

SECAGEM INTERMITENTE E ARMAZENAMENTO DE AVEIA CULTIVAR UPFA 20 TEIXEIRINHA

INTERMITTENT DRYING AND STORAGE OF UPFA 20 TEIXEIRINHA CULTIVAR

Daniel Simioni¹; Luiz Carlos Gutkoski^{2*}; Moacir Cardoso Elias³; Carolina Cardoso Deuner⁴; Fernanda Arnhold Pagnussatt⁵; Maurício Oliveira⁶

RESUMO

Objetivou-se, com o trabalho, avaliar efeitos da temperatura do ar de secagem e do grau de umidade final sobre a conservabilidade e a qualidade industrial de grãos de aveia armazenados em sistema convencional por oito meses. Grãos de aveia do cultivar UPFA 20 Teixeira, produzidos no Campo Experimental da Palma da UFPEL, na safra agrícola de 2003/2004, foram submetidos à secagem intermitente até umidades de 11, 13 e 15%, com ar em três temperaturas (60, 85 e 110°C), na relação de intermitência de 1:3, constituindo delineamento inteiramente casualizado, com nove tratamentos. Ao longo de oito meses de armazenamento foram avaliados teor e acidez de lipídios, composição em ácidos graxos, umidade, peso do hectolitro, contaminação fúngica e incidência de micotoxinas. Os resultados foram analisados estatisticamente pelo emprego da análise de variância e, nos modelos significativos, as médias foram comparadas entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro. A secagem intermitente com ar em temperatura de até 85[±]5 °C e umidade de armazenamento até 13% é um método eficaz na conservação de aveia branca. Grãos com umidade superior a 13% apresentam conservação satisfatória quando armazenados em condição ambiental com temperatura controlada de 18[±]2 °C. A redução do teor de lipídios e o aumento da acidez durante o armazenamento são maiores em grãos secos com ar a 110[±]5 °C e armazenados com umidade de 15%.

Palavras-chave: **Avena sativa**, conservação de grãos, qualidade industrial, micotoxinas.

ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the effects of drying air temperature and final moisture in conservation and industrial quality of stored oat grains in conventional system for eight months. Grains from oat cultivar UPFA 20 Teixeira, produced in the Palma Experimental Station of UFPEL, agricultural harvest of 2003/2004 harvest were subjected to three drying temperatures (60 °C, 85 °C, 110 °C) at 1:3 rate of intermittence up to final moisture of 11%, 13% and 15%. The experimental design was completely randomized with nine treatments. The grains were stored for eight months and analyzed lipid content, and acidity, fatty acid composition, moisture, hectoliter, weight natural fungi contamination and mycotoxins. Statistically significant models were compared by a Duncan test at 5% probability. Intermittent drying when performed with air temperature up to 85[±]5 °C and storage moisture up to 13% is an efficient method for the conservation of white oat. Oat grains stored with moisture above 13% were preserved in a satisfactory manner when the temperature was maintained at 18[±]2 °C under controlled environmental conditions. The decrease in lipid content and the increase of acidity during storage are higher in air dry grain stored at 110[±] 5 °C and 15% moisture.

Key-words: **Avena sativa**, conservation of grains, industrial quality, mycotoxin.

INTRODUÇÃO

O processo de secagem intermitente é caracterizado pela passagem descontínua do ar aquecido pela massa de grãos também em movimento, promovido pela circulação dos grãos no sistema de secagem. Assim, é favorecida a difusão da água do interior para a periferia do grão, quando este não se encontra sob ação do ar aquecido, e a evaporação da água periférica ocorre de maneira branda e equilibrada (ELIAS, 2002).

Secagem adequada, grau de umidade inicial, período de tempo e condições de armazenamento são os principais fatores que afetam a qualidade dos grãos, influenciando o metabolismo do próprio grão, a ação de fungos e de outros organismos associados. O entendimento do comportamento higroscópico do grão durante a secagem e o armazenamento permite estabelecer, de forma mais apropriada, os padrões de conservação (PORTELLA & EICHELBERGER, 2001).

Condições adequadas de armazenamento propiciam a preservação das características qualitativas de grãos por um longo período, evitando perdas significativas por deterioração (RUPOLLO et al., 2004). Condições físico-químicas, propriedades tecnológicas, valor nutricional, condições sanitárias e de inocuidade para o consumo humano ou animal são fatores que, em conjunto, afetam a qualidade e o valor comercial de grãos (FLEURAT-LESSARD, 1997; MARINI et al., 2005).

Como a maioria dos sistemas biológicos, os grãos se deterioram ao serem armazenados. O grau de umidade do grão e a temperatura do ar no ambiente de armazenamento podem determinar a intensidade de danos por fungos e insetos. Particularmente sob condições de elevadas umidade relativa e temperatura do ar e, alto teor de água do grão, a deterioração ocorre mais rapidamente (RUPOLLO et al., 2006).

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 desorção de água pelos grãos, em função do diferencial de pressão de vapor de água e/ou de temperatura entre esses e

¹ Mestrando em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas. Bolsista do CNPq. E-mail: dlsimioni@yahoo.com.br

² Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor Titular da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo. CP 611, 99001-970, Passo Fundo, RS. Bolsista CNPq. E-mail: gutkoski@upf.br. Autor para correspondência.

³ Eng. Agrônomo; Dr. Agronomia; Prof. Titular do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel; Universidade Federal de Pelotas, RS. E-mail: eliasmc@uol.com.br

⁴ Eng. Agrônomo; M.Sc. Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa Fundacep-Fecotrigô. E-mail: carolinadeuner@yahoo.com.br.

⁵ Aluna do curso de Engenharia de Alimentos da Universidade de Passo Fundo. Bolsista de iniciação científica BIC/CNPq. E-mail: nandapagnu@terra.com.br.

⁶ Mestrando em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas. Bolsista da CAPES.

a atmosfera intergranular (SCUMADORE et al., 1999, SCUSSEL, 2002). Elevado grau de umidade em equilíbrio higroscópico, sob temperatura ambiente, aumentam o metabolismo e, favorecem o crescimento microbiano. Fungos de armazenamento produzem, durante seu metabolismo, compostos tóxicos denominados micotoxinas. A ingestão destes metabólitos pelo homem ou pelos animais pode causar doenças, denominadas micotoxicoses, ou mesmo a morte (SCUSSEL, 2002).

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 a alterações estruturais (EKSTRAND, 1993). Os fungos produzem enzimas lipases, que degradam os lipídios a ácidos graxos livres, para utilização como fonte de energia para o seu próprio metabolismo (ZADERNOWSKI et al., 1999). Além da degradação química a que os grãos de aveia estão expostos por ação de certos gêneros de fungos, pode haver produção de micotoxinas, impeditivas de 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).

O objetivo no trabalho foi avaliar efeitos da temperatura do ar de secagem e do grau de umidade final sobre a conservabilidade e a qualidade industrial de grãos de aveia armazenados em sistema convencional por oito meses.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do trabalho foram utilizados grãos de aveia branca (*Avena sativa* L), cultivar UPFA 20 Teixeira, produzidas na safra 2003/2004 no Campo Experimental do Centro Agropecuário da Palma, Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), localizado no Município de Capão do Leão, RS. As operações de secagem e de armazenamento foram realizadas no Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, (DCTA-FAEM) da UFPEL.

A colheita foi realizada com colhedora automotriz quando os grãos estavam com 18% de água, seguindo-se a pré-limpeza em máquina de ar e peneiras. A secagem intermitente foi realizada em secador piloto, modelo Vitória Laboratório, de câmara cilíndrica e fundo cônico centrado com diâmetro de 43 cm, altura da camada de secagem de 32 cm, altura da camada de equalização de 82 cm e altura do funil de 35 cm. Os parâmetros operacionais do secador foram: capacidade estática da câmara de secagem 30 kg, capacidade estática da câmara de equalização 180 kg, capacidade estática total 210 kg, capacidade do elevador 752 kg h⁻¹, velocidade do ar de secagem de 0,72 m s⁻¹ e relação de intermitência de 1:3.

Os experimentos de secagem foram realizados em delineamento inteiramente casualizado, utilizando fatorial 3 x 3 (temperatura do ar de secagem e grau de umidade final dos grãos para o armazenamento). Para cada uma das temperaturas do ar de secagem (60, 85 e 110 °C), o teor de água final da massa foi de 11, 13 e 15% totalizando nove experimentos. A aveia foi armazenada na forma convencional, por oito meses, em embalagens de polipropileno de 50 kg cada, em ambientes sem controle de temperatura e com temperatura controlada em 18±2 °C.

As análises físicas e químicas foram realizadas nos laboratórios do DCTA-FAEM-UFPEL e nos laboratórios do Centro de Pesquisa em Alimentação da Universidade de Passo Fundo (UPF), RS, enquanto as microbiológicas foram

efetuadas no laboratório de Patologia de Sementes do Departamento de Fitossanidade da FAEM-UFPEL. Para avaliar os efeitos dos parâmetros estudados, no início (efeitos imediatos), no quarto e oitavo (efeitos latentes) mês de armazenamento foram realizadas as seguintes determinações:

Teor de lipídios - determinado em aparelho Soxhlet, em triplicata, de acordo com o método 30.20 da AACC (1995) e os resultados foram expressos em porcentagem, em base seca.

Grau de acidez - determinada de acordo com o método número 58-15 da AACC (1995), em triplicata, e expressão dos resultados em acidez de solução molar por cento (v/m).

Composição dos lipídios em ácidos graxos - a extração do óleo de aveia foi realizada de acordo com o método n° 30.20 da AACC (1995), em aparelho Soxhlet, enquanto os ésteres metílicos foram obtidos de acordo com MAIA & RODRIGUEZ-AMAYA (1993). A composição de ácidos graxos foi determinada usando cromatógrafo Varian Star 3400 CX, com integração automática e emprego da coluna DB-Wax 30 m x 25 mm x 0,25 µm. A identificação dos ácidos graxos foi realizada com o uso do padrão Supelco FAME Mix C8-C24, n° 18918, em duplicata e os resultados expressos em porcentagem.

Grau de umidade - o grau de umidade dos grãos armazenados foi determinado pelo método de estufa a 105±3 °C por 24 horas (BRASIL, 1992), em triplicata. Os resultados foram expressos em porcentagem de umidade na base úmida.

Peso volumétrico - avaliado em determinador Dallemolle com capacidade de ¼ de litro, em quintuplicata. Os resultados foram expressos em kg hL⁻¹.

Teste de sanidade - a incidência de fungos foi avaliada no início, no quarto e no oitavo mês de armazenamento, empregando-se o método do papel filtro (Blotter Test), segundo a recomendação oficial para análise microbiológica de sementes do Ministério da Agricultura (BRASIL, 1992), em quadruplicata, utilizando caixas plásticas do tipo gerbox, com 25 grãos. A leitura foi realizada com o auxílio de microscópio estereoscópio, complementada com microscópio ótico, quando necessário à identificação dos gêneros dos fungos. Os resultados foram expressos em porcentagem de grãos infectados.

Micotoxinas - as determinações de aflatoxinas B₁, B₂, G₁, G₂, ocratoxina A e zearalenona na aveia foram realizadas aos quatro e aos oito meses de armazenamento por cromatografia em camada delgada, empregando-se cromatofolhas de alumínio de sílica gel 60G, marca Merck (Darmstadt, Alemanha). Os padrões de micotoxinas utilizados foram da marca Sigma (St. Louis, MO, EUA), mantidos sob temperatura de congelamento, devidamente protegidos da luz e vedados até o momento do preparo das soluções. As soluções padrões foram preparadas e padronizadas em espectrofotômetro (AOAC, 1997, método n° 917.22). Os grãos de aveia com casca foram moídos e amostras de 50g foram homogeneizadas em blender com metanol e solução de KCl a 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. Para a eluição das micotoxinas foram empregados os solventes tolueno, acetato de etila e ácido fórmico (60:40:0,5). A análise visual foi realizada por observação da placa sob luz UV a 366 nm e 254 nm em cromatovisor, verificando-se a presença ou ausência de fluorescência das manchas das amostras analisadas em comparação com a fluorescência dos padrões.

Análise estatística - os resultados foram analisados pelo emprego da análise de variância e nos modelos significativos

foi realizada a comparação múltipla de médias pelo emprego do teste de Duncan a 5% de significância. O processamento de dados e a análise estatística foram realizados com o uso do programa estatístico Sanest. Os gráficos foram elaborados com o auxílio do programa estatístico Microsoft Excel 2000®, no modo estatístico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 1 e 2 estão apresentados os teores de lipídios de grãos de aveia submetidos à secagem com ar em três temperaturas até três diferentes graus de umidade e armazenados, durante oito meses, em ambientes sem controle de temperatura e com temperatura controlada. A análise de variância mostrou diferenças significativas ($p < 0,05$) entre temperaturas de secagem e grau de umidade dos grãos com relação ao teor de lipídios.

Durante o armazenamento, a redução no teor de lipídios

pode ser resultante de reações de hidrólise e de processos oxidativos como conseqüência da ação das enzimas no metabolismo dos próprios grãos e das produzidas por microrganismos, entre outros fatores, como constatado por EKSTRAND et al. (1993).

No transcurso do armazenamento em ambiente sem controle de temperatura constatou-se redução do teor de lipídios em todos os tratamentos. RUPOLLO et al. (2006), em estudo sobre os sistemas hermético e convencional de armazenamento de aveia, verificaram diminuição nos teores de lipídios dos grãos em ambos os sistemas. Os resultados obtidos neste trabalho são consoantes aos verificados por MOLTEBERG et al. (1995) que verificaram diminuição do teor de lipídios com o tempo de armazenamento, em aveia não processada e armazenada em ambiente com umidade relativa de 80%.

Durante o armazenamento em ambiente com temperatura controlada foi verificada relação inversa entre grau de umidade e teor de lipídios dos grãos, indicando o efeito favorável da temperatura próxima de 18 °C para a conservação de aveia.

Tabela 1 - Lipídios (%) em grãos de aveia UPFA 20 Teixeirainha, submetidos à secagem com ar em três temperaturas, e armazenados, por oito meses, com três umidades, em ambiente sem controle de temperatura¹

Temperatura (°C)	Umidade após a secagem (% 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

¹Letras minúsculas distintas na mesma coluna e maiúsculas distintas na mesma linha representam diferenças significativas entre as médias pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 2 - Lipídios (%) em grãos de aveia UPFA 20 Teixeirainha, submetidos à secagem com ar em três temperaturas, e armazenados, por oito meses, com três umidades, em ambiente com temperatura controlada a 18 °C¹

Temperatura (°C)	Umidade após a secagem (% 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

¹Letras minúsculas distintas na mesma coluna e maiúsculas distintas na mesma linha representam diferenças significativas entre as médias pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro.

Nas Figuras 1 e 2 estão apresentados os percentuais de acidez do óleo de grãos de aveia da cultivar UPFA 20 Teixeirainha, submetidos à secagem intermitente com ar a 60, 85 e 110 °C até 11, 13 e 15% de água e armazenados por oito meses. Verifica-se elevação de acidez do óleo em todos os tratamentos, tanto no armazenamento sem controle de temperatura (Figura 1) quanto no de temperatura controlada

(Figura 2). Considerando o armazenamento com temperatura controlada, foi verificada similaridade dos valores de acidez entre tratamentos e, em geral, inferiores aos constatados quando o armazenamento foi realizado sem controle de temperatura. Nesta última condição, os menores valores de acidez ocorreram nas amostras submetidas à secagem com ar a 60 °C e armazenadas com 11% de umidade.

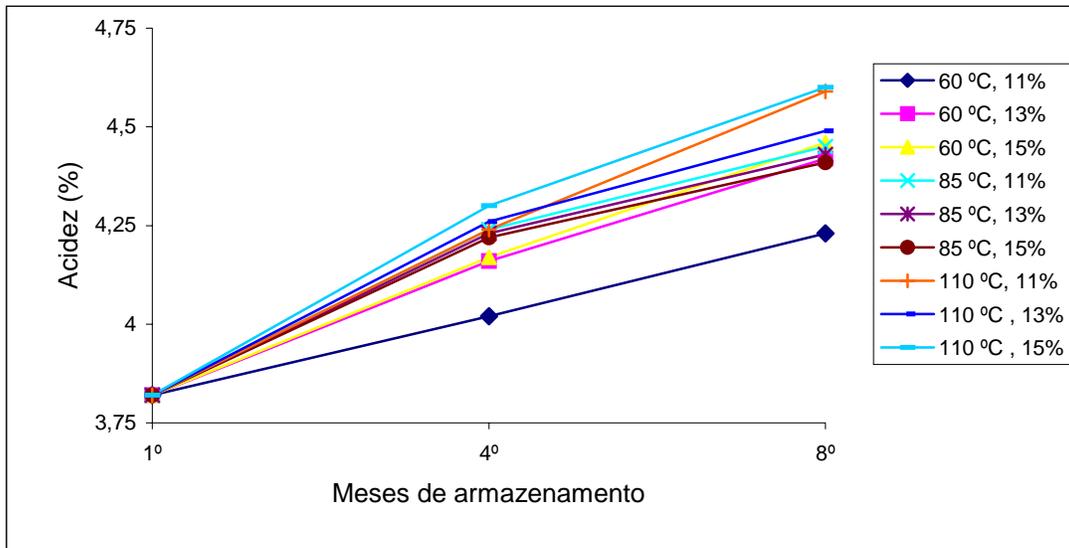


Figura 1 - Acidez do óleo de aveia submetida à secagem intermitente em três temperaturas e armazenada com três umidades por oito meses, em ambiente não controlado.

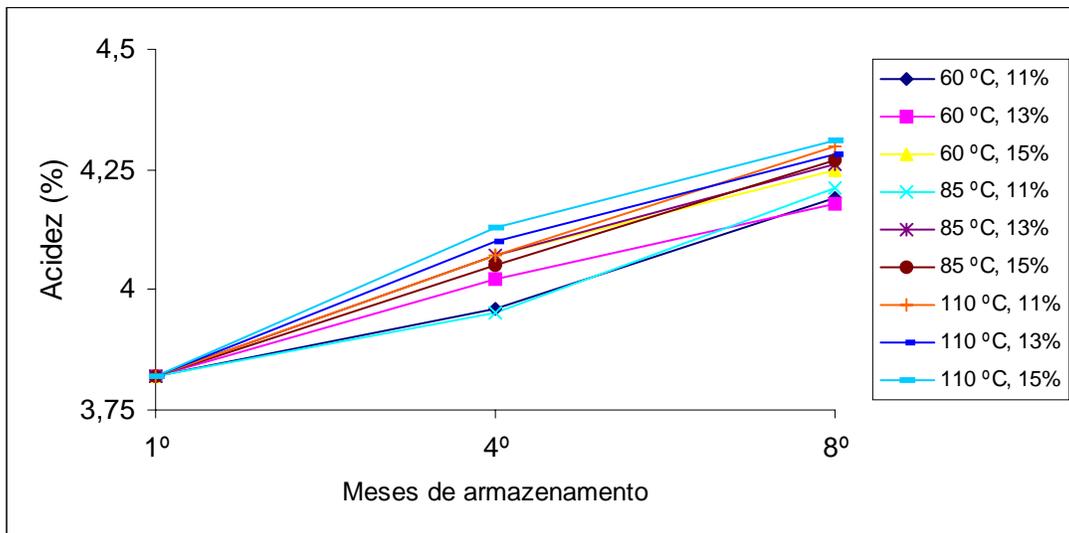


Figura 2 - Acidez do óleo de aveia submetida à secagem intermitente em três temperaturas e armazenada com três umidades por oito meses, em ambiente controlado.

A acidez em óleo é um indicativo de qualidade da aveia armazenada. Na deterioração dos grãos, a hidrólise lipídica ocorre mais rapidamente do que a de proteínas e de carboidratos. Em cada condição de armazenamento foi constatada correlação positiva entre acidez e grau de umidade dos grãos. No transcurso do período de armazenamento, sob condição de temperatura não controlada, foi verificado aumento da acidez do óleo da aveia, em maior proporção, nos grãos secos com temperaturas mais elevadas e armazenados com maior teor de água. Assim, foi possível inferir condição mais adequada à conservação de aveia proporcionada pelo ambiente com temperatura controlada. Os resultados obtidos estão de acordo com os observados por MOLTEBERG et al. (1995), que relataram variações mínimas nos níveis de acidez do óleo em grãos íntegros de aveia, armazenados em sistema convencional, com grau de umidade inferior a 12%. Porém, condições de umidade da aveia mais elevadas, combinadas com desagregações parcial ou total dos grãos, potencializam a

ação enzimática, principalmente a lipase, elevando o teor de acidez do óleo. Também GUTKOSKI & EL DASH (1998) verificaram elevação na acidez durante o armazenamento de aveia descascada não processada, mas não em aveia extrusada, durante o período de armazenamento estudado.

A composição em ácidos graxos de aveia UPFA 20 Teixeirainha, submetidos à secagem intermitente com ar em três temperaturas, armazenados com três graus de umidade, em ambiente sem controle da temperatura, apresentou pequenas alterações nos valores de ácidos graxos em oito meses de armazenamento (Tabela 3). As maiores variações foram verificadas nos ácidos graxos insaturados, com reduções em seus teores em todos os tratamentos, já no quarto mês de armazenamento, mas em maiores intensidades nos tratamentos com grau de umidade mais elevada. No oitavo mês somente no tratamento mais drástico, T7 (secagem com ar a 110 °C e armazenamento com 15% de água), foi verificado aumento no total em ácidos graxos insaturados,

sendo constatada, ainda, redução nos teores de ácidos graxos saturados em todos os tratamentos, em comparação com o início do armazenamento. A redução em ácidos graxos totais, verificada nos grãos armazenados com maior teor de água,

pode estar relacionada à ação de fungos de armazenamento (RUPOLLO et al., 2006) e/ou ao metabolismo dos próprios grãos (ELIAS et al., 2002).

Tabela 3 - Composição em ácidos graxos do óleo de aveia UPFA 20 Teixeirainha, em grãos submetidos à secagem com ar em três temperaturas, e armazenados, por oito meses, com três umidades, em ambiente sem controle de temperatura¹

Ácidos graxos	Armazenamento (meses)										
	1 ^o	4 ^o					8 ^o				
		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

A aveia é uma espécie agrícola de grande interesse em razão de os grãos terem, entre outras características, elevado teor de ácidos graxos insaturados, com destaque para o linoléico, considerado essencial para a nutrição humana. Entretanto, essa característica determina a frágil estabilidade dos produtos de aveia levando à formação de compostos indesejáveis (GALLIARD, 1983). O hexanal, um dos principais produtos secundários formados durante a oxidação do ácido linoléico (FRANKEL et al., 1981; RUPOLLO et al., 2004), e outros aldeídos e cetonas têm sido usados para monitorar a rancidez oxidativa em grãos de aveia e seus produtos. Segundo SHAHIDI (1995), a determinação de voláteis de compostos carbonílicos formados na degradação dos hidroperóxidos é uma alternativa para monitorar a extensão da

rancidez oxidativa. No presente trabalho, no entanto, a degradação dos lipídios foi avaliada por sua acidez, expressa em teores de ácidos graxos livres (Figuras 1 e 2) e pelo perfil dos ácidos graxos (Tabela 3).

Os teores dos ácidos graxos obtidos são similares aos determinados por MARINI et al. (2005) e GUTKOSKI & EL-DASH (1999) que citaram os ácidos palmítico, oléico e linoléico como presentes em maior quantidade, correspondendo a 95% do total.

Nas Figuras 3a e 3b estão representados os valores médios do teor de água dos grãos no início, no quarto e no oitavo mês de armazenamento, nas umidades de 11, 13 e 15%, em ambientes sem controle de temperatura e com temperatura controlada, respectivamente.

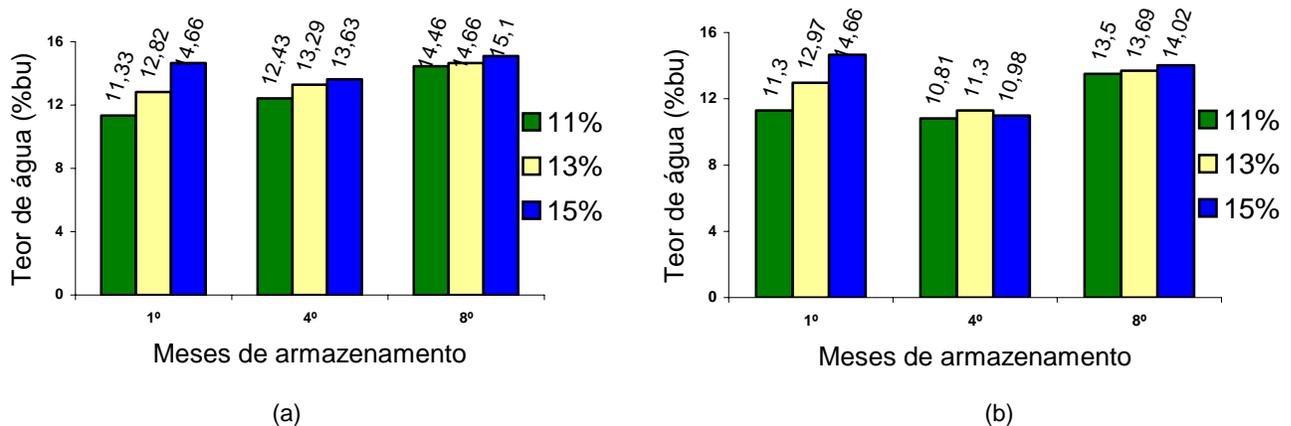


Figura 3 - Grau de umidade (% b.u.) em grãos de aveia submetidos à secagem intermitente em três temperaturas e armazenados com três umidades por oito meses, em ambientes sem controle (a) e com controle de temperatura (b).

O grau de umidade dos grãos variou durante o período de armazenamento até alcançar o equilíbrio higroscópico, em função das condições de temperatura e umidade relativa do ar. A massa de grãos em contato com o ar do ambiente absorve ou cede água e tende ao equilíbrio higroscópico, condição em que a pressão de vapor da água do ar é similar à pressão de vapor da água do grão, na mesma temperatura de armazenamento. Nos primeiros quatro meses o grau de umidade dos grãos armazenados em ambiente com temperatura controlada (Fig. 3b) foi gradativamente reduzido, em relação ao início do armazenamento, coincidente com os

meses de umidade relativa inferior; assim, o equilíbrio higroscópico foi atingido em nível inferior ao verificado quando do armazenamento em condições de ambiente sem controle de temperatura (Fig. 3a) devido à menor umidade relativa do ar. De acordo com CHEN (2000), a composição química da cultivar, a carga genética, a temperatura e a umidade relativa do ambiente do armazenamento, juntamente com a temperatura de secagem são os fatores que mais influenciam no equilíbrio higroscópico dos grãos.

Nas Tabelas 4 e 5 estão apresentados os valores de peso volumétrico, expressos como peso do hectolitro (PH) de

grãos de aveia do cultivar UPFA 20 Teixeirainha, submetidos a secagem com ar em três temperaturas até 11, 13 e 15% de água e armazenados, por oito meses, em condições de ambiente sem controle de temperatura e com temperatura controlada, respectivamente.

A análise estatística mostra diferenças significativas ($p < 0,05$) para PH, durante o período de armazenamento estudado, em função da temperatura de secagem e do grau de umidade em que os grãos foram armazenados. Nos tratamentos em que foram utilizadas condições mais elevadas de temperatura de secagem e de umidade dos grãos no armazenamento foram observados valores menores de PH.

Mesmo sendo usada a secagem intermitente, a diminuição do PH durante a armazenagem pode ser atribuída a efeitos das altas temperaturas de secagem e da umidade dos grãos no armazenamento e não a danos mecânicos (MARINI et al., 2005), uma vez que a secagem foi realizada na aveia com casca, o que lhe confere menor suscetibilidade a danos mecânicos. Os valores de PH refletem as perdas quantitativas totais, resultantes dos processos de deterioração dos grãos, devidas a seu metabolismo intrínseco, à atividade microbiana e à ação de pragas. Menores variações de PH correspondem aos melhores parâmetros conservativos da massa de grãos durante o armazenamento (ELIAS et al., 2002).

Tabela 4 - Peso do hectolitro (kg hL^{-1}) de grãos de aveia, cultivar UPFA 20 Teixeirainha, submetidos à secagem com ar em três temperaturas e armazenados, por oito meses, com três umidades, em ambiente sem controle de temperatura¹

Temperatura (°C)	Umidade após a secagem (%b.u.)	Armazenamento (meses)		
		1º	4º	8º
60	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	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	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

¹Letras minúsculas distintas na mesma coluna e maiúsculas distintas na mesma linha representam diferenças significativas entre as médias pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro.

Durante o período de armazenamento da aveia em condição de ambiente com controle de temperatura a incidência fúngica diminuiu, com destaque para o tratamento em que a secagem foi efetuada com ar a 110 °C e até 11% de água dos grãos. Quando o armazenamento dos grãos ocorreu em ambiente sem controle da temperatura foi constatada redução da incidência fúngica no quarto mês de armazenamento, e elevação no oitavo mês, podendo essa variação ser atribuída ao maior teor de água da massa de grãos, o que favoreceu a proliferação de algumas espécies,

principalmente as de fungos de armazenamento, com potencial toxicogênico. Durante o período de armazenamento, fungos xerófilos dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium*, denominados fungos de armazenamento, progressivamente substituem os fungos de campo; os quais são inibidos ou morrem em graus de umidade entre 15 e 19% (0,75-0,85 de a_w), em razão do crescimento, mesmo que lento, de fungos de armazenamento. Os resultados estão de acordo com as observações de SCUMADORE et al. (1999).

Tabela 5 - Peso do hectolitro (kg hL^{-1}) de grãos de aveia, cultivar UPFA 20 Teixeirainha, submetidos à secagem com ar em três temperaturas, e armazenados, por oito meses, com três umidades, em ambiente com temperatura controlada¹

Temperatura (°C)	Umidade após a secagem (%b.u.)	Armazenamento (meses)		
		1º	4º	8º
60	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	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	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

¹Letras minúsculas distintas na mesma coluna e maiúsculas distintas na mesma linha representam diferenças significativas entre as médias pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade de erro.

Os alimentos estão sujeitos à ocorrência de fungos e contaminação com micotoxinas no campo, no processamento, no transporte e na estocagem, conforme as condições de manejo a que são submetidos. Em muitos produtos alimentícios já foram detectadas micotoxinas. Em aveia as ocratoxinas, a citrinina, os tricotecenos e a zearalenona causam os maiores problemas (SCUSSEL, 2002).

SCUDAMORE et al. (1999) detectaram Ocratoxina A em 21% das amostras examinadas em grãos da aveia, trigo e cevada, com maior frequência em cevada. No presente estudo foi realizada a determinação das aflatoxinas B₁, B₂, G₁, G₂, ocratoxina A e zearalenona nos grãos de aveia armazenados após quatro e oito meses de armazenamento, não sendo detectada a presença dessas micotoxinas nos períodos e nas

condições de armazenamento e nem em decorrência da condição de secagem a que os grãos foram submetidos.

CONCLUSÕES

Secagem intermitente com ar em temperatura de até 85[±]5 °C e umidade de armazenamento até 13% é um método eficaz na conservação de aveia branca. Grãos com umidade superior a 13% apresentam conservabilidade satisfatória quando armazenados em condição ambiental com temperatura controlada de 18[±]2 °C. A redução do teor de lipídios e o aumento da acidez durante o armazenamento são maiores em grãos secos com ar a 110[±]5 °C e armazenados com umidade de 15%.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Pólo de Inovação Tecnológica em Alimentos da Região Sul (SCT-RS, UFPEL, COREDE-SUL), à CAPES e ao CNPq pelas bolsas de Mestrado, Produtividade em Pesquisa e de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods of the American Association of Cereal Chemists**. 9. ed., Saint Paul: AACC, 1995. v. 2.
- AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC International**. 16. ed. Gaitheersburg: AOAC, 1997.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: DNDV/CLAV, 1992. 365 p.
- CHEN, C. Factors that effect equilibrium relative humidity of agricultural products. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph v.43, n.3, p.673-683, 2000.
- EKSTRAND, B.; GANGBY, I.; AKESSON, G. et al. Lipase activity and development of rancidity in oats and oat products related to heat treatment during processing. **Journal of Cereal Science**, New York, v.17, n.3, p.247-254, 1993.
- 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. Cap. 6.1, p.311-359.
- 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: ELIAS, M.C. **Secagem e armazenamento de grãos, em média e pequena escala**. 3. ed. Pelotas: Editora e Gráfica UFPel, 2002. p.26-61.
- FLEURAT-LESSARD, F. A european perspective on new quality requirements in grain trading. **Cereal Foods World**, St. Paul, v.42, n.2, p.206-209, 1997.
- FRANKEL, E.N.; NEFF, W.E.; SELKE, E. Analysis of autoxidized fats by gas chromatography-mass spectrometry: VII. Volatile thermal decomposition products of pure hydroperoxides from autoxidized and photosensitized methyl oleate, linoleate and linolenate. **Lipids**, Champaign, v.16, n.5, p.279-292, 1981.
- GALLIARD, T. Rancidity in cereal products. In: ALLEN, J.C.; HAMILTON, R.J. (Eds.). **Rancidity in foods**. London: Applied Science, 1983. p.109-130.
- GUTKOSKI, L.C.; EL DASH, A.A. Avaliação da estabilidade hidrolítica em produtos de aveia tratados termicamente. **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v.16, n.2, p.171-180, 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**, Brasília, 34, n.1, p.119-127, 1999.
- 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**, Manhattan, v.36, n.2, p.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**, São Paulo, v.53, n.1/2, p. 23-35, 1993.
- MARINI, L.J.; GUTKOSKI, L.C.; ELIAS, M.C. et al. Efeito da secagem intermitente na estabilidade de grãos de aveia. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v.8, n.3, p. 260-267, 2005.
- MOLTEBERG, G.L.; VOGT, G.; NILSSON, A. et al. Effects of storage and heat processing on the content and composition of free fatty acids in oats. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.72, n.1, p.88-93, 1995.
- PORTELLA, J.A.; EICHELBERGER, L. **Secagem de grãos**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 194p.
- RUPOLLO, G.; GUTKOSKI, L.C.; MARINI, L.J. et al. Sistema de armazenamento hermético e convencional na conservabilidade de grãos de aveia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.6, p.1715-1722, 2004.
- RUPOLLO, G.; GUTKOSKI, L.C.; MARTINS, I.R. et al. Efeito da umidade e do período de armazenamento hermético na contaminação natural por fungos e a produção de micotoxinas em grãos de aveia. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.30, n.1, p. 118-125, 2006.
- SCUMADORE, 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**, Philadelphia, 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**. Campinas: IBG, 2002. Capítulo 9.1, p.675-804.
- SHAHIDI, F. Stability of fats and oils. In: **CONGRESSO E EXPOSIÇÃO LATINO AMERICANO SOBRE PROCESSAMENTO DE ÓLEOS E GORDURAS**, 6. 1995, Campinas. **Anais...** Campinas: Vieira, 1995. p.47-54.
- ZADERNOWSKI, R.; POLAKOWSKA, H.N.; RASHEDA, A.A. The influence of heat treatment on the activity of lipo and hydrophilic components of oat grain. **Journal of Food Processing and Preservation**, Danvers, v.23, n. 1, p.177-191, 1999.