

Sistemas de armazenamentos hermético e convencional na conservabilidade de grãos de aveia

Hermetic and conventional storage systems in oat grains conservation

Galileu Rupollo¹ Luiz Carlos Gutkoski² Leonor João Marini¹ Moacir Cardoso Elias³

RESUMO

O presente trabalho objetivou avaliar a influência da umidade nos sistemas hermético e convencional durante doze meses de armazenamento de grãos de aveia branca (*Avena sativa* L.) e indicar parâmetros de qualidade. Aveia, cultivar UPF 18, produzida na safra agrícola de 2001, foi colhida com 16% umidade e reduzida para 14%, 11% e 8% por secagem estacionária em um protótipo silo-secador. Os grãos foram armazenados nos sistemas hermético e convencional e determinado a umidade, lipídios, índice de acidez, germinação, vigor e contaminação fúngica após os períodos 0, 3, 6, 9 e 12 meses de armazenamento. A atividade residual das enzimas lipase e peroxidase foi realizada após a secagem dos grãos (tempo zero) e de composição em ácidos graxos e micotoxinas nos períodos 2 e 12 meses de armazenamento. Os resultados foram analisados pelo emprego da análise de variância e realizada a comparação múltipla de médias pelo teste de Tukey. Os sistemas de armazenamento hermético e convencional são eficientes para conservação de grãos de aveia com umidade de até 14%. O aumento do índice de acidez ao longo do período de armazenamento foi menor no sistema hermético quando comparado com o convencional. A incidência dos fungos de campo e de armazenamento foi maior na aveia conservada a 14% de umidade e no período de três meses. Não foi detectada presença de aflatoxinas B₁, B₂, G₁, G₂, ocratoxina A e zearalenona em grãos de aveia armazenados por 12 meses.

Palavras-chave: aveia, armazenamento, fungos, qualidade industrial, micotoxinas.

ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the moisture influence in hermetic and conventional systems on the white oat grains (*Avena sativa* L.) conservation during twelve months of storage and to indicate quality parameters. The cultivar of UPF 18 produced in 2001, was harvested with 16% of moisture and was reduced to 14%, 11% and 8% using a stationary drying in a dryer prototype. The grains were stored in hermetic and conventional systems and determinations of moisture, lipids, acid value, germination, vigor and fungi contamination were accomplished at 0, 3, 6, 9 and 12 months of storage. The residual activity of lipase and peroxidase enzymes was realized after the grains dry (initial time) and the fatty acids composition and mycotoxins at 2 and 12 months of storage. The results were analyzed by variance analysis and multiple comparison by Tukey's test. The hermetic and conventional storage systems are efficient to the oat grains conservation with moisture until 14%. The acid value increase during the storage was less in the hermetic system than in the conventional one. The incidence of field and storage fungi increased in the three months period. The presence of B₁, B₂, G₁ and G₂ aflatoxins, ochratoxin A and zearalenone were not detected in oat grains stored for 12 months.

Key words: oat, storage, fungi, mycotoxin, industrial quality.

INTRODUÇÃO

O consumo de aveia e de seus subprodutos tem aumentado consideravelmente, impulsionado

¹Engenheiro Agrônomo, Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas (UFPel).

²Engenheiro Agrônomo, Doutor em Engenharia de Alimentos, Professor Titular da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo (UPF). CP 611, 99001-970, Passo Fundo, RS. Bolsista Produtividade do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). E-mail: gutkoski@upf.br. Autor para correspondência.

³Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia, Professor Titular do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, UFPel.

principalmente pelo crescente conhecimento sobre suas propriedades nutricionais e pelos benefícios que propicia à saúde. Desse modo, informações sobre colheita, secagem e armazenamento são fundamentais na manutenção da qualidade do grão. Assim, tem aumentado também a demanda de estudos sobre o assunto, especialmente no que se refere a métodos aplicáveis a agroindústrias e a propriedades rurais, as quais praticam, cada vez mais, atividades ligadas à pós-colheita na própria unidade de produção rural (GUTKOSKI, 2000).

A predição das condições de armazenamento seguro permite a preservação de características qualitativas de grãos recentemente colhidos por um longo período, podendo evitar que ocorra uma significativa deterioração (FLEURAT-LESSARD, 2002).

O armazenamento hermético de grãos secos é baseado na redução do oxigênio disponível no ecossistema de armazenamento a níveis letais ou limitantes para os organismos vivos associados, podendo essa redução ser obtida espontaneamente através do processo respiratório dos grãos e organismos existentes (ELIAS, 2002). No armazenamento convencional, são utilizadas, na quase totalidade, estruturas como armazéns e/ou depósitos de construção simples, de alvenaria, com o acondicionamento dos grãos em sacaria.

Não obstante os avanços tecnológicos verificados, o armazenamento de aveia necessita de atenção especial, pelo fato de este grão ter forte tendência à rancidez, principalmente pela ação das enzimas lipases, produtoras de ácidos graxos livres. Os ácidos graxos de cadeias insaturadas são facilmente oxidados a hidroperóxidos, que, em reações posteriores, se transformam em uma grande variedade de compostos de baixo peso molecular, conferindo ao produto aroma e sabor desagradáveis (GUTKOSKI & EL-DASH, 1999).

Os diferentes fungos produtores de micotoxinas são encontrados em todas as regiões do mundo e podem crescer em uma grande variedade de substratos e sob várias condições de umidade, pH e temperatura. Assim, os grãos estão sujeitos à invasão por fungos e à contaminação com micotoxinas no campo, durante a colheita, processamento, transporte e armazenagem, quando em condições deficientes de manuseio (SCUSSEL, 2002).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a umidade, teor de lipídios, índice de acidez, germinação, vigor, contaminação natural por fungos, produção de micotoxinas e atividade residual das enzimas lipase e peroxidase em grãos de aveia

armazenados nos sistemas hermético e convencional por doze meses e indicar parâmetros de qualidade para a aveia branca.

MATERIALE MÉTODOS

Matéria-prima

Para a realização deste trabalho, foram utilizados grãos de aveia branca (*Avena sativa* L.) do cultivar UPF 18. A aveia foi plantada em um hectare, no Campo Experimental da Palma da Universidade Federal de Pelotas, localizado no município de Capão do Leão, RS. A colheita de 1 700kg de grãos de aveia branca foi realizada no mês de novembro de 2001 com automotriz e na umidade de 16%. A aveia foi pré-limpa em máquina de ar e peneiras e secada em secador estacionário para obter as umidades desejadas. Após a secagem, foram separadas amostras para a realização das avaliações do tempo zero e os grãos armazenados nos sistemas hermético e convencional pelo período de 12 meses.

Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento completamente casualizado, utilizando três umidades de secagem (8%, 11% e 14%) e dois sistemas de armazenamento (convencional e hermético). As determinações foram realizadas nos tempos 0, 3, 6, 9 e 12 meses para umidade, lipídios, índice de acidez, germinação, vigor e contaminação natural por fungos. Para a atividade residual das enzimas lipase e peroxidase, as análises foram realizadas após a secagem dos grãos (tempo zero) e da composição em ácidos graxos e micotoxinas nos tempos 2 e 12 meses de armazenamento. As análises foram realizadas, no mínimo, em duplicata.

A secagem de cada um dos tratamentos foi realizada logo após a colheita em silo-secador protótipo, modelo Vitória, utilizando camada delgada de 1,0m de altura e a quantidade de 200kg. Na secagem, o ar foi aquecido para a temperatura de 40°C e insuflado com velocidade constante de 0,1ms⁻¹. No armazenamento pelo sistema hermético, foram colocados 6kg de grãos de aveia em latas de 20 litros. As latas foram tampadas e vedadas para garantir a hermeticidade. Cada tratamento foi composto por 15 latas e, em cada coleta de amostra para a realização de análises, a aveia restante era descartada. No sistema convencional, os grãos foram armazenados em sacarias de polipropileno, de 40kg, dispostas em pilhas, em condições atmosféricas não modificadas e com controle técnico operacional, constituído de avaliações mensais da infestação de insetos.

Análises

Para monitorar a perda de água dos grãos de aveia durante a secagem e durante o período de armazenamento, foi utilizado aparelho por condutividade dielétrica e os valores confirmados através do método de estufa a $105\pm 3^{\circ}\text{C}$, com circulação natural de ar, por 24 horas, realizado de acordo com a metodologia de análise de sementes preconizada pelo Ministério da Agricultura (BRASIL, 1992). Os resultados das análises de umidade realizadas em triplicata foram expressos em porcentagem e em base úmida.

Os lipídios totais foram determinados em aparelho Soxhlet pelo método 30.20 da AACC (1995). Para a determinação do índice de acidez, os lipídios totais foram extraídos em aparelho Soxhlet, e realizado de acordo com o método número 58-15 da AACC (1995). Os resultados das análises realizadas em triplicata foram expressos em base seca.

Para a determinação da composição em ácidos graxos foi realizada a extração do óleo do grão moído com casca de acordo com o método nº 30.20 da AACC (1995), em aparelho Soxhlet. A transformação em ésteres metílicos foi realizada de acordo com MAIA & RODRIGUEZ-AMAYA (1993). 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 por cromatografia gasosa empregando-se o cromatógrafo Varian Star 3 400 CX, com integração automática operando nas seguintes condições: coluna DB-Wax 30m x 25mm x 0,25µm, temperatura inicial da coluna 130°C (zero minutos), rampa de aquecimento $2^{\circ}\text{C min}^{-1}$, temperatura final 210°C (10 minutos). O gás de arraste utilizado foi H_2 ultrapuro, 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 realizada com o uso do padrão Supelco FAME Mix C8-C24, nº 18918. Os resultados das análises realizadas em duplicata foram expressos em porcentagem.

A atividade residual da enzima lipase foi determinada de acordo com a metodologia proposta por KAUR et al. (1993), sendo realizado em triplicata e o valor expresso em porcentagem de hidrólise com base no índice de saponificação do substrato. Para a determinação da atividade residual da peroxidase, foi utilizado o procedimento preconizado por EKSTRAND et al. (1992). A leitura foi realizada em espectrofotômetro, em triplicata, e uma atividade de peroxidase correspondeu ao aumento de 0,001 na absorbância a $420\text{nm min}^{-1}\text{ g}^{-1}$ de amostra.

O teste de germinação foi realizado de acordo com o recomendado pelas Regras de Análises

de Sementes (BRASIL, 1992), porém utilizando-se 4 repetições de 50 grãos. O vigor foi avaliado pelo teste de calor sem solo, utilizando-se quatro repetições de 50 grãos, distribuídas em rolos de papel germitest. Após a montagem dos rolos, os mesmos foram embalados em sacos plásticos e mantidos em refrigerador a temperatura de 4°C, durante três dias. Os rolos foram retirados dos sacos plásticos e transferidos para um germinador regulado para temperatura constante de 20°C. As contagens foram realizadas aos sete e aos dez dias, e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais.

A contaminação natural por fungos dos grãos de aveia foi determinada nos tempos 0, 3, 6, 9, e 12 meses de armazenamento, pelo uso do *Blotter Test*, segundo a metodologia oficial para análise microbiológica de sementes do Ministério da Agricultura (BRASIL, 1992), em três repetições de 100 sementes por amostra. A leitura foi realizada com o auxílio de microscópio estereoscópio, complementada com microscópio ótico, quando necessário à identificação dos gêneros dos fungos e os resultados expressos em porcentagem de grãos infectados.

A determinação das micotoxinas aflatoxinas B_1 , B_2 , G_1 , G_2 , ocratoxina A e zearalenona na aveia foi realizada após os períodos de 2 e 12 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 50g 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. Foi empregado 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 366nm e 254nm em cromatovisor, verificando a presença ou ausência de fluorescência das manchas das amostras analisadas em comparação com a fluorescência dos padrões.

Os resultados foram analisados pelo emprego da análise de variância e, nos modelos significativos, realizada a comparação múltipla de

média pelo emprego do teste de Tukey, a 5% de probabilidade. O processamento de dados e a análise estatística foram realizados com o uso do programa estatístico SAS® (SAS INSTITUTE, 1985).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores médios de umidade, lipídios, índice de acidez, fungos de armazenamento, outros fungos, germinação e vigor de grãos de aveia do cultivar UPF 18, armazenados a 8%, 11% e 14% de umidade por 0, 3, 6, 9 e 12 meses em função dos sistemas convencional e hermético estão apresentados nas tabelas 1 a 3. Observa-se que a umidade dos grãos de aveia variou em função dos sistemas de armazenamento estudados. CHEN (2000) afirma que o teor de umidade dos grãos pode variar em função da umidade relativa do ar, composição química do grão, fatores ambientais, fatores genéticos, temperatura de secagem e histerese.

Nos grãos armazenados pelo sistema convencional, o teor de umidade aumentou de forma significativa do tempo zero ao sexto mês, permanecendo estável até o final do período de armazenamento devido ao equilíbrio higroscópico (Tabela 2). As amostras armazenadas com umidades menores que o equilíbrio higroscópico ganharam água até o sexto mês, ocorrendo o inverso com as armazenadas com umidade maior. A variação no grau de umidade sugere uma tendência ao equilíbrio dos grãos com a atmosfera intergranular. No sistema de armazenamento hermético, os grãos apresentaram menor variação de umidade devido à não ocorrência de trocas com o ambiente, permitindo a estabilidade da umidade dos grãos.

O teor de lipídios variou significativamente com o tempo de armazenamento sendo verificado degradação principalmente até o terceiro mês (Tabela 2), enquanto umidade e sistemas de armazenamento não apresentaram efeitos significativos. A degradação que ocorre durante o armazenamento por processos

bioquímicos, como a respiração ou processos de oxidação, resulta na diminuição dos lipídios, ou seja, ocorre a hidrólise. Os resultados estão de acordo com os observados por EKSTRAND et al. (1992) em que a hidrólise de lipídios aumentou durante o armazenamento de amostras de aveia tratadas por secagem ou hidrotermicamente, sendo mais pronunciada na matéria-prima não tratada. Da mesma forma, MOLTEBERG et al. (1995) verificaram que, em aveia não processada e armazenada em umidade relativa de 80%, ocorreu uma diminuição do teor de lipídios com o tempo de armazenamento.

O índice de acidez dos lipídios pode ser um indicativo de qualidade de grãos de aveia. Em cada sistema de armazenamento, o aumento do índice de acidez foi proporcional à umidade de armazenamento (Tabela 1). A acidez do óleo também variou significativamente com o tempo de armazenamento, aumentando até o nono mês (Tabela 2). Pode-se verificar que, no armazenamento hermético, o índice de acidez foi significativamente menor, sendo este um indicativo de uma melhor conservação dos grãos de aveia (Tabela 3). O aumento de ácidos graxos livres dos lipídios ocorre através da ação de enzimas lipases, peroxidases e fosfolipases, presentes nos próprios grãos ou produzidas pela microflora associada, por ácaros ou insetos que contribuem para o rompimento das ligações éster dos triglicerídios (ZADERNOWSKI et al., 1999). Os resultados deste trabalho estão de acordo com os relatados por outros autores (EKSTRAND et al., 1982; MOLTEBERG et al., 1995) os quais afirmaram que, em grãos de aveia não danificados, armazenados à temperatura ambiente e umidade abaixo de 12%, ocorrem pequenas variações nos níveis de acidez do óleo. Porém, maiores valores de umidade e ou temperatura bem como desagregações parcial ou total do grão são condições suficientes para a ação de enzimas, principalmente a lipase.

Na tabela 4, estão apresentados os valores da composição em ácidos graxos dos lipídios de aveia, cultivar UPF 18, recém colhida (tempo zero) e dos grãos

Tabela 1 - Resultados de umidade, lipídios, índice de acidez (IA), fungos de armazenamento (FA), outros fungos (OF), germinação e vigor de grãos de aveia do cultivar UPF 18, armazenados a 8%, 11% e 14% de umidade (médias).

Umidade (%) de armazenamento	Umidade grãos (%)	Lipídios (% em b.s.)	IA (mg KOH g óleo ⁻¹)	FA (%)	OF (%)	Germinação (%)	Vigor (%)
8	9,64 c ¹	6,92 a	0,48 c	2,83 b	91,40 b	86,40 a	78,10 a
11	11,79 b	6,93 a	0,55 b	2,37 b	91,50 b	89,30 a	79,33 a
14	13,68 a	6,89 a	0,60 a	7,67 a	99,20 a	87,96 a	77,36 a

¹Letras distintas na mesma coluna representam diferenças significativas entre as médias submetidas ao teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 2 - Resultados de umidade, lipídios, índice de acidez (IA), fungos de armazenamento (FA), outros fungos (OF), germinação e vigor de grãos de aveia do cultivar UPF 18, armazenados nos períodos 0, 3, 6, 9 e 12 meses (médias).

Período (meses) de armazenamento	Umidade grãos (%)	Lipídios (%; bs)	IA (mg KOH g oleo ⁻¹)	FA (%)	OF (%)	Germinação (%)	Vigor (%)
0	10,99 b ¹	7,10 a	0,40 d	3,22 b	93,11 b	71,22 d	65,67 c
3	11,08 b	6,95 b	0,47 c	5,89 a	104,44 a	95,83 a	83,06 a
6	12,08 a	6,86 c	0,53 b	3,67 b	101,83 a	94,50 a	82,78 a
9	12,27 a	6,85 c	0,64 a	4,67 ab	90,89 b	90,17 b	83,11 a
12	12,09 a	6,81 c	0,66 a	4,00 b	79,89 c	84,39 c	77,72 b

¹Letras distintas na mesma coluna representam diferenças significativas entre as médias submetidas ao teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

armazenados nos sistemas convencional e hermético a 8%, 11% e 14% de umidade pelo período de 12 meses. A composição em ácidos graxos dos lipídios apresentou pequenas variações com o aumento do tempo de armazenamento. As maiores variações foram verificadas no ácido graxo linolênico e provavelmente ocorreram em função da sua degradação a compostos menores. Os resultados obtidos estão de acordo com MOLTEBERG et al. (1995) que não verificaram redução no conteúdo de ácidos graxos de aveia armazenada por 15,5 meses a umidades de até 14,5%. Nas amostras que sofreram processamento, o ácido linolênico apresentou redução, o que está relacionado com o aumento do conteúdo de produtos de oxidação. A diminuição do ácido linolênico no armazenamento dos produtos processados ocorreu devido sua degradação a compostos menores. Verificaram, também, a formação de compostos de baixo peso molecular mesmo na aveia não processada e armazenada na umidade relativa de 80%. A formação de n-hexanal foi duas vezes maior quando comparado com a aveia armazenada a 30% de umidade relativa.

Na tabela 5, estão apresentados os valores da atividade residual das enzimas lipase e peroxidase em grãos de aveia armazenados pelos sistemas hermético e convencional a 8%, 11% e 14% de umidade por 12 meses. A análise de variância detectou diferenças significativas entre os tratamentos. Mesmo existindo diferenças nas atividades de lipase e peroxidase, nenhum dos tratamentos apresentou

redução da atividade enzimática a níveis de impedir a degradação dos lipídios, o que está demonstrado pelo aumento de acidez com o tempo de armazenamento (Tabela 2). Os resultados estão de acordo com os relatados por WEBER et al. (2002) que, em estudo de farinha de aveia submetida ao tratamento hidrotérmico, demonstraram que a acidez aumentou ao longo do armazenamento. Para a peroxidase, ocorreu um comportamento similar ao verificado na lipase.

A germinação da aveia armazenada nos sistemas convencional e hermético foi baixa no período inicial devido, provavelmente, à dormência das sementes. A maior porcentagem de germinação ocorreu entre o terceiro e o sexto mês, apresentando a partir daí uma diminuição significativa até os 12 meses de armazenamento (Tabela 2). Em relação ao vigor, observa-se, pela tabela 1, que a umidade dos grãos não variou significativamente enquanto o período de armazenamento teve interferência no tempo zero, devido provavelmente ao efeito da dormência dos grãos. Após esse período, o vigor apresentou nova redução somente aos 12 meses de armazenamento (Tabela 2). Os sistemas de armazenamento também apresentaram diferenças significativas, sendo verificado no convencional a manutenção do vigor em teores mais elevados quando comparado com o hermético (Tabela 3).

Tanto a germinação quanto o vigor podem ser usados como parâmetros de avaliação da qualidade de grãos armazenados, pois a diminuição

Tabela 3 - Resultados de umidade, lipídios, índice de acidez (IA), fungos de armazenamento (FA), outros fungos (OF), germinação e vigor de grãos de aveia do cultivar UPF 18, armazenados em sistemas convencional e hermético (médias).

Sistema de armazenamento	Umidade grãos (%)	Lipídios (%; bs)	IA (mg KOH g oleo ⁻¹)	FA (%)	OF (%)	Germinação (%)	Vigor (%)
Convencional	12,32 a ¹	6,90 a	0,57 a	4,27 a	105,16 a	87,31 a	79,87 a
Hermético	11,08 b	6,93 a	0,51 b	4,31 a	82,91 b	87,14 a	77,08 b

¹Letras distintas na mesma coluna representam diferenças significativas entre as médias submetidas ao teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 4 - Composição em ácidos graxos dos lipídios de aveia, cultivar UPF 18, recém colhida (tempo zero) e dos grãos armazenados por 12 meses nos sistemas convencional e hermético a 8%, 11% e 14% de umidade¹.

Ácido graxo	Tempo zero	Tempo 12 meses					
		Sistema convencional			Sistema hermético		
		8%	11%	14%	8%	11%	14%
Mirístico C 14:0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2
Palmítico C 16:0	13,3	15,0	14,7	13,5	14,5	14,6	14,6
Esteárico C 18:0	1,7	1,7	1,6	1,7	1,7	1,6	2,3
Araquídico C20:0	1,3	1,0	0,9	0,9	1,2	1,2	1,2
Total saturados	16,3	18,1	17,6	16,6	17,5	17,6	18,3
Oléico C18:1	43,8	41,0	41,4	42,6	42,9	43,1	41,3
Linoléico C 18:2	37,5	38,9	38,7	37,9	38,1	38,1	39,8
Linolênico C18:3	2,3	1,2	1,2	1,3	1,2	1,1	1,2
Total insaturados	83,7	81,9	82,4	83,4	82,5	82,4	81,7

¹Médias aritméticas obtidas de análises realizadas em duplicata e expressas em g 100 g⁻¹.

destes indicadores sugere deficiências no processo conservativo e ou de secagem (FLEURAT-LESSARD, 2002). Vários fatores podem reduzir a qualidade dos grãos durante o armazenamento. O grau de umidade na colheita e a temperatura da massa durante o armazenamento podem determinar a intensidade de danos por fungos, insetos e pragas (CHEN, 2000). A porcentagem de germinação permite quantificar a estabilidade conservativa dos grãos, ou seja, os grãos que apresentam uma alta viabilidade germinativa durante o armazenamento são também os que retêm os outros parâmetros considerados importantes na comercialização e na qualidade tecnológica. Os grãos são armazenados vivos, ocorrendo vários fenômenos biológicos durante o armazenamento, que se mostram dependentes não apenas das condições de armazenamento, como também das condições que o antecedem nas operações de pós-colheita. Viabilidade germinativa e vigor constituem a qualidade fisiológica e são importantes componentes do sistema produtivo,

sendo amplamente conhecidos e utilizados no manejo de grãos (CHEN, 2000).

Quanto à contaminação natural por fungos, a análise de variância do tipo fatorial detectou diferenças significativas entre os tratamentos com relação aos fatores umidade dos grãos de aveia (8%, 11% e 14%) e período de armazenamento (0, 3, 6, 9 e 12 meses), evidenciando a influência desses parâmetros sobre a dinâmica populacional dos fungos de campo e de armazenamento nos sistemas convencional e hermético (Tabelas 1 e 2). No tempo zero, os fungos encontrados referem-se basicamente aos de campo, ou seja, à contaminação natural dos grãos na lavoura. Entre os outros fungos encontrados nos tratamentos e que são predominantemente de campo, estão os gêneros *Furarium*, *Colletotrichum*, *Chaetomium*, *Phoma*, *Bipolaris*, *Alternaria* e *Neurospora*. Os fungos de armazenamento foram significativamente superiores nos grãos armazenados com umidade de 14% e são basicamente dos gêneros *Aspergillus* e *Penicilium*. Ao longo do tempo de armazenamento, a

Tabela 5 - Atividade residual das enzimas lipase e peroxidase em grãos de aveia do cultivar UPF 18, armazenados por 12 meses nos sistemas hermético e convencional a 8%, 11% e 14% de umidade.

Umidade (%) de armazenamento	Sistema de armazenamento	Atividade lipase (% de hidrólise)	Atividade peroxidase (Abs _{420nm} min ⁻¹ g ⁻¹)
8	Convencional	15,94 c ¹	6 225 ab
11	Convencional	20,34 a	6 434 a
14	Convencional	18,24 b	6 310 a
8	Hermético	16,92 c	5 986 b
11	Hermético	15,74 c	6 360 a
14	Hermético	18,87 b	6 628 a

¹Letras distintas na mesma coluna representam diferenças significativas entre as médias submetidas ao teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

variação também foi significativa, sendo observada, aos três meses, a maior incidência. Os outros fungos também tiveram sua maior incidência aos três meses de armazenamento, diminuindo de forma significativa após o terceiro mês. Os sistemas de armazenamento apresentaram diferenças significativas para outros fungos, sendo que a incidência foi inferior no hermético (Tabela 3).

Além da determinação da contaminação fúngica foram investigadas as micotoxinas aflatoxinas B₁ B₂ G₁ G₂ zearalenona e ocratoxina A em aveia, armazenada pelos sistemas convencional e hermético nas umidades 8%, 11%, e 14% por 2 e 12 meses, não sendo verificada a presença em nenhum dos tratamentos estudados. SCUDAMORE et al. (1999), examinando grãos de aveia, trigo e cevada detectaram em 21% das amostras a presença da micotoxina Ocratoxina A, com maior frequência em cevada do que em trigo e aveia. Os autores também observaram um aumento na frequência de amostras contaminadas com o tempo de armazenamento. Embora com baixa incidência de micotoxinas, os resultados de SCUDAMORE et al. (1999) diferem do presente trabalho em que não foi detectado a presença das micotoxinas aflatoxinas B₁ B₂ G₁ G₂ zearalenona e ocratoxina A em grãos de aveia armazenados nos sistemas convencional e hermético pelo período de 12 meses.

A quantidade do ácido graxo linolênico, a atividade da enzima lipoxigenase, a predominância de fungos saprófitas, os antioxidantes presentes naturalmente, a concentração de CO₂ da atmosfera intergranular e a capacidade de complexação dos minerais pelo ácido fítico (ZERINGUE et al., 1996; DILKIN et al., 2000; PETERSON, 2001), também podem ser apontados como fatores que interferiram na não ocorrência de micotoxinas em grãos de aveia armazenados pelos sistemas convencional e hermético a 8%, 11% e 14% de umidade por 12 meses, pelo menos em quantidades não detectáveis na sensibilidade da metodologia analítica utilizada.

CONCLUSÃO

Os sistemas de armazenamento convencional e hermético são eficientes para conservação de grãos de aveia a 8%, 11% e 14% de umidade por 12 meses, sendo que, no sistema convencional para períodos superiores a 6 meses, a umidade deve ser inferior a 14%. O aumento do índice de acidez foi menor no sistema hermético e pode ser utilizado como indicativo de melhor conservação dos grãos de aveia, quando comparado com o

convencional. O vigor e a germinação podem ser usados como indicadores de parâmetros de qualidade de grãos de aveia armazenados nos sistemas convencional e hermético. A incidência dos fungos de campo e de armazenamento foi maior na aveia conservada a 14% de umidade e no período de três meses. Não foi detectada presença de aflatoxinas B₁, B₂, G₁, G₂, ocratoxina A e zearalenona em grãos de aveia armazenados nos sistemas convencional e hermético a 8%, 11% e 14% de umidade por 12 meses.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – MCT/CNPq, pelo auxílio financeiro ao projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACC - American Association of Cereal Chemists. **Approved methods**. 9.ed. Saint Paul, 1995. Paginação irregular.
- AOAC - Association Of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis**. 16.ed. In: HORWITZ, W. (ed). Arlington : Washington, 1997. 2v. Paginação irregular.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília : MAPA, 1992. 365p.
- CHEN, C. Factors that affect equilibrium relative humidity of agricultural products. **Transactions of the ASAE**, v.43, n.3, p.673-683, 2000.
- DILKIN, P. et al. Classificação macroscópica, identificação da microbiota fúngica e produção de aflatoxinas em híbrido de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.1, p.137-141, 2000.
- EKSTRAND, B. et al. Lipase activity in oats-distribution, pH dependence and heat inactivation. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.69, n.4, p.379-381, 1992.
- ELIAS, M.C. Fatores que influenciam a aeração e o manejo da conservação de grãos. In: LORINI, I.; MIKE, L.H.; SCUSSEL, V.M. (ed). **Armazenagem de grãos**. Campinas : IBG, 2002. p.311-359.
- 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.
- GUTKOSKI, L.C.; EL-DASH, A.A. Efeito do cozimento por extrusão na estabilidade oxidativa de produtos de aveia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.1, p.119-127, 1999.
- GUTKOSKI, L.C. Composição química. In: GUTKOSKI, L.C.; PEDRO, I. **Aveia: composição química, valor nutricional e processamento**. São Paulo: Varela, 2000. 191 p.
- KAUR, J. et al. Characterization of oat lipase for lipase for lipolysis of rice bran oil. **Biotechnology Letters**, v.15, n.3, p.257-262, 1993.

- 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.
- MOLTEBERG, G.L. et al. 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.
- PETERSON, D.M. Oat antioxidants. **Journal of Cereal Science**, n.33, p.115-129, 2001.
- SAS INSTITUTE. User's guide: **statistics**. 5.ed. Cary, NC, 1985. 956p.
- SCUDAMORE, K.A. et al. 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. (ed). **Armazenagem de grãos**. Campinas : IBG, 2002. p.675-804.
- 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 Association of Official Analytical Chemist**, v.72, p.22-26, 1989.
- WEBER, F.H. et al. Processos de estabilização de farinha de aveia por imersão das cariopses em água quente. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.5, n.103, p.225-235, 2002.
- ZADERNOWSKI, R. et al. The influence of heat treatment on the activity of lipo and hydrophilic components of oat grain. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.23, p.177-191, 1999.
- ZERINGUE, H.J.; BROWN, R.L.; NEUCERE, J.N. Relationship between C₆-C₁₂ alkanal and alkenal volatile contents and resistance of maize genotypes to *Aspergillus flavus* and aflatoxin production. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v.44, p.403-407, 1996.