscetível à deterioração durante o armazenamento, devido à redução do seu conteúdo total e/ou pela suscetibilidade e alterações estruturais (Ekstrand, 1993). Frisvad (1995) relata que os fungos produzem lipases, que degradam os lipídios a ácidos graxos livres, os quais são usados como fonte de energia para o seu próprio metabolismo.

Além da degradação química a que o grão de aveia está exposto sob a ação de certos gêneros de fungos, pode haver produção de micotoxinas, impedindo seu uso para o consumo humano e animal. É importante a detecção da deterioração por fungos e o emprego de medidas preventivas que sejam

eficientes e impeçam perdas significativas em grãos armazenados (Magan & Evans, 2000).

Objetivou-se com o trabalho, avaliar efeitos de fatores como temperatura do ar de secagem, umidade final e condição ambiental de armazenamento na conservabilidade e na qualidade industrial de grãos de aveia armazenados em sistema convencional por oito meses.

## 6.2 MATERIAL E METODOS

### 6.2.1 Matéria-prima

Para a condução do experimento foram utilizados grãos de aveia branca (*Avena sativa* L), do cultivar UPFA 20 Teixeira, produzidos, no Campo Experimental do Centro Agropecuário da Palma, da UFPel, localizado no município de Capão do Leão, RS, na safra 2003/2004. As operações de pós-colheita foram realizadas no Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos do DCTA-FAEM-UFPel.

### 6.2.2 Métodos experimentais

A colheita foi realizada quando os grãos atingiram a umidade de 18%, pelo uso de colhedeira automotriz obtendo rendimento de 2200 kg há<sup>-1</sup>. Os grãos foram submetidos à operação de pré-limpeza e transportados para o Laboratório de Pós-Colheita e Industrialização de Grãos da FAEM - UFPel, para a realização dos experimentos. A secagem intermitente foi realizada em secador-piloto modelo Vitória Laboratório, dotado de câmaras cilíndricas e fundo cônico, sendo regulado para operar em três temperaturas do ar de secagem e na relação de intermitência de 1:3, com os seguintes parâmetros operacionais básicos:

- Capacidade estática do funil inferior: 18 kg;
- Capacidade estática da câmara de secagem: 40 kg;
- Capacidade estática da câmara de equalização: 102 kg;
- Capacidade estática total: 160 kg;
- Vazão do ventilador centrífugo: 124,16 m<sup>3</sup> ar h<sup>-1</sup>;
- Capacidade do elevador: 752 kg h<sup>-1</sup>.

Os experimentos de secagem foram realizados em delineamento inteiramente casualizados (DIC), utilizando fatorial 3 x 3 x 2 (temperatura do ar de secagem; umidade final e condição ambiental de armazenamento). Para cada uma das temperaturas do ar de secagem (60, 85 e 110 °C), a umidade final da massa foi 11, 13 e 15% (Tabela 8).

Tabela 8. Delineamento experimental da secagem intermitente, utilizando três níveis de temperatura e três umidades de armazenamento

Tratamento	Temperatura (°C)	umidade (%)
T1	60±5	11
T2	110±5	11
T3	85±5	15
T4	85±5	13
T5	85±5	11
T6	110±5	13
T7	110±5	15
T8	60±5	15
T9	60±5	13

### 6.2.3 Avaliações

As análises físico-químicas foram realizadas nos Laboratórios do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, da FAEM/UFPEL e nos laboratório do Centro de Pesquisa em Alimentação da UPF. As análises microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Patologia de Sementes do Departamento de Fitossanidade da FAEM/UFPEL. Para verificar o comportamento dos grãos ao longo do período de armazenamento foram realizadas avaliações periódicas a partir da secagem das amostras.

#### 6.2.3.1 Extrato Etéreo

O extrato etéreo foi determinado em aparelho Soxhlet, de acordo com o método 30.20 da AACC (1995). Os resultados foram expressos em g 100g<sup>-1</sup>, em base seca e os ensaios realizados em triplicata.

### 6.2.3.2 Índice de Acidez

A determinação do índice de acidez foi realizada de acordo com o método número Ca5a-40 da AOCS (1990) e os resultados dos ensaios realizados em triplicata, expressos em mg de KOH g óleo<sup>-1</sup>.

### 6.2.3.3 Composição em ácidos graxos

O óleo foi extraído do grão moído com casca pelo método nº 30.20 da AACC (1995), em aparelho Soxhlet. A transformação em ésteres metílicos foi realizada de acordo com metodologia proposta por Maia & Rodriguez-Amya (1993), adaptado de Hartman & Lago (1973). As amostras foram saponificadas e os ácidos graxos metilados com o reagente esterificante constituído por cloreto de amônio-ácido sulfúrico e metanol. A composição de ácidos graxos foi determinada usando cromatógrafo Varian Star 3400 CX, com integração automática operando nas seguintes condições: coluna DB-Wax 30 m x 25 mm x 0,25 µm, temperatura inicial da coluna 130°C (zero minutos), rampa de aquecimento 2°C.min<sup>-1</sup>, temperatura final 210°C (10 minutos). O gás de arraste utilizado foi H ultrapuro, temperatura do injetor de 220°C e do detector 230°C, injetor tipo splitless e injetada alíquota de 1 µL. Para a identificação dos ácidos graxos foi utilizado o padrão Supelco FAME Mix C8-C24, nº 18918, sendo realizados os ensaios em duplicata.

### 6.2.3.4 Umidade

A perda de água dos grãos de aveia durante o armazenamento foi realizada pelo método da estufa a 105±3°C, com circulação natural de ar, por 24 horas, de acordo com a metodologia oficial de análise de sementes preconizada pelo Ministério da Agricultura (Brasil, 1992). As análises foram realizadas em triplicata e os resultados expressos em porcentagem de umidade em base úmida.

### 6.2.3.5 Peso do hectolitro

O peso do hectolitro foi determinado utilizando-se balança de peso hectolitro Dalle Molle e balança eletrônica digital com precisão de 0,01g. A balança Dalle Molle possui capacidade de ¼ de litro. Os resultados representam a média de cinco repetições.

### **6.2.3.6 Contaminação fúngica**

A contaminação natural por fungos dos grãos de aveia foi determinada no primeiro, quarto e oitavo mês de armazenamento, pelo uso do *Blotter Test*, segundo a metodologia oficial para análise microbiológica de sementes do Ministério da Agricultura (BRASIL, 1992), realizadas em quadruplicata, utilizando caixas gerbox com 25 grãos. A leitura foi realizada com o auxílio de microscópio estereoscópio, complementada com microscópio ótico, quando necessário a identificação dos gêneros dos fungos e os resultados expressos em porcentagem de grãos infectados.

### **6.2.3.7 Determinação de micotoxinas**

A determinação das micotoxinas aflatoxinas B1, B2, G1, G2, ocratoxina A e zearalenona na aveia foi realizada após os períodos de quatro e oito meses de armazenamento por cromatografia em camada delgada, empregando-se cromatofolhas de alumínio de sílica gel 60G, marca Merck (Darmstadt, Alemanha), de acordo com a metodologia proposta por Soares & Rodriguez-Amaya (1989). Os padrões de micotoxinas utilizados foram da marca Sigma (St. Louis, MO, EUA), mantidos sob temperatura de congelamento, devidamente protegido da luz e vedados até o momento do preparo das soluções. As soluções padrões foram preparadas e padronizadas em espectrofotômetro, segundo a AOAC (1997), método nº 917.22. Grãos de aveia com casca foram moídos e amostras de 50 g homogeneizadas em blender com metanol e solução de KCl 4% para extração das micotoxinas. Os resíduos obtidos na purificação foram homogeneizados e aplicados nas cromoplacas. Os padrões também foram aplicados como forma de comparação. Foram empregados os solventes tolueno, acetato de etila e ácido fórmico (60:40:0,5) para a eluição das micotoxinas. A análise visual foi realizada por observação da placa sob luz UV a 366 nm e 254 nm em cromatovisor, verificando a presença ou ausência de fluorescência das manchas das amostras analisadas em comparação com a fluorescência dos padrões.

### **6.2.3.8 Análise estatística**

Os resultados foram analisados pelo emprego da análise de variância e nos modelos significativos realizado a comparação múltipla de média pelo emprego do teste de Duncan a 5% de probabilidade. O processamento de dados e a análise

estatística foram realizados com o uso do programa estatístico SANEST (SISTEMA DE ANALISE ESTATISTICA – INTABEX Processors Brasil Ltda.).

### 6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 9 e 10 estão apresentados os valores de extrato etéreo de grãos de aveia do cultivar UPFA 20 Teixeira, submetidos a três temperaturas do ar de secagem e armazenados em diferentes umidades nas condições ambientais controlada e não controlada, durante de oito meses.

Tabela 9. Extrato etéreo (%) em grãos de aveia do cultivar UPFA 20 Teixeira, submetidos a três temperaturas de secagem, armazenados em ambiente não controlado com três umidades do grão por oito meses<sup>1</sup>

Temperatura (°C)	Umidade inicial (%bu)	Armazenamento (meses)		
		1º	4º	8º
60	11	5,42 a A	5,41 a A	5,36 a A
	13	5,42 a A	5,34 a B	5,31 a B
	15	5,42 a A	5,40 a A	5,26 a B
85	11	5,42 a A	5,39 a A	5,34 a A
	13	5,42 a A	5,42 a A	5,41 a A
	15	5,42 a A	5,38 a A	5,34 a A
110	11	5,42 a A	5,42 a A	5,33 a B
	13	5,42 a A	5,40 a A	5,33 a B
	15	5,42 a A	5,27 b B	5,22 a B

<sup>1</sup>Letras minúsculas distintas na mesma coluna e maiúsculas distintas na mesma linha representam diferenças significativas entre as médias submetidas ao teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro.

A análise de variância mostrou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamentos e entre épocas de armazenamento com relação ao teor de extrato etéreo. No armazenamento em condição ambiental controlada, apenas tratamentos com maiores graus de umidade apresentaram redução no teor de extrato etéreo ao longo do armazenamento, mostrando que o armazenamento com temperatura do ar em torno de 18 °C mantém os teores de extrato etéreo em níveis próximos aos encontrados no início do armazenamento.

Tabela 10. Extrato etéreo em grãos de aveia da cultivar UPFA 20 Teixeira, submetidos a três temperaturas de secagem, armazenados em ambiente controlado com três umidades do grão por oito meses<sup>1</sup>

Temperatura (°C)	Umidade inicial (%bu)	Armazenamento (meses)		
		1º	4º	8º
60	11	5,42 a A	5,45 ab A	5,39 b A
	13	5,42 a B	5,59 a A	5,52 aAB
	15	5,42 a A	5,37 b AB	5,23 b B
85	11	5,42 a A	5,43 a A	5,42 a A
	13	5,42 a A	5,38 a A	5,40 a A
	15	5,42 a A	5,45 a A	5,38 a A
110	11	5,42 a B	5,60 a A	5,55 a AB
	13	5,42 a B	5,57 a A	5,58 a A
	15	5,42 a AB	5,50 a A	5,34 b B

<sup>1</sup>Letras minúsculas distintas na mesma coluna e maiúsculas distintas na mesma linha representam diferenças significativas entre as médias submetidas ao teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro.

A redução no teor de extrato etéreo é resultante da hidrólise que ocorre durante o armazenamento devida à respiração do próprio grão, processos de oxidação, ação de enzimas entre outros fatores. Os resultados estão de acordo com a bibliografia especializada. Ekstrand *et al.* (1993) verificaram aumento na hidrólise de lipídios durante o armazenamento de aveia.

No sistema de armazenamento em condições ambientais não controladas, houve redução do teor de extrato etéreo em todos os tratamentos. Rupollo *et al.* (2004), estudando sistemas de armazenamento hermético e convencional em aveia verificaram diminuição nos valores de extrato etéreo em ambos os sistemas. Da mesma forma, os resultados estão de acordo com Molteberg *et al.* (1995), que verificaram uma diminuição do teor de extrato etéreo com o tempo de armazenamento, em aveia não processada e armazenada em umidade relativa de 80%.

Segundo Pomeranz (1974), o extrato etéreo caracteriza a fração constituinte mais suscetível à deterioração durante o armazenamento, devido à redução do seu conteúdo total e/ou pela suscetibilidade a alterações estruturais. Elias (2002) relata comportamentos similares com outros grãos e registra que o grau de degradação é proporcional ao teor de extrato etéreo.

As Figuras 7 e 8 representam os valores de acidez do óleo de grãos de aveia da cultivar UPFA 20 Teixeirainha, submetidos à secagem intermitente com

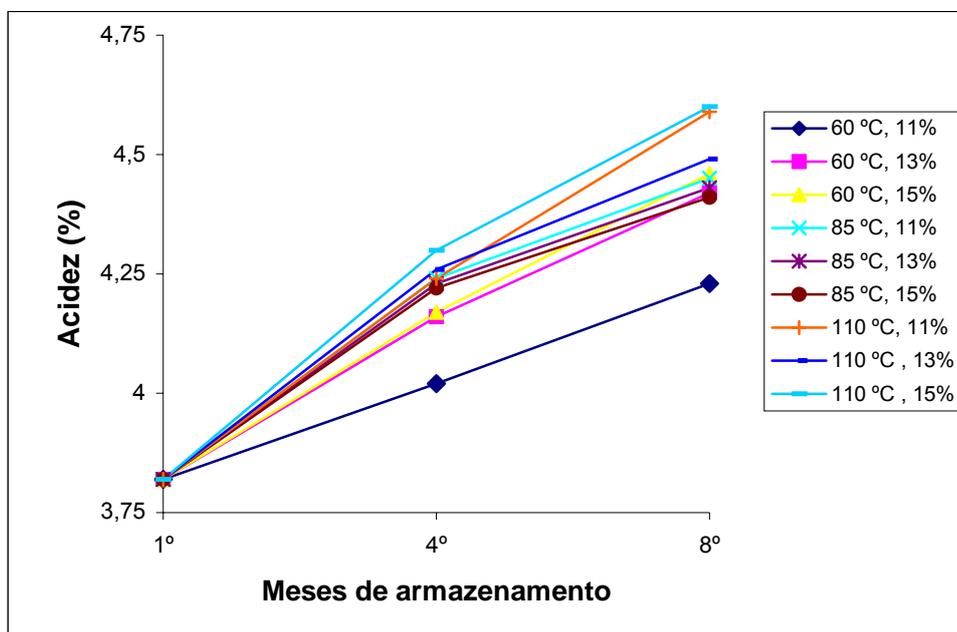


Figura 7. Acidez do óleo de grãos de aveia do cultivar UPFA 20 Teixeirainha, submetidos à secagem intermitente com três temperaturas do ar de secagem, armazenados com três umidades do grão, em ambiente não controlado por oito meses.

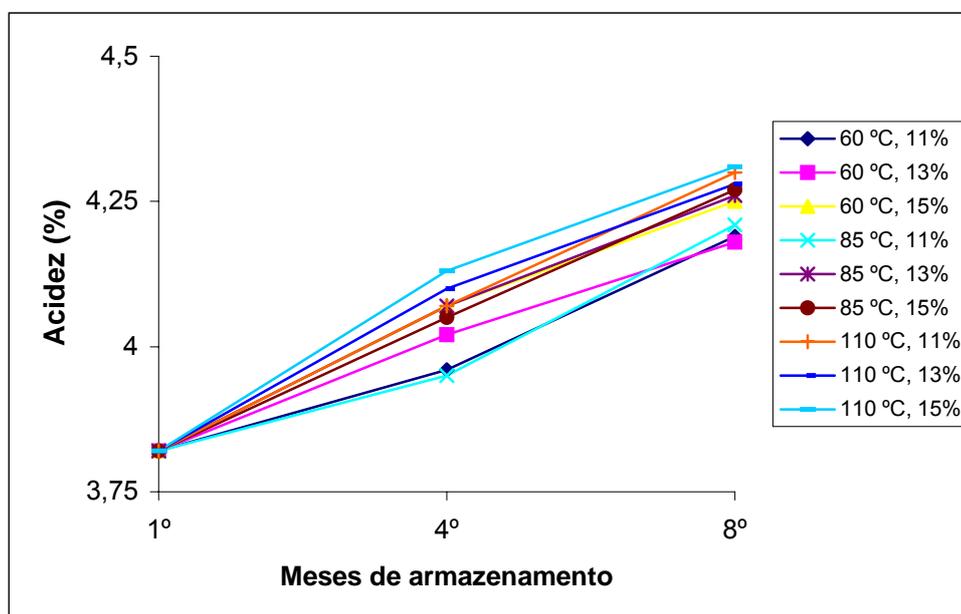


Figura 8. Acidez do óleo de grãos de aveia do cultivar UPFA 20 Teixeirainha, submetidos à secagem intermitente com três temperaturas do ar de secagem, armazenados com três umidades do grão, em ambiente controlado por oito meses.

temperaturas do ar de secagem de 60, 85 e 110 °C, armazenados nas umidades entre 11, 13 e 15%, em condições ambientais controlada e não controlada por oito meses.

Analisando-se os dados das Figuras 7 e 8, é possível se verificar que a acidez do óleo aumentou em todos os tratamentos. Quando o armazenamento ocorreu em condições ambientais controladas, (Figura 8), os valores de acidez foram semelhantes em todas as condições de secagem e, em geral, foram menores do que no armazenamento em condições ambientais não controladas (Figura 7). Nesse sistema de armazenamento, os menores valores de acidez ocorreram nas amostras com menor umidade e submetidas à secagem com menor temperatura (60 °C) do ar.

O índice de acidez do óleo é um bom indicador da qualidade dos grãos de aveia. Na deterioração dos grãos, a hidrólise lipídica ocorre mais rapidamente que nas proteínas e carboidratos. Em cada condição de armazenamento o aumento do índice de acidez teve uma correlação positiva com o aumento da umidade do grão. O tempo de armazenamento também teve influência direta no aumento da acidez do óleo de aveia. Porém, o maior aumento foi verificado nos tratamentos com maior teor de água, temperatura de secagem mais elevada e armazenados em condições ambientais não controladas. Pelo índice de acidez do extrato etéreo pode-se verificar que no armazenamento com condições ambientais controladas a conservação dos grãos de aveia é significativamente superior.

Os resultados verificados apresentam similaridade com relatos da literatura especializada. De acordo com relatos de Molteberg *et al.* (1995) grãos íntegros de aveia, armazenados em sistema convencional, com umidade inferior a 12%, apresentam variações mínimas nos níveis de acidez do óleo. Porém, condições de umidade e temperatura acima desses valores, combinadas com desagregações parciais ou totais dos grãos potencializam a ação enzimática, principalmente a lipase.

Gutkoski & El-Dash (1998) verificaram aumento na acidez praticamente linear, durante o armazenamento de aveia não processada, enquanto que em aveia extrusada o índice de acidez não aumentou durante o período de armazenamento estudado.

Na Tabela 11 estão apresentados os valores da composição em ácidos graxos de grãos de aveia do cultivar UPFA 20 Teixeira, armazenados no

sistema convencional por 8 meses, com diferentes graus de umidades e submetidos a diferentes temperaturas de secagem.

Tabela 11. Composição em ácidos graxos do óleo de grãos de aveia, cultivar UPFA 20 Teixeira, armazenados em sistema convencional, durante oito meses

Ácidos graxos	Armazenamento (meses)										
	1º	4º					8º				
		T1	T2	T4	T7	T8	T1	T2	T4	T7	T8
Mirístico C14:0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
Palmitico C16:0	14,20	14,41	14,36	14,53	14,32	14,73	12,26	14,73	13,85	13,24	14,58
Estearico C18:0	1,98	2,03	1,97	1,96	1,97	1,98	2,00	2,10	2,11	2,14	2,21
Total saturados	16,81	16,44	16,33	16,49	16,46	16,71	14,29	16,83	15,99	15,38	16,79
Oléico C18:1	43,47	43,17	43,40	43,40	43,70	43,29	38,81	40,55	42,69	43,38	42,28
Linoléico C18:2	39,64	39,62	39,51	39,54	39,03	40,00	37,14	35,91	38,58	38,57	37,84
Linolênico C18:3	0,72	0,77	0,75	0,56	0,69	0,00	4,00	1,98	2,38	2,20	2,08
Total insaturados	83,83	83,56	83,66	83,50	83,42	83,29	79,95	78,44	83,65	84,15	82,2

Médias aritméticas em duplicata, expressas em g 100g<sup>-1</sup>.

Os resultados obtidos no presente trabalho demonstram pequenas alterações nos valores de ácidos graxos durante o armazenamento. As maiores variações são em relação aos ácidos graxos insaturados que diminuíram em todos os tratamentos nos primeiros quatro meses de armazenamento, destacando-se os tratamentos com graus de umidade mais elevados. Aos oito meses apenas o tratamento T7 teve um aumento no total de insaturados e para os saturados a tendência foi diminuir em relação ao início do armazenamento para todos os tratamentos.

A redução dos ácidos graxos totais encontrados nos tratamentos armazenados com maior umidade pode estar relacionada com a ação de fungos de armazenamento que estão em maior número (Tabela 19), o que está de acordo com resultados encontrados por Hodges (1989).

A composição lipídica na aveia é favorecida pelo elevado teor de ácidos graxos insaturados, entre os quais o linoléico que é considerado essencial para a nutrição humana, também é o mais abundante. Entretanto, essa composição contribui para a frágil estabilidade dos produtos de aveia levando à formação de compostos indesejáveis (Galliard, 1983). Segundo Shahidi (1995) a determinação de voláteis individuais ou totais de compostos carbonílicos formados da degradação dos hidroperóxidos é uma alternativa para monitorar a extensão da rancidez oxidativa. O n-hexanal, um dos principais produtos secundários formados durante a oxidação do ácido linoléico (Frankel *et al.*, 1981; Rupollo *et al.*, 2004), bem como outros aldeídos e cetonas têm sido usados para monitorar a rancidez oxidativa de grãos cereais e seus produtos.

Os valores de ácidos graxos encontrados estão de acordo com valores determinados por Marini (2004), Gutkoski & El-Dash (1999) onde os autores citam que os ácidos palmítico, oléico e linoléico são os mais encontrados, representando em torno de 95% do total.

Nas Figuras 9 e 10 estão representados os valores médios de teor de água no grão de aveia para cada tratamento armazenado em condições ambientais não controladas e controladas, respectivamente, durante oito meses.

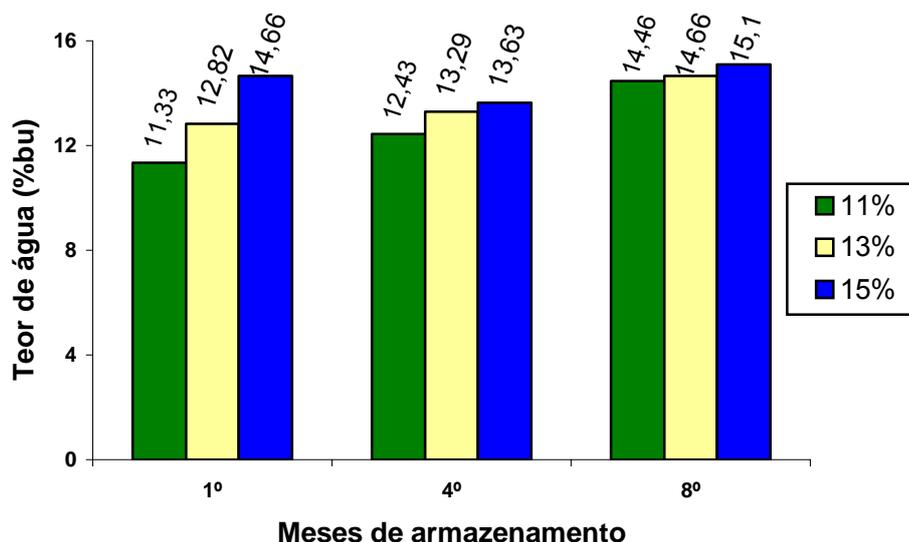


Figura 9. Teor de água (%bu) em grãos de aveia, do cultivar UPFA 20 Teixeirainha submetidos à secagem intermitente, armazenado com três umidades por oito meses em ambiente não controlado.

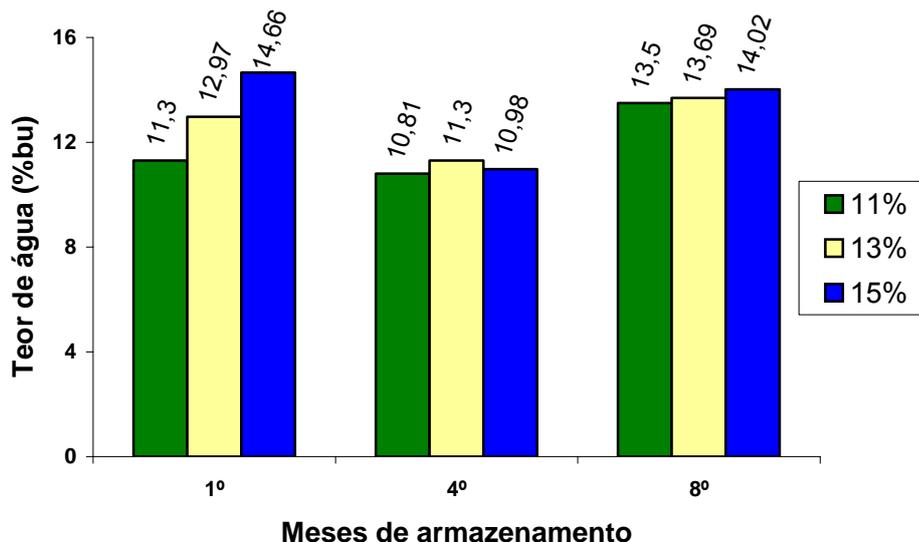


Figura 10. Teor de água (%bu) em grãos de aveia, do cultivar UPFA 20 Teixeirainha submetidos à secagem intermitente, armazenado com três umidades por oito meses em ambiente controlado.

Os resultados representados nas Figuras 9 e 10 mostram uma variação no grau de umidade dos grãos durante o período de armazenamento, tendendo ao equilíbrio higroscópico, que é determinado em função da temperatura e da umidade relativa do ar. A massa de grãos em contato com o ar ambiente onde ocorre oscilação da umidade relativa irá absorver ou ceder água, chegando ao equilíbrio higroscópico em que a pressão de vapor do ar é igual à pressão de vapor do grão.

A variação no teor de água depende das condições ambientais. Nos primeiros quatro meses os tratamentos armazenados em condição ambiental controlada tiveram uma queda no teor de água, combinando com os meses de menor umidade relativa (Tabela 13) e por estarem armazenados com temperatura do ar controlada, favorecendo o equilíbrio higroscópico com teor de água menor. Porém, quando armazenados em condições ambientais não controladas, o teor de água encontrou equilíbrio higroscópico com o ambiente em níveis mais elevados.

A composição química da cultivar, carga genética, ambiente, temperatura de secagem e umidade relativa do ar são os fatores que mais influenciam no equilíbrio higroscópico dos grãos (Chen, 2000).

Os resultados apresentados na Tabela 12 mostram uma variação no teor de água dos grãos durante o período de armazenamento, com tendência ao

equilíbrio higroscópico. Entretanto, através dos valores encontrados pode ser observado que em todos os tratamentos com condição ambiental controlada a massa de grãos teve um equilíbrio higroscópico com teor de água menor ao longo do tempo de armazenamento.

Tabela 12. Teor de água (%b.u.) em grãos de aveia, cultivar UPFA 20 Teixeira, submetidos à secagem intermitente com três temperaturas do ar, armazenados pelo sistema convencional em duas condições ambientais, com três umidades por oito meses<sup>1</sup>

Temperatura do ar de secagem	Umidade (%b.u.)	Condição	Armazenamento (meses)		
			1º	4º	8º
60 °C	11	ANC	11,38 a C	12,33 a B	14,65 a A
		AC	11,38 a B	11,00 b C	13,77 b A
	13	ANC	12,90 a C	13,72 a B	15,02 a A
		AC	12,90 a B	11,38 b C	13,55 b A
	15	ANC	15,04 a A	13,78 a B	15,15 a A
		AC	15,04 a A	11,04 b C	13,99 b B
85 °C	11	ANC	11,28 a C	12,71 a B	14,24 a A
		AC	11,28 a B	11,17 b B	13,23 b A
	13	ANC	13,40 a B	13,27 a B	14,72 a A
		AC	13,40 a B	11,52 b C	13,88 b A
	15	ANC	14,24 a B	13,61 a C	15,22 a A
		AC	14,24 a A	10,89 b B	14,09 b A
110 °C	11	ANC	11,24 a C	12,23 a B	14,49 a A
		AC	11,24 a B	10,26 b C	13,50 b A
	13	ANC	12,16 a C	12,88 a B	14,12 a A
		AC	12,16 a B	10,99 b C	13,65 b A
	15	ANC	14,70 a A	13,51 a B	14,92 a A
		AC	14,70 a A	11,01 b C	13,99 b B

<sup>1</sup> Médias aritméticas simples de três repetições, acompanhadas por distintas letras minúsculas na mesma coluna com mesma faixa de umidade e maiúsculas na linha, diferem a 5% de significância pelo teste de Duncan. b.u. – Percentual de umidade expresso em base úmida. ANC – Ambiente não controlado. AC – Ambiente controlado.

Tabela 13. Temperatura e umidade relativa média mensal durante os oito meses de armazenamento na região de Pelotas

<b>Mês</b>	<b>Temperatura média (°C)</b>	<b>Umidade Relativa média (%)</b>
Dezembro/03	-	75,7
Janeiro/04	23	82,4
Fevereiro/04	22,5	77,2
Março/04	21,8	80,6
Abril/04	20	83,9
Mai/04	14,7	89,5
Junho/04	14,2	89,3
Julho/04	12,2	83,4

Fonte: Estação agroclimatológica de Pelotas, 2003/2004

Ainda que as médias de umidade apresentem diferenças estatisticamente significativas, o que tem importância científica, nos aspectos tecnológico e comercial só há importância em diferenças superiores a 0,5 pontos percentuais na mesma determinação (Brasil, 1992).

Nas Tabelas 14 e 15 estão apresentados os valores de peso do hectolitro de grãos de aveia do cultivar UPFA 20 Teixeira, submetidos a três temperaturas de secagem e armazenados por oito meses com três teores de umidade em condição ambiental controlada e não controlada.

Os resultados são compatíveis com os registrados para aveia na literatura especializada. A análise estatística apresentou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) em todos os parâmetros avaliados para peso do hectolitro durante o armazenamento. Nos tratamentos em que foram utilizadas condições de temperatura e de umidade mais elevadas é possível observar valores menores de peso hectolitro. Apesar de ser utilizado a secagem intermitente, a diminuição do peso do hectolitro se deve aos efeitos das altas temperaturas e da umidade final de armazenamento, e não por danos mecânicos, como em outros cereais (Marini, 2004), uma vez que a secagem foi feita nos grãos com casca, o que confere certa resistência a danos mecânicos.

Além de haver diferença pelas condições de temperatura do ar de secagem e pela umidade de armazenamento, o peso do hectolitro teve redução significativa em todos os tratamentos ao longo do período de armazenamento. Os índices

Tabela 14. Peso do hectolitro ( $\text{kg hl}^{-1}$ ) de grãos de aveia, cultivar UPFA 20 Teixeira, submetidos à secagem intermitente com três temperaturas do ar, armazenados pelo sistema convencional em ambiente controlado, com três umidades por oito meses

Temperatura do ar de secagem	Umidade (%b.u.)	Armazenamento (meses)		
		1º	4º	8º
60 °C	11	44,30 a A	43,56 a B	43,33 a C
	13	43,95 b A	43,45 a B	43,23 a C
	15	44,33 a A	43,28 b B	42,92 a C
85 °C	11	43,75 b A	43,18 b B	42,92 a C
	13	44,06 a A	43,42 a B	43,10 a C
	15	43,88 ab A	42,14 c B	41,85 b C
110 °C	11	42,89 a A	42,36 b B	42,03 b C
	13	42,93 a A	42,74 a A	42,41 a C
	15	42,98 a A	40,69 c B	40,38 c C

Tabela 15. Peso do hectolitro ( $\text{kg hl}^{-1}$ ) de grãos de aveia, cultivar UPFA 20 Teixeira, submetidos à secagem intermitente com três temperaturas do ar, armazenados pelo sistema convencional em ambiente não controlado, com três umidades por oito meses

Temperatura do ar de secagem	Umidade (%b.u.)	Armazenamento (meses)		
		1º	4º	8º
60 °C	11	44,30 a A	44,02 a B	43,41 a C
	13	43,95 b A	43,81 b B	42,85 b C
	15	44,33 a A	43,85 ab B	43,36 a C
85 °C	11	43,75 b A	43,22 b B	42,23 a C
	13	44,06 a A	43,45 a B	41,96 b C
	15	43,88 ab A	42,81 c B	40,71 c C
110 °C	11	42,89 a A	42,34 a B	41,39 a C
	13	42,93 a A	42,37 a B	41,33 a C
	15	42,98 a A	42,45 a B	41,48 a C

observados refletem as perdas quantitativas totais, resultantes dos processos de deterioração dos grãos, devido ao seu metabolismo intrínseco, à atividade microbiana e a de pragas associadas (Caldasso, 1998). As menores variações

correspondem aos melhores parâmetros conservativos da massa de grãos durante o armazenamento (Elias *et al.*, 2002).

Nas Tabelas 16 e 17 são apresentados os valores de ocorrência fúngica nos grãos e nas Tabelas 18 e 19 são apresentados os valores de contaminação por fungos dos gêneros *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* e outros fungos em grãos de aveia, armazenados pelo sistema convencional, em condições ambientais controlada e não controladas em diferentes umidades no primeiro, quarto e oitavo mês de armazenamento. Na primeira época de avaliação os fungos encontrados referem-se basicamente aos de campo, ou seja, a contaminação natural dos grãos na lavoura. Outros fungos encontrados nos tratamentos são predominantemente de campo e pertencem aos gêneros *Colletotrichum*, *Chaetomium*, *Phoma*, *Bipolaris*, *Alternaria* e *Neurospora*.

Na Tabela 16, pode ser observado que ao decorrer do tempo de armazenamento a incidência fúngica diminuiu, com destaque para o tratamento em que foi efetuada a secagem com temperatura do ar de 110 °C e armazenado com umidade de 11%. Quando os grãos foram armazenados em condições ambientais não controladas (Tabela 17), observa-se uma diminuição da incidência fúngica no quarto mês de armazenamento, aumentando no oitavo mês, devido ao aumento da umidade da massa de grãos, que favoreceu a proliferação de algumas espécies de fungos, principalmente os fungos de armazenamento, com potencial toxicogênico, como pode ser observado na Tabela 19.

Durante um longo período de armazenamento, fungos xerófilos dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium*, denominados fungos de armazenamento, progressivamente substituem os fungos de campo. Nas umidades de 15 a 19% (0,75-0,85 de aw), mais espécies de fungos de campo são inibidas ou morrem enquanto espécies de fungos de armazenamento crescem, mesmo que lentamente. O resultados (Tabelas 18 e 19) estão de acordo com as observações de Frisvad (1995).

Segundo Frisvad (1995), condições de elevada umidade de grãos e de temperatura ambiente aumentam o metabolismo dos grãos, o que favorece o crescimento microbiano. A contaminação por microrganismos ainda no campo é natural e permanente. Em condições ambientais, os grãos que apresentam umidade elevada na colheita favorecem a predominância de fungos dos gêneros *Fusarium*, *Alternaria* e *Helminthosporium*, denominados fungos de campo.

Tabela 16. Incidência fúngica (%) em grãos aveia, cultivar UPFA 20 Teixeira, armazenados em ambiente controlado, em três umidades no primeiro, quarto e oitavo mês de armazenamento

Temperatura de secagem (°C)	Umidade dos grãos (% b.u.)	Armazenamento (meses)	Grãos com incidência fúngica (%)	Grãos sem incidência fúngica (%)
60	11	1º	95	5
60	11	4º	43	57
60	11	8º	27	73
60	13	1º	95	5
60	13	4º	67	33
60	13	8º	63	37
60	15	1º	95	5
60	15	4º	67	33
60	15	8º	65	35
85	11	1º	95	5
85	11	4º	59	41
85	11	8º	54	46
85	13	1º	95	5
85	13	4º	68	32
85	13	8º	36	64
85	15	1º	95	5
85	15	4º	83	17
85	15	8º	66	34
110	11	1º	95	5
110	11	4º	40	60
110	11	8º	47	53
110	13	1º	95	5
110	13	4º	60	40
110	13	8º	57	43
110	15	1º	95	5
110	15	4º	74	26
110	15	8º	61	39

No primeiro mês de armazenamento refere-se aos fungos de campo, a contaminação natural dos grãos na lavoura; b.u.- percentual de umidade, expresso em base úmida.

Tabela 17. Incidência fúngica (%) em grãos aveia, cultivar UPFA 20 Teixeira, armazenados em ambiente não controlado, em três umidades no primeiro, quarto e oitavo mês de armazenamento

Temperatura de secagem (°C)	Umidade dos grãos (%b.u.)	Armazenamento (meses)	Grãos com incidência fúngica (%)	Grãos sem incidência fúngica (%)
60	11	1°	95	5
60	11	4°	48	52
60	11	8°	55	45
60	13	1°	95	5
60	13	4°	57	43
60	13	8°	78	22
60	15	1°	95	5
60	15	4°	76	24
60	15	8°	71	29
85	11	1°	95	5
85	11	4°	55	45
85	11	8°	94	6
85	13	1°	95	5
85	13	4°	59	41
85	13	8°	61	39
85	15	1°	95	5
85	15	4°	62	38
85	15	8°	88	12
110	11	1°	95	5
110	11	4°	55	45
110	11	8°	91	9
110	13	1°	95	5
110	13	4°	68	32
110	13	8°	65	35
110	15	1°	95	5
110	15	4°	85	15
110	15	8°	26	34

No primeiro mês de armazenamento refere-se aos fungos de campo, a contaminação natural dos grãos na lavoura; b.u.- percentual de umidade, expresso em base úmida.

Tabela 18. Fungos com potencial toxicogênico (%) em grãos aveia, cultivar UPFA 20 Teixeira, armazenados em ambiente controlado, em três umidades no primeiro, quarto e oitavo mês de armazenamento

Tratamento	T.A.	<i>Aspergillus</i>	<i>Penicillium</i>	<i>Fusarium</i>	Fungos arma.*	Outros
T1C	1°	-	1	3	4	92
T1C	4°	-	-	4	4	83
T1C	8°	-	-	1	1	48
T2C	1°	-	1	3	4	92
T2C	4°	1	3	2	6	88
T2C	8°	-	1	-	1	47
T3C	1°	-	1	3	4	92
T3C	4°	-	1	3	4	83
T3C	8°	2	2	5	9	63
T4C	1°	-	1	3	4	92
T4C	4°	1	1	2	4	85
T4C	8°	1	1	3	5	43
T5C	1°	-	1	3	4	92
T5C	4°	-	2	1	3	72
T5C	8°	1	1	6	8	68
T6C	1°	-	1	3	4	92
T6C	4°	2	1	4	7	86
T6C	8°	1	-	5	6	68
T7C	1°	-	1	3	4	92
T7C	4°	2	2	4	6	103
T7C	8°	3	2	5	10	52
T8C	1°	-	1	3	4	92
T8C	4°	-	1	2	3	97
T8C	8°	2	1	4	7	76
T9C	1°	-	1	3	4	92
T9C	4°	1	1	-	2	87
T9C	8°	2	1	5	8	70

\*Σ dos fungos de armazenamento (*Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*); No primeiro mês de armazenamento refere-se aos fungos de campo, a contaminação natural dos grãos na lavoura; T.A.- Tempo de armazenamento (meses); C- Armazenamento em ambiente controlado; b.u.- percentual de umidade, expresso em base úmida.

Tabela 19. Fungos com potencial toxicogênico (%) em grãos aveia, cultivar UPFA 20 Teixeira, armazenados em ambiente não controlado, em três umidades no primeiro, quarto e oitavo mês de armazenamento

Tratamento	T.A.	<i>Aspergillus</i>	<i>Penicillium</i>	<i>Fusarium</i>	Fungos arma.*	Outros
T1A	1°	-	1	3	4	92
T1A	4°	-	-	2	2	53
T1A	8°	1	-	4	5	56
T2A	1°	-	1	3	4	92
T2A	4°	-	1	2	3	69
T2A	8°	3	1	6	10	83
T3A	1°	-	1	3	4	92
T3A	4°	1	1	6	8	73
T3A	8°	1	2	6	9	89
T4A	1°	-	1	3	4	92
T4A	4°	-	-	7	7	68
T4A	8°	2	-	-	2	75
T5A	1°	-	1	3	4	92
T5A	4°	-	1	8	9	77
T5A	8°	3	-	6	9	89
T6A	1°	-	1	3	4	92
T6A	4°	1	3	-	4	86
T6A	8°	8	1	1	10	51
T7A	1°	-	1	3	4	92
T7A	4°	13	14	2	29	76
T7A	8°	22	4	2	28	51
T8A	1°	-	1	3	4	92
T8A	4°	1	4	4	9	98
T8A	8°	8	4	3	15	68
T9A	1°	-	1	3	4	92
T9A	4°	-	1	4	5	73
T9A	8°	2	12	6	20	72

\*Σ dos fungos de armazenamento (*Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*); No primeiro mês de armazenamento refere-se aos fungos de campo, a contaminação natural dos grãos na lavoura; T.A.- Tempo de armazenamento (meses); A- Armazenamento em ambiente não controlado; b.u.- percentual de umidade, expresso em base úmida.

Os alimentos estão sujeitos à invasão por fungos e contaminação com micotoxinas no campo durante e após a colheita, no processamento, no transporte e na estocagem, em condições deficientes de manuseio. Em quase todos os tipos de produtos alimentícios já foram detectadas micotoxinas sendo que em aveia as ocratoxinas, citrinina, tricotecenos, zearalenona causam os maiores problemas (Sabino, 1999).

Scudamore *et al.* (1999) detectaram a ocorrência da micotoxina Ocratoxina A em 21% das amostras examinadas em grãos da aveia, trigo e cevada, sendo com maior frequência em cevada.

No presente trabalho, para avaliação de micotoxinas, foram realizadas as análises, em cinco tratamentos, armazenados em condições ambientais não controladas, com a menor umidade de armazenamento, a intermediária e a maior umidade. Em nenhum dos tratamentos foi detectado micotoxinas em ambas as épocas de avaliação.

#### **6.4 CONCLUSÕES**

Secagem intermitente com temperatura do ar de secagem até  $85 \pm 5$  °C e umidade de armazenamento até 13% é um método eficaz na conservação de aveia branca. Grãos de aveia armazenados com umidade superior a 13% apresentam conservabilidade satisfatória apenas quando armazenados em condição ambiental com temperatura controlada. A redução do teor de extrato etéreo e o aumento do índice de acidez durante o armazenamento são maiores em grãos secos com ar a  $105 \pm 5$  °C e armazenados com umidade próxima a 15% do que em condições mais amenas. Grãos de aveia armazenados em condições ambientais com controle de temperatura atingem o equilíbrio higroscópico com teores de água menor que em condição ambiental não controlada.

## 7 DISCUSSÃO GERAL

Os resultados obtidos no trabalho de caracterização química demonstraram que o cultivar UPFA 20 apresenta padrões comparáveis à média internacional para a composição de lipídios. O teor de proteínas é alto e comparável com os demais cultivares de aveia já caracterizados no Brasil. A composição aminoacídica é adequada e comparável com o padrão da FAO sendo a lisina o primeiro aminoácido limitante. O escore químico ficou abaixo dos valores encontrados em aveia. A energia metabolizável da aveia com casca foi inferior devido aos altos teores de fibra alimentar. A aveia estudada mostra-se similar às demais cultivares brasileiras já caracterizadas quimicamente.

Temperaturas do ar de secagem mais elevadas causam maior aquecimento da massa de grãos, aumentam a taxa de secagem e diminuem o tempo da operação. As umidades inicial e final de secagem para o armazenamento também tem influência no tempo de secagem e no consumo energético.

Armazenamento com temperatura do ar em torno de 18 °C mantém os teores de extrato etéreo em níveis próximos aos encontrados no início do armazenamento. Em cada condição de armazenamento o aumento do índice de acidez teve uma correlação positiva com o aumento da umidade do grão. O tempo de armazenamento também teve influência direta no aumento da acidez do óleo de aveia. Os maiores aumentos foram verificados nos tratamentos com maior teor de água, temperatura de secagem mais elevada e armazenados em condições ambientais não controladas.

Houve pequenas alterações na composição em ácidos graxos durante o armazenamento. As maiores variações são em relação aos ácidos graxos insaturados que diminuíram em todos os tratamentos nos primeiros quatro meses de armazenamento, destacando-se os tratamentos com teores de umidade mais elevados. A redução dos ácidos graxos totais encontrados nos tratamentos armazenados com maior umidade pode estar relacionada com o metabolismo dos grãos e com a ação de fungos de armazenamento que estão em maior número.

A variação no teor de água depende das condições ambientais. Os tratamentos em que os grãos foram armazenados em condição ambiental controlada encontraram o equilíbrio higroscópico com teor de água menor.

Porém, nos armazenados em condições ambientais não controladas, o teor de água encontrou equilíbrio higroscópico com o ambiente em níveis mais elevados.

Aumentos na temperatura do ar de secagem, na umidade de armazenamento e no tempo de armazenamento ocasionam redução do peso hectolítrico em grãos de aveia.

Durante o período de armazenamento a incidência de fungos provenientes da lavoura diminuíram, sendo que os dos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium* característicos de armazenamento com potencial toxicogênico aumentaram. Apesar da ocorrência de contaminação fúngica, tanto por fungos de campo como de armazenamento, não foi detectada a presença de micotoxinas durante o período de armazenamento nos tratamentos avaliados.

Secagem intermitente com temperatura do ar de secagem até  $85 \pm 5$  °C e umidade de armazenamento até 13% é um método eficaz tanto no âmbito operacional quanto no de conservação de aveia branca.

Para secagem intermitente até valores de umidade menores do que 13% não é recomendável o uso de temperatura do ar de entrada no secador superior a 105 °C, pois ao longo do tempo de operação possibilita aumento elevados na temperatura dos grãos, as quais podem atingir valores superiores a 42 °C, o que caracteriza alto potencial de danos térmicos, que se refletem na redução de conservabilidade. Também, para secagem até valores de umidade dos grãos inferiores a 13% a temperatura do ar de entrada no secador intermitente não deve ser menor do que 65 °C, pois o longo tempo de secagem, além das dificuldades operacionais daí decorrentes, provoca excessivo consumo de energia elétrica e baixa taxa de secagem por unidade de combustível gasto.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**AACC - American Association of Cereal Chemists.** Approved methods. 9<sup>th</sup> edition, Saint Paul, 1995.

ALMEIDA, J.L. Produção e utilização recente de aveia no Brasil. In: **COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA**, Londrina. IAPAR-PR, 1998.79p.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis**, 16 ed. In: HORWITZ, W. (ed). Arlington: Washington, 1997.

AOCS - AMERICAN OIL CHEMISTS'SOCIETY. **Official methods and recommended practices**. 3.ed., Chicago,1990.

ASP, N.G.; MATTSON, B.; ONNING, G. Variation in dietary fibre,  $\beta$ -glucan, starch, protein, fat and hull content of oats grown in Sweden 1987-1989. **European Journal Clinical Nutrition**, v.46, n.1, p.31-37, 1992.

BETCHEL, D.B.; POMERANZ, Y. Ultrastructure and cytochemistry of mature oat (*Avena sativa* L.) endosperm. The aleurone layer and starchy endosperm. **Cereal Chemistry**, v.58, n.1, p-61-69, 1981.

BIAGI, J.D.; BERTOL, R.; CARNEIRO, M.C. Secagem de Grãos para Unidades Centrais de Armazenamento. **Armazenagem de Grãos**. Campinas: IBG, 2002. 1000p.

BOEMEKE, L.R.S. **Desempenho energético e qualidade de grãos nas secagens estacionária e intermitente de arroz**. 2000. 60p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

BOEMEKE, L.R.S.; SIMIONI, D.; ROMANO, C.M.; AOSANI, E.; PEREIRA, F.M.; SCHIRMER, M.A.S.; ELIAS, M.C. Desempenho energético em secagens estacionária e intermitente de arroz. In: **I Simpósio Sul Brasileiro da Qualidade de Arroz**. Pelotas, 2003. Ed. ABRAPÓS. Passo Fundo, 2003, p. 415-22.

BONAZZI, C.; DUPEUTY, M.A.; HERMELIN, A. Influence of drying conditions on the processing quality of rough rice. **Drying Technology**, v.15, n.3-4, p.1141-1157, 1997.

BOUTRIF, E. Recent developments in protein quality evaluation, **Food Nutrition and Agriculture / Alimentation Nutrition et Agriculture**, v.2, p.36, 1991.

BRANDENBURG, N.R.; SIMONS, J.W.; SMITIL, L.L. Why and how seeds are dried. In: THE UNITED STATES DEPARTAMENT OF AGRICULTURE. **Seeds the Yearbook of Agriculture 1961**. Washington: The United States Government Printing Office, p. 295-306, 1961.

BRASIL. Ministério da Agricultura do Abastecimento e da Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA, 1992. 365p.

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: Van Nostrand Reinold, 1992. 450p.

CALDASSO, L.H. **Ácidos orgânicos e sistemas de armazenamento na conservação de milho em pequena escala**. Pelotas: FAEM/UFPel, 1998. 60p. (Dissertação Mestrado).

CALEGARI, A. Culturas de cobertura para plantio direto em solos argilosos. In: **II Conferência Anual de Plantio Direto**. Pato Branco, PR., 1997.

CAVRIANI, C.; SILVA, R.S.; MIRANDA, L.C.; NAKAGAVA, J.; BELGIORNO, D.C. Secagem estacionária de sementes de milho com distribuição radial do fluxo de ar. II – Andamento físico. **Revista Brasileira de Sementes**, v.21, n.1, p.7-17, 1999.

CBPA - COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA. **Recomendações técnicas para a cultura da aveia**. Passo Fundo, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária /UPF, 2003. 87p.

CHEN, C. Factors that effect equilibrium relative humidity of agricultural products. **Transactions of the ASAE**, v.43, n.3, p.673-683, 2000.

CHO, K.C.; WHITE, P.J. Enzymatic analysis of  $\beta$ -glucan content indifferent oat genotypes. **Cereal Chemistry**, v.70, n.5, p.539-542, 1993.

CHRISTENSEN, C.M. **Storage of Cereal Grains and Their Products**. St. Paul: A.A.C.C, 1974. p.56-114.

CIHAN, A.; ECE, M.C. Liquid diffusion model for intermittent drying of rough rice. **Journal of Food Engineering**, v.49, 2001. p.327–331.

COFFMAN, F.A. **Oats and oat improvement**. Madison: The American Society of Agronomy, 1961. 650p.

COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DA AVEIA, **Indicações técnicas para a cultura da aveia**. Passo Fundo: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária/UPF, 2003. 87p.

CONAB - **Companhia Nacional de Abastecimento**. Levantamento de safra 2003/2004. CONAB, 2004. Disponível em: <<http://www.conab.br>>. Acesso em: 11/2004.

DIAS, A.R.G. **Efeitos dos teores de umidades de colheita e de beneficiamento no desempenho industrial de cinco variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado**. 1993. 86p. Dissertação – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

D'MELLO, J.P.F.; MACDONALD, A.M.C. Mycotoxins. **Animal Feed Science and Technology**, v.69, p.155-166, 1997.

EGGUM, B.O; GULLORD, M. The nutritional quality of some oat varieties cultivated in Norway. **Qualitas Plantarum Plant Foods Human Nutrition**, n.32, v.1, p.67-73, 1983.

EKSTRAND, B.; GANGBY, I.; AKESSON, G. Lipase activity in oats - distribution , pH dependence and heat inactivation. **Cereal Chemistry**, v.69, n.4, p.379-381, 1992.

EKSTRAND, B.; GANGBY, I.; AKESSON, G.; STÓLMANN, V.; LINGNERT, H.; DAHL, S. Lipase activity and development of rancidity in oats and oat products related to heat treatment during processing. **Journal of Cereal Science**, v.17, n.3, p.247-254, 1993.

ELIAS, M.C. **Efeitos da espera para secagem e do tempo de armazenamento na qualidade das sementes e grãos do arroz irrigado**. 1998. 164p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

ELIAS, M.C. Fatores que influenciam a aeração e o manejo da conservação de grãos. In: Lorini, I.; Miike, L.H.; Scussel, V.M. (Ed) **Armazenagem de grãos**. Campinas: IBG, 2002. p.311-359.

ELIAS, M.C. **Armazenamento e conservação de grãos em médias e pequenas escalas**. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária, 2002. 219p.

ELIAS, M.C. Pós-colheita e industrialização de arroz. In: GOMES, A.S.G. & MAGALHÃES Jr., A.M. **Arroz Irrigado no Sul do Brasil**. Capítulo 22, p. 745-798. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, 2004.

ELIAS, M.C.; LOECK, A.E.; CONRAD, V.J.D. **Recomendações técnicas para colheita, secagem, armazenamento e industrialização de arroz para o sul do Brasil**. Pelotas: Pólo de Alimentos, ed. eletrônica, 2003. 42p.

ELIAS, M.C.; ROMBALDI, C.V. **Secagem intermitente e industrialização de arroz, variedade BR-IRGA 409**. Lavoura Arrozeira, IRGA, Porto Alegre, v.42, n.388, p.22-23, 1989.

ELIAS, M.C.; SCHIRMER, M.A.; MARINI, L.J. Propriedades e/ou características dos grãos e suas correlações com os processos conservativos e tecnológicos. In **Secagem e armazenamento de grãos, em média e pequena escala**. 3ªed. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária, 2002, p.26-61.

ELIAS, M.C. **Tecnologia em secagem e armazenamento de grãos: sistemas, processos e métodos**. Pelotas, UFPEL/COREDE, 2000. 84p.

FAO/WHO/UNU expert consultation. Energy and protein requirements; **FAO/WHO nutrition meetings**. Geneva: Food and Agriculture Organization/World Health Organization, 1985. Report series 724.

FLEURAT-LESSARD, F. A European perspective on new quality requirements in grain trading. **Cereal Foods World**, v.42, p.206-209, 1997.

FLEURAT-LESSARD, F. Qualitative reasoning and integrated management of the quality of stored grain: a promising new approach. **Journal of Stored Products Research**, v.38, p.191-218, 2002.

FLORES, H.E.M.; BASTOS, F.M.; CHANG, Y.K. Efeito benéfico na saúde humana das fibras dietéticas presentes nos alimentos. In: Simpósio de Alimentos Funcionais para o Novo Milênio, 1, 2000, Campinas. **Anais...** Campinas: 2000. p.24-25.

FLOSS, E.L. Pesquisa de aveia. Do acadêmico ao desenvolvimento. In: 22<sup>a</sup> Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia, Passo Fundo, 2002. **Anais...** Passo Fundo: UPF, p.27-38, 2002.

FRANKEL, E.N.; NEFF, W.E.; SELKE, E. Analysis of autoxidized fats by gas chromatography-mass spectrometry: VII. Volatile thermal decomposition products of pure hidroperoxides from autoxidized and photosensitized methyl oleate, linoleate and linolenate. **Lipids**, v.16, n.5, p.279-292, 1981.

FRISVAD, J.C. Mycotoxins and mycotoxigenic fungi in storage. In: JAYAS, D.S.; WHITE, N.D.G.; MUIR, W.E. (Ed.), **Stored-grain Ecosystems**. M. Dekker, Inc., New York, p.251-288, 1995.

FROLLICH, W.; NYMAN, M. Minerals, phytate and dietary fiber in different fractions of oat grain. **Journal of Cereal Science**, v.7, n.1, p.73-82, 1988.

FULCHER, R.G. Morphological and chemical organization of the oat kernel. In: WEBSTER, F. **Oats chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, p.47-74, 1986.

GALLIARD, T. Rancidity in cereal products. In: ALLEN, J.C.; HAMILTON, R.J. **Rancidity in Foods**. London: Applied Science Publishers, p.109-130, 1983.

GUTKOSKI, L.C. **Caracterização tecnológica de frações de moagem de aveia (*Avena sativa* L.) e efeito de umidade e temperatura de extrusão na sua estabilidade**. 1997. 132p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

GUTKOSKI, L.C. Origem, distribuição e formas de utilização. In: GUTKOSKI, L.C.; PEDÓ, I. **Aveia - composição química, valor nutricional e processamento**. São Paulo: Varela, 2000. p.21-40.

GUTKOSKI, L.C.; EL DASH, A.A. Avaliação da estabilidade hidrolítica em produtos de aveia tratados termicamente. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v.16, n.2171-180, 1998.

GUTKOSKI, L.C.; EL-DASH, A.A. Efeito do cozimento por extrusão na estabilidade oxidativa de produtos de moagem de aveia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.1, p.119-127, 1999.

GUTKOSKI, L.C.; EL-DASH, A.A.; PEDÓ, I. Caracterização química e nutricional de frações de moagem de aveia, **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v.40, n.1, p.121-134, 1997.

GUTKOSKI, L.C.; TROMBETTA, C. Avaliação dos teores de fibra alimentar e de beta-glicanas em cultivares de aveia (*Avena sativa* L.), **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.19, n.3, p.387-390, 1999.

GWINNER, *et alli*. **Manual sobre prevenção das perdas de grãos no pós-colheita**. Projeto de proteção dos produtos armazenados do Ministério Federal da Cooperação Econômica e de Desenvolvimento (BMZ) da República Federal da Alemanha. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn - FRG, 1997. 143p.

HARRINGTON, J. F. seed storage and longevity. In: KOZLOWSKI, T.T. (Ed.). **Seed biology**. New York: Academic, v.3, p.145-245, 1972.

HARTMANN, L.; LAGO, R.C.A. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. **Laboratory Practice**, v.22, p.475-476, 1973.

HODGES, T.P. **Prediction of spoilage in grain drying and storage - a review**. Divisional note DN 1501. AFRC Institute of Engineering Research, Silsoe, Bedford, UK, 1989.

HOSENEY, R.C. Principles of cereal science and technology. 2.ed. Saint Paul: **American Association of Cereal Chemists**, 1990. 327p.

HOSENEY, R.C. Procesamiento de arroz, avena y cebada. In: **Princípios de ciência e tecnologia de los cereales**. Zaragoza, España, Ed. Acribia, p.163-180, 1991.

HULASARE, R.; JAYAS, D.S.; WHITE, N.D.G.; MUIR, W.E. Thin layer drying characteristics of hullless oats at near ambient temperatures (*Avena sativa* L.). **Canadian Agricultural Engineering**, v.41, n.3, p.167-173, 1999.

**IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/horti/default.asp?z=t&o=13>>. Acesso em 10/2004.

KENT, N.L. Oats. In: KENT, N.L. **Technology of Cereals**. 3.ed. Oxford: Pergamon Press, 1984. p.154-174.

KRABBE, E. L. **Efeitos do desenvolvimento fúngico em grãos de milho durante o armazenamento e do uso de ácido propiônico sobre as características nutricionais e o desempenho de frangos de corte.** 1995. 176p. Dissertação - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LASSERAN, J. Princípios Gerais de Secagem. **Revista brasileira de Armazenamento**, v.3, n.3, p.17-46, 1978.

LÀSTITY, R. Oat grain - A wonderful reservoir of natural nutrients and biologically active substances. **Food Review International**, v.14, n.1, p.99-119, 1998.

Lorini, I.; MIIKE, L.H.; SCUSSEL, V.M. **Armazenagem de Grãos.** Campinas: IBG, 2002. 1000p.

LOCKHART, H.B.; HURT, H.D. Nutrition of oats. In: WEBSTER, H.F. **Oats chemistry and technology.** Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1986. p.413-426.

LUCAS, B.; SOTELLO, A. Effect of different alkalies, temperature and hidrolysis times on tryptophan determination of pure protein and of foods. **Analytical Biochemistry**, v.32, n.1, p.144-149, 1984.

LUPTON, J.R.; YUNG, K.Y. Interactive effects of oat bran and wheat bran on serum and liver lipids and colonic physiology. **Cereal Foods World**, v.36, n.9, p.827-831, 1991.

MAGAN, V.; EVANS, P. Volatiles as an indicator of fungal activity and differentiation between species, and the potential use of electronic nose technology for early detection of grain spoilage. **Journal of Stored Products Research**, v.36, 319-340, 2000.

MAIA, E.L.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Avaliação de um método simples e econômico para a metilação de ácidos graxos com lipídios de diversas espécies de peixes. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v.53, n.1-2, p. 23-35, 1993.

MARINI, L.J. **Efeitos da temperatura do ar de secagem e relações de intermitência sobre a qualidade de grãos de aveia branca durante o armazenamento.** 2004. 71p. Dissertação - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

MARQUART, L.; JACOBS, D.R.; SLAVIN, J.L. Whole grains and health: an overview. **Journal of the American College Nutrition**, n.90003, v.19, p.289-290, 2000.

MARTINS, R.R.; FRANCO, J.B.R.; OLIVEIRA, P.A.V.; ANGONESE, C.; Secagem de Grãos para Propriedade Familiar. **Armazenagem de Grãos.** Campinas, São Paulo, p. 253 – 287, 2002.

MATLASHEWSKI, G.J.; URQUART, A.A.; SAHASRABUDHE, M.R.; ALTOSAAR, I. Lipase activity in oat flour suspensions and soluble extracts. **Cereal Chemistry**, v.59, n.5. p.418-422, 1982.

MILLER, S.S., WOOD, P.J., PIETRZAK, L.N., FULCHER, R.G. Mixed linkage  $\beta$ -glucan, protein content, and kernel weight in *Avena* species. **Cereal Chemistry**, v.70, n2, p.231-233, 1993.

MILMAN, M. J. **Manejo da relação de intermitência e da temperatura do ar na secagem industrial do arroz**. 2001. 54f. Dissertação (Mestrado em Ciência em Tecnologia Agroindustrial) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

MIRANDA, L. C.; SILVA, W. R.; CAVARIANI, C. Secagem de sementes de soja em silo com distribuição radial do fluxo de ar. I Monitoramento físico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n.11, p.2097-2108, 1999.

MOLTEBERG, G.L.; VOGT, G.; NILSSON, A.; FROLICH, W. Effects of storage and heat processing on the content and composition of free fatty acids in oats. **Cereal Chemistry**, v.72, n.1, p.88-93, 1995.

MORRISON, W.R. Cereal lipids. In: POMERANZ, Y. **Advances in Cereal Science and Technology**, v.2, p. 221-288, 1978.

MULTON, J.L. Spoilage mechanisms of grains and seeds in the post-harvest ecosystem, the resulting losses and strategies for the defense of stocks. In: Multon, J.L.(Ed.), **Preservation and Storage of Grains, Seeds and their By-Products**. Lavoisier publishing, New York, USA, 1988. p.3-63.

MURPHY, J.P.; HOFFMAN, L.A. The origin, history and production of oat. In: MARSHALL, H.G.; SORRELLS, M.E. **Oat science and technology**. Madison: American Society of Agronomy, Inc., 1992. p.1-28.

NEUBER, E.E. Evaluation of critical parameters for developing moisture sorption isotherms of cereal grains. In: Water activity: Influence on Food Quality, (ed.) Rockland, L.B.; Stewart, G.F. Toronto, ON: **Academic Press**, p.199-222, 1981.

NORA, L. **Secagem intermitente e parboilização de arroz (*Oryza sativa* L.) de sequeiro**. 1992. 130p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

PATON, D. Oat Starch. Part1. Extraction, purification and pasting properties. **Starch/ Stärke**, v.29, p.149-153, 1977.

PEDERSEM, B.; EGGUM, B.O. The influence of milling on the nutritive value of flour from cereal grains. 2. Wheat. **Qualitas Plantarum Plant Foods Human Nutrition**, v.33, n.1, p.51-61, 1983.

PEDÓ, I.; SGARBIERI, V.C. Caracterização química de cultivares de aveia (*Avena sativa* L.), **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.17, n.2, p.78-83, 1997.

PEDÓ, I.; SGARBIERI, V.C.; GUTKOSKI, L.C. Protein evaluation of four oat (*Avena sativa* L.) cultivars adapted for cultivation in the south of Brazil. **Plant Foods for Human Nutrition**, v.53, p.297-304, 1999.

PETERSON, M.P. Composition and Nutritional Characteristics of Oat Grain and Product. In: MARSHALL, H.G.; SOLLELS, M.S. Oat science and technology. Madison: **American Society of Agronomy**, Inc., 1992. p.266-287.

POMERANZ, Y. Biochemical, functional and nutritive changes during storage. In: CHRISTENSEN, C.M. **Storage of cereal grains and their products**, Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, p.56-157, 1974.

PORTARIA DO MINISTÉRIO DA SAÚDE NÚMERO 41 DE 1998. Resolução RDC número 94, de 1 de janeiro de 200 do ministério da saúde, publicada no **Diário Oficial da União** de 3 de novembro de 2000.

PORTELLA, J.A.; EICHELBERGER, L. **Secagem de Grãos**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001.

PORTO, A.G. **Avaliação da qualidade de sementes de arroz (*Oryza sativa* L.) secas e armazenadas em silos metálicos**. 2001. 128p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Fundação Universidade do Rio Grande, Rio Grande.

PUZZI, D. **Armazenamento e Abastecimento de Grãos**. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 2000, 603p.

RDA – NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Recommended dietary allowances**. 10 ed., Washington: National Academy Press, 1989. 284p.

RUPOLLO, G. **Efeitos da umidade e do sistema de armazenamento na qualidade industrial de grãos de aveia**. 2003. 81p. Dissertação – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

RUPOLLO, G.; GUTKOSKI, L.C.; MARINI, L.J.; ELIAS, M.C.; Sistema de armazenamento hermético e convencional na conservabilidade de grãos de aveia. **Ciência Rural**, v.34, n.6, p.1715-1722, 2004.

SÁ, R.M.; DE FRANCISCO, A.; OGLIARI, P.J.; BERTOLDI, F.C. Variação no conteúdo de beta-glucanas em cultivares brasileiros de aveia. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.20, n.1, p.99-102, 2000.

SÁ, R.M.; DE FRANCISCO, A.; SOARES, F.C.T. Composição química do cultivar de aveia (*Avena sativa* L.) IAC 7 e influência do processamento térmico sobre suas características. **Brazilian Journal Food Technology**, v.1, n.1, p.53-58, 1998.

SABINO, M. Conferência Brasileira de pós-colheita. Detecção e monitoramento de micotoxinas. 1. 1999, Porto Alegre. **Anais...** Passo Fundo: Abrapós/Cesa/Embrapa-Trigo, p.68-74, 1999.

SCUDAMORE, K.A.; PATEL, S.; BREEZE, V. Surveillance of stored grain from the 1997 harvest in the United Kingdom for ochratoxin A. **Food Additives and Contaminants**, v.16, n.7, p.281-290, 1999.

SCUSSEL, V.M. Fungos em grãos armazenados. In: LORINI, I.; MIIKE, L.H.; SCUSSEL, V.M. **Armazenagem de Grãos**. IBG, Campinas, 2002. p.675-804, 1000p.

SHAHIDI, F. Stability of fats and oils. In: Congresso e Exposição Latino Americano Sobre Processamento de Óleos e Gorduras, 1995, Campinas. **Anais...** Campinas: R. Vieira, 1995, p.47-54.

SHUKLA, T.P. Chemistry of oats: proteins foods and other industrial products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v.6, n.4, p.383-431, 1975.

SILVA, J. S.; HARA, T. **Contenido de humedad de los granos**. Viçosa, 1998. 5p. Universidade Federal de Viçosa, 1998.

SIMIONI, D.; PEREIRA, F.M.; VOLPATO, R.; MARINI, L.J.; AOSANI, E.; GUTKOSKI, L.C.; ELIAS, M.C. Resultados experimentais. In **XXIV Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia**. Pelotas: UFPEL, p. 593-597, 2004.

SOARES, L.M.V.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Survey of aflatoxins, ochratoxin A zearalenone and sterigmatocystin in some Brazilian foods by using multitoxin thin-layer chromatographic method. **Journal of the Association of Official Analytical Chemist**, v.72, p.22-26, 1989.

SPACKMANN, D.H.; SETEIN, W.H.; MOORE, S. Automatic recording apparatus for use in the cromatography of amino acids. **Analytical Chemistry**, v.30, n.1, p.1190-1958.

STEPHEN, A.M. Aspectos normativos de los productos funcionales. In: MAZZA, G. (Ed.) **Alimentos funcionales: aspectos bioquímicos y de procesado**. Zaragoza: Acribia, 2000. p. 401-437.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Departamento de Solos de UFRGS, Boletim Técnico, n.15, Porto Alegre, 1995. 174 p.

TIPPLES, K.H. Quality and nutritional changes in stored grain. In: Jayas, D.S.; White, N.D.G.; Muir, W.E. (Ed.), **Stored-grain Ecosystems**. M. Dekker, Inc., New York, USA, 1995. p.189-202.

TISIAN, L.M.; MILACH, S.C.K.; LIMBERGER, E.; TEIXEIRA, M.C.C. Influência da Interação GenótipoX Ambiente na qualidade do amido da aveia. In: XX REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 20, 2000, PELOTAS. **Anais...** Pelotas: 2000. p.144-146.

URQUHART, A.A.; ALTOSAAR, I.; MATLASHEWSKI, G.J.; SAHASRABUDHE, M.R. Localization of lipase activity in oat grains and milled oat fractions. **Cereal Chemistry**, v.60, n.2, p.181-183, 1983.

VILLELA, F.A.; SILVA, W.R. Curvas de secagem de milho utilizando o método intermitente. **Scientia Agrícola**, v.49, n.1, p.145-153, 1992.

WALKER, A.R.P. Does the dietary fiber hypothesis really "work"? **Cereal Foods World**, v.38, n.3, p.128-134, 1993.

WEAVER, C.M.; CHEN, P.H.; RYNEARSON, S.L. Effect of milling on trace element and protein content of oats and barley. **Cereal Chemistry**, v.58, n.2, p.120-124, 1981.

WEBER, F.H.; GUTKOSKI, L.C.; ELIAS, M.C. Caracterização química de cariopses de aveia (*Avena sativa* L.) da cultivar UPF 18. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.22, n.1, p.39-44, 2002.

WOOD, P.J.; WEIZ, J.; BLACKWELL, B.A. Molecular characterization of cereal  $\beta$ -D-glucans. Structural analysis of oat  $\beta$ -D-glucan and rapid structural evaluation of  $\beta$ -D-glucans from different sources by high-performance liquid chromatography of oligosaccharides released by lichenase. **Cereal Chemistry**, v.68, n.1, p.31-39, 1991.

YOUNGS, V.L. Protein distribution in the oat kernel. **Cereal Chemistry**, v.49, n.4, p.407-411, 1972.

YOUNGS, V.L. Oat lipids and lipid-related enzymes. In: WEBSTERS, F.H. **Oats chemistry and technology**, Saint Paul: American Association of Cereal Chemistry, 1986. p.205-226.

YOUNGS, V.L. Protein distribution in the oat kernel. **Cereal Chemistry**, v.49, n.4, p.407-411, 1972.