

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

ARMAZENAGEM DE GRÃOS DE MILHO INFESTADOS COM *SITOPHILUS*  
*ZEAMAEIS* E *TRIBOLIUM CASTANEUM* EM SISTEMA HERMÉTICO E  
CONVENCIONAL

Priscila Correa Viebrantz  
Engenheira Agrônoma/UFRGS

Dissertação apresentada como um dos requisitos à  
obtenção do Grau de Mestre em Fitotecnia  
Ênfase em Entomologia

Porto Alegre (RS), Brasil  
Agosto de 2014

[Folha de homologação]

Aos meus pais, Deny e Nara, à  
minha irmã Cíntia, ao meu noivo  
Gustavo Gonzalez e ao meu  
amigo fiel Freddy.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao PPG Fitotecnia da UFRGS, pelo excelente ensino e formação.

Ao meu orientador, professor Dr. Rafael Gomes Dionello, pela paciência, disponibilidade e ensinamentos.

À minha família e ao meu noivo Gustavo, pelo apoio, conselhos e compreensão.

Aos colegas do Laboratório de Grãos, em especial ao Luidi Guimarães Antunes e à Tatiane Colares pelo companheirismo e amizade.

Aos bolsistas, pela ajuda nas coletas e nas análises.

Ao professor Lauri Radunz, pelo auxílio na análise estatística e pela atenção.

Ao pessoal do Laboratório de Nutrição Animal, pelo auxílio prestado nas análises químicas.

# ARMAZENAGEM DE GRÃOS DE MILHO INFESTADOS COM *SITOPHILUS ZEAMAI*S E *TRIBOLIUM CASTANEUM* EM SISTEMA HERMÉTICO E CONVENCIONAL<sup>1</sup>

Autor: Priscila Corrêa Viebrantz  
Orientador: Rafael Gomes Dionello

## RESUMO

O Brasil tem grande potencial para explorar o mercado de produtos armazenados e paralelo ao esforço no aumento da produção, há uma necessidade básica de incremento das condições de armazenamento. Os objetivos foram: 1. Avaliar a qualidade dos grãos de milho armazenados hermeticamente em “bags” e de forma convencional com diferentes umidades (12 e 15%) por seis meses; 2. Avaliar a qualidade física dos grãos e a mortalidade de insetos das espécies *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum* em ambiente hermético e não hermético durante 50 dias. O trabalho foi dividido em dois experimentos sendo: 1. Os grãos de milho com umidades de 12 e 15% foram armazenados por seis meses em sacarias herméticas e convencional e foram avaliados aos 0, 60, 120 e 180 dias. Foram realizadas as análises de umidade, massa específica, incidência de fungos, tecnológica, proteína, extrato etéreo, cinzas e acidez do extrato etéreo. No experimento 2 os grãos foram armazenados de forma hermética e não hermética, e foram infestados com insetos das espécies *S. zeamais* e *T. castaneum*. As avaliações de mortalidade e sobrevivência dos insetos ocorreram a cada 10 dias. Aos 0, 30 e 50 dias, foram feitas análises de umidade, massa específica e incidência de fungos. Em ambos os experimentos realizou-se a medição do oxigênio nas unidades herméticas. Pode-se concluir que o crescimento de *Aspergillus* spp. é maior em grãos com maior umidade e o de *Fusarium* spp. foi reduzido ao longo do período. O crescimento de *Penicillium* spp. é maior em grãos mais úmidos armazenados convencionalmente. Grãos com 15% de umidade tendem a aumentar de umidade em ambiente hermético. Há grande redução da massa específica em grãos com umidade de 15% em ambos os tratamentos, devido ao ataque de pragas e desenvolvimento fúngico. A porcentagem de grãos avariados aumenta em grãos úmidos, caindo para tipo 2 em sistema convencional e fora de tipo em sistema hermético. O sistema hermético foi eficiente quanto ao controle dos insetos, apresentando valores satisfatórios de mortalidade.

---

<sup>1</sup> Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (78p.). Agosto 2014.

# STORAGE MAIZE GRAINS INFESTED WITH *SITOPHILUS ZEAMAI*S AND *TRIBOLIUM CASTANEUM* IN HERMETIC AND CONVENTIONAL SYSTEMS<sup>2</sup>

Author: Priscila Corrêa Viebrantz  
Adviser: Rafael Gomes Dionello

## ABSTRACT

Brazil has a great potential to explore the market of stored products and parallel to the efforts to increase production, there is a basic need for increased storage conditions. The objectives of this study were: 1. Evaluate the quality of maize grains stored in "bags" and conventional sacks with different moistures (12 e 15%) for six months; 2. Evaluate the physical grain quality and mortality of insects of the species *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum* in hermetic and non-hermetic environment for 50 days. This study was divided in two experiments: 1. The maize grains with content moisture were stored for six months in airtight and conventional sacks and analyzed at 0, 60, 120 and 180 days. Analyses of moisture, density, fungal incidence, technological, protein, ether extract, mineral material and acidity of the ether extract were performed. In the second experiment the grains were stored in airtight and not airtight environment and were infested with insects of the species *S. zeamais* and *T. castaneum*. Evaluations of insects mortality and survival occurred every 10 days. At 0, 30 and 50 days, moisture analysis, density and fungal incidence were conducted. In both experiments, the measurement of oxygen in the hermetic units was carried out. *Aspergillus* spp. growth is higher in grains with higher humidity and the development of *Fusarium* spp. was reduced over time. The growth of *Penicillium* spp. is higher in wetter grains stored conventionally. Grains with moisture content of 15% tend to increase in moisture in environment hermetic. There is a great reduction in the density with moisture content of 15% in both treatments due to pest attack and fungal growth. The percentage of damaged grains increases in wetter grains, falling to type 2 in the conventional system and off-type in the hermetic system. The airtight system is efficient in the control of insects, with satisfactory mortality values.

---

<sup>2</sup> Master of Science dissertation in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (78p.). August 2014.

## SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1 Importância da cultura do milho .....	3
2.2 Armazenagem e qualidade dos grãos.....	4
2.2.1 Atmosfera modificada.....	7
2.2.2 Efeito do armazenamento hermético na qualidade dos grãos....	8
2.3 Insetos de grãos armazenados .....	10
2.3.1 <i>Sitophilus zeamais</i> Mots 1885 (Coleoptera, Curculionidae) .....	11
2.3.2 <i>Tribolium castaneum</i> Herbst 1797 (Coleoptera, Tenebrionidae).....	12
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	14
3.1 Experimento 1 .....	14
3.1.1 Cultivo e armazenagem do milho .....	14
3.1.2 Amostragem .....	17
3.1.3 Análises microbiológicas, físico-químicas e tecnológicas.....	17
3.1.3.1 Análise microbiológica .....	17
3.1.3.2 Umidade.....	18
3.1.3.3 Massa específica .....	19
3.1.3.4 Análise tecnológica .....	19
3.1.3.5 Proteína bruta .....	19
3.1.3.6 Extrato etéreo ou gordura bruta .....	20
3.1.3.7 Material mineral ou cinzas .....	20
3.1.3.8 Acidez titulável .....	20
3.1.3.9 Análise da concentração de O <sub>2</sub> .....	21
3.1.4 Delineamento experimental e análise estatística .....	21
3.2 Experimento 2 .....	21
3.2.1 Armazenamento .....	22
3.2.2 Criação dos insetos .....	23
3.2.3 Análise da concentração de O <sub>2</sub> .....	23
3.2.4 Avaliação da mortalidade dos insetos .....	23
3.2.5 Análises físicas e microbiológicas .....	25
3.2.6 Delineamento experimental e análise estatística .....	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	27
4.1 Experimento 1 .....	27
4.1.1 Contaminação fúngica.....	27

	Página
4.1.2 Análises físicas.....	35
4.1.3 Análise Tecnológica .....	40
4.1.4 Análises químicas.....	45
4.1.5 Teor de Oxigênio.....	53
4.2 Experimento 2 .....	55
4.2.1 Teor de Oxigênio.....	55
4.2.2 Mortalidade e sobrevivência dos insetos.....	57
4.2.3 Análises físicas.....	59
4.2.4 Contaminação fúngica.....	61
5 CONCLUSÕES.....	68
5.1 Experimento 1 .....	68
5.2 Experimento 2 .....	69
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	71

## RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Valores médios de mortalidade (%) de <i>Sitophilus zeamais</i> e <i>Tribolium castaneum</i> no armazenamento convencional e hermético, durante 50 dias. Porto Alegre, RS. 2013 .....	57
2. Valores médios de sobrevivência (%) de <i>Sitophilus zeamais</i> e <i>Tribolium castaneum</i> no armazenamento convencional e hermético, durante 50 dias. Porto Alegre, RS. 2013 .....	58

## RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Bags com válvulas para medição da concentração de oxigênio.Fonte: Priscila Viebrantz. Porto Alegre, RS. 2013.....	15
2. Armazenamento hermético (A) e convencional (B) Fonte: Priscila Viebrantz. Porto Alegre, RS. 2013.....	16
3. Gaiolas de PVC contendo os insetos isolados com a dieta de grãos de milho. Fonte: Priscila Viebrantz. Porto Alegre, RS. 2013 .....	24
4. Gaiola no interior da massa de grãos na unidade de armazenamento. Fonte: Priscila Viebrantz. Porto Alegre, RS. 2013	24
5. Incidência de <i>Fusarium</i> spp. (%), em grãos de milho armazenados de forma convencional (aberto) e hermético, sob dois teores de água, durante 180 dias. Porto Alegre, RS. 2013 .....	28
6. Incidência de <i>Aspergillus</i> spp. (%), em grãos de milho sob dois sistemas de armazenamento, durante 180 dias para as duas umidades. Porto Alegre, RS. 2013 .....	30
7. Incidência de <i>Aspergillus</i> spp. (%), em grãos de milho, sob dois teores de água durante 180 dias de armazenamento em ambos os sistemas. Porto Alegre, RS. 2013 .....	31
8. Incidência de <i>Aspergillus</i> spp. (%), em grãos de milho em dois sistemas de armazenamento sob dois teores de água. Porto Alegre, RS. 2013 .....	32
9. Incidência de <i>Penicillium</i> spp. (%), em grãos de milho armazenados em dois sistemas de armazenamento e sob dois teores de água durante 180 dias. Porto Alegre, RS. 2013 .....	33
10 Umidade (%), em grãos de milho armazenados de forma convencional (aberto) e hermético sob dois teores de água durante 180 dias. Porto Alegre, RS. 2013 .....	36

	Página
11. Massa específica (kg.m <sup>-3</sup> ) de grãos de milho armazenados de forma convencional (aberto) e hermético sob dois teores de água durante 180 dias. Porto Alegre, RS. 2013 .....	38
12. Grãos de milho ardidos (%), armazenados de forma convencional (aberto) e hermético sob dois teores de água durante 180 dias. Porto Alegre, RS. 2013 .....	40
13. Grãos de milho avariados (%), armazenados de forma convencional (aberto) e hermético sob dois teores de água durante 180 dias. Porto Alegre, RS. 2013 .....	42
14. Grãos de milho carunchados (%), armazenados de forma convencional (aberto) e hermético sob dois teores de água durante 180 dias. Porto Alegre, RS. 2013 .....	44
15. Teor de cinzas (%), em grãos de milho armazenados de forma convencional (aberto) e hermético sob dois teores de água durante 180 dias. Porto Alegre, RS. 2013 .....	46
16. Proteína bruta (%), em grãos de milho armazenados de forma convencional (aberto) e hermético sob dois teores de água durante 180 dias. Porto Alegre, RS. 2013 .....	47
17. Gordura (%), em grãos de milho armazenados de forma convencional (aberto) e hermético sob dois teores de água durante 180 dias. Porto Alegre, RS. 2013. ....	49
18. Gordura (%), em grãos de milho armazenados de forma convencional (aberto) e hermético sob dois teores de água durante 180 dias. Porto Alegre, RS. 2013. ....	50
19. Acidez do óleo (%), em grãos de milho armazenados de forma convencional (aberto) e hermético sob dois teores de água durante 180 dias. Porto Alegre, RS. 2013. ....	52
20. Teor de oxigênio (%), no sistema hermético sob dois teores de água durante 180 dias. Porto Alegre, RS. 2013. ....	54
21. Teor de oxigênio (%) em milho armazenado de forma hermética e infestados com <i>Sitophilus zeamais</i> e <i>Tribolium castaneum</i> , durante 50 dias. Porto Alegre, RS. 2013.....	56
22. Umidade (%), em grãos de milho armazenados de forma convencional (aberto) e hermético e infestados com <i>Sitophilus zeamais</i> e <i>Tribolium castaneum</i> , durante 50 dias. Porto Alegre, RS. 2013.....	60

	Página
23. Massa específica ( $\text{kg.m}^{-3}$ ), em grãos de milho armazenados de forma convencional (aberto) e hermético e infestados com <i>Sitophilus zeamais</i> e <i>Tribolium castaneum</i> , durante 50 dias. Porto Alegre, RS. 2013. ....	61
24. Contaminação do gênero <i>Fusarium</i> spp. (%) em grãos de milho armazenados de forma convencional (aberto) e hermético e infestados com <i>Sitophilus zeamais</i> e <i>Tribolium castaneum</i> , durante 50 dias. Porto Alegre, RS. 2013. ....	63
25. Contaminação do gênero <i>Penicillium</i> spp. (%) em grãos de milho armazenados de forma convencional (aberto) e hermético e infestados com <i>Sitophilus zeamais</i> e <i>Tribolium castaneum</i> , durante 50 dias. Porto Alegre, RS. 2013. ....	64
26. Contaminação do gênero <i>Aspergillus</i> spp. (%) em grãos de milho armazenados de forma convencional (aberto) e hermético e infestados com <i>Sitophilus zeamais</i> e <i>Tribolium castaneum</i> , durante 50 dias. Porto Alegre, RS. 2013. ....	66

## 1 INTRODUÇÃO

A produção de grãos é um dos principais setores do segmento agrícola a nível mundial.

O Brasil tem grande potencial para explorar o mercado de produtos armazenados. Paralelo ao esforço no aumento da produção, tanto qualitativa como quantitativamente, há uma necessidade básica de incremento das condições de armazenamento. Há, entretanto, a possibilidade de estocagem por períodos mais prolongados e, neste caso, devem ser adotadas medidas corretas de colheita, limpeza, secagem e manejo de pragas.

Um produto armazenado forma um ecossistema sujeito a transformações, deteriorações e perdas devido às interações entre fenômenos físicos, químicos e biológicos. Exerce grande influência nesse contexto, fatores como temperatura, umidade, disponibilidade de oxigênio, micro-organismos, insetos, roedores e pássaros. As perdas de qualidade e quantidade no armazenamento ocorrem principalmente devido ao ataque de insetos, roedores, pássaros e deterioração por fungos.

Atualmente, as perdas na pós-colheita no Brasil são estimadas em aproximadamente 10% do que é produzido por ano.

Dentre os grãos produzidos no Brasil, destacam-se o milho e a soja. Estes produtos apresentam utilização cada vez maior na alimentação

humana e animal. Devido a isso, o mercado exige a qualidade dos produtos, com ausência de contaminação por insetos, fragmentos de insetos, roedores, pássaros, fungos e resíduos químicos tóxicos.

A constante reivindicação do mercado consumidor pela excelência no armazenamento faz com que haja uma constante busca por métodos de controle cada vez mais eficientes. Dentre os diferentes tipos de armazenamento encontra-se o armazenamento hermético. Este sistema corresponde a um tipo de controle físico, uma vez que evita a troca gasosa entre o interior e o exterior de um compartimento onde são armazenados os grãos.

Atualmente, buscam-se alternativas para a redução das perdas durante o armazenamento ocasionadas tanto pelo ataque de pragas como por más condições de armazenagem. Essa busca por métodos alternativos visa manter a qualidade dos grãos, o fortalecimento da cadeia produtiva e a saúde da população.

Por esta razão, os objetivos do presente trabalho foram: avaliar qualitativamente e quantitativamente grãos de milho armazenados hermeticamente em sacarias tipo “bags” ou armazenados de forma convencional, ambos com diferentes umidades, por até seis meses; avaliar a incidência de fungos, a qualidade física dos grãos e a mortalidade de insetos das espécies *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum*, tanto em ambiente hermético quanto em ambiente convencional, durante cinquenta dias de armazenamento; e, analisar a cada cinco dias a concentração de oxigênio nas sacarias tipo “bags” herméticas, durante os cinquenta dias de armazenamento.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Importância da cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.), bem como a soja (*Glycine max* L.), é um dos principais cultivos realizados no país e apresenta um caráter econômico de elevada importância. Isso ocorre devido à sua indispensável utilização nas atividades agropecuárias e industriais, constituindo-se como material primordial em diversos empregos. O milho é utilizado em larga escala nas indústrias de alimentos para humanos e animais, na formulação de bebidas e de combustíveis, podendo seu uso ser aumentado de forma considerável com a criação de novas fontes de consumo (Sartori, 2001).

A produção nacional de grãos na safra 2013/2014 foi de 195,46 milhões de toneladas, com estimativa de colheita de aproximadamente 201 milhões de toneladas para a safra 2014/2015 (Brasil, 2014).

A estimativa para as duas safras de milho no ano agrícola 2014/2015 é de 78,95 milhões de toneladas: são 29,54 milhões de toneladas para o milho na primeira safra e 49,41 milhões de toneladas para o milho na segunda safra. A Região Sul apresenta a 2ª maior produção por região brasileira, de milho, com expectativa de produção de 22,59 milhões de toneladas para o ano de 2014/2015 (Brasil, 2014).

A área total semeada de milho no Brasil, somando as duas safras chegará a 15,53 milhões de hectares em 2014/2015. Na Região Sul, o Rio Grande do Sul é o segundo maior produtor de milho. O Estado apresenta uma produção total de 4,88 milhões de toneladas e produtividade de aproximadamente 4,94 mil kg ha<sup>1</sup> (Brasil, 2014).

No mercado internacional as exportações fecharam, segundo o Secex, em 562,4 milhões de toneladas em abril de 2013. Acreditando que o segundo semestre deva apresentar comportamento semelhante ao do segundo semestre do ano anterior, estima-se um volume final de exportação de milho, de fevereiro a janeiro, na ordem de 21 milhões de toneladas (Brasil, 2014).

## **2.2 Armazenagem e qualidade dos grãos**

A cada ano que passa o Brasil tem aumentado sua safra de grãos e, com isso, torna-se iminente a necessidade de crescimento da capacidade de armazenagem e adequação dos padrões de qualidade aos impostos pelos mercados consumidores ao setor. Este fator, segundo Nogueira Junior & Tsunehiro (2003), faz com que haja uma desarmonia no setor agrícola, ocasionando flutuações de preços dos produtos armazenados durante o ano, aumento dos custos de comercialização e perda de competitividade do produto brasileiro frente ao mercado interno e externo.

A capacidade brasileira de armazenagem pública e privada de grãos não tem acompanhado o crescimento da produção e as mudanças na sua distribuição geográfica, alcançando atualmente 145 milhões de toneladas,

equivalente a aproximadamente 80% da produção. A recomendação da FAO é que a capacidade de armazenamento seja 20% superior a produção, ou seja, 1,2 vezes a produção. Essa insuficiência de capacidade de armazenagem tem efeito negativo para os produtores, pois muitas vezes são obrigados a antecipar a comercialização da safra. Além disso, é fato que a capacidade de armazenagem nas propriedades rurais situa-se em torno de 15%. Este percentual é muito baixo em comparação, por exemplo, com outros países, como: Austrália (85%), Estados Unidos (65%) e Argentina (40%). Esta situação deixa os agricultores na dependência de cerealistas e “traders”, detentores de maior capacidade de armazenagem que fazem a prestação de serviço (Brasil, 2013).

A armazenagem agrícola define-se como uma das importantes áreas de intermédio entre a produção no campo e o consumo destas safras. Este setor sofre determinantes influências socioeconômicas na disponibilidade quantitativa e qualitativa dos alimentos (Puzzi, 2000).

Com as predições das condições de armazenagem segura, permite-se preservar as características qualitativas de grãos recentemente colhidos por longos períodos, podendo-se evitar que ocorra deterioração dos mesmos (Fleurat-Lessard, 2002). Esta busca pela qualidade dos grãos tem se tornado um aspecto relevante tanto para comercialização interna como para externa.

Entre os processos de pós-colheita, a secagem do produto é muito importante para a manutenção da qualidade dos grãos durante a armazenagem, além de ser a etapa em que o consumo de energia é mais significativo (Sauer, 1992).

A obtenção de grãos de alta qualidade é dependente de alguns fatores, como as características da espécie e da cultivar, das condições ambientais durante o seu desenvolvimento, da época e dos procedimentos de colheita, do método de secagem e das práticas de armazenagem (Brooker *et al.*, 1992). Para Vieira *et al.* (1999), a utilização da terminologia “qualidade de sementes ou grãos” engloba distintos elementos individuais, sendo a avaliação conjunta desses componentes a ferramenta que permite o conhecimento da potencialidade real do emprego de sementes ou grãos.

Na armazenagem convencional são utilizadas, na quase totalidade, estruturas (armazéns) de construção simples, de alvenaria e com acondicionamento de grãos em sacaria. As perdas durante a armazenagem de grãos ocorrem, em sua maioria, devido ao ataque de insetos, deterioração por fungos e ataques por roedores e pássaros. Em percentuais menores, porém de importância no conjunto total das perdas que ocorrem durante o armazenamento, está à atividade respiratória, a perda da qualidade nutricional e das propriedades relacionadas com o uso final dos grãos (Athié, 1998).

Os fungos que tem a capacidade de produzir metabólitos secundários tóxicos são denominados toxigênicos, os quais podem contaminar os grãos no campo, antes mesmo da colheita ou durante o armazenamento, persistindo em alimentos e rações destinados ao consumo humano e de animais (Carvajal & Arroyo, 1997). Os fungos toxigênicos pertencem basicamente aos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*, os quais são responsáveis pela produção da maioria das micotoxinas até hoje conhecidas e estudadas (Sweeney & Dobson, 1998). A grande diversidade destes

fungos é encontrada em todas as regiões do mundo e pode crescer em ampla gama de substratos e variadas condições de umidade, pH e temperatura (Scussel, 2002).

### **2.2.1 Atmosfera modificada**

O manejo de insetos através da atmosfera modificada é considerado um método físico o qual consiste na modificação da atmosfera no armazenamento, o que produz uma barreira física à entrada de agentes biológicos (insetos, ácaros, fungos, roedores e pássaros) e diminui trocas gasosas entre o interior e o exterior da massa de grãos armazenada. Esse procedimento é aplicado para se alcançar um controle efetivo dos organismos presentes e manter inalteradas a viabilidade e a preservação da qualidade dos produtos armazenados (Adler, 2000).

Desta forma o armazenamento em ambiente hermético altera a atmosfera intergranular da massa de grãos. Com isto, ocorre redução na concentração de oxigênio atmosférico e incremento na concentração de dióxido de carbono. Estas mudanças decorrem da respiração de micro-organismos, sementes e/ou grãos e insetos presentes (Papademetriou & Vanava, 1997). Podem ser utilizadas, neste método físico, bolsas plásticas seladas que proporcionam um ambiente hermético para o armazenamento de grãos, tornando-se uma tecnologia alternativa aos métodos tradicionais de armazenagem em propriedades. Esta tecnologia tem merecido devida atenção e tem sido alvo de diversas pesquisas, especialmente por estar

sendo utilizada no Brasil e, principalmente, na Argentina (Rodriguez *et al.*, 2004; Rodriguez *et al.*, 2002; Faroni *et al.*, 2009; Navarro, 2010; 2012).

Diversos fatores influenciam na atividade respiratória dos grãos, sendo os elementos de maior relevância o teor inicial de água dos grãos, o nível de dano mecânico, a temperatura do ambiente de armazenamento e da massa de grãos e a composição de gases da atmosfera de armazenamento. Neste aspecto, a disponibilidade de oxigênio ( $O_2$ ) é fator primordial (Saul & Steele, 1966; Dillahunty *et al.* 2000).

O tempo necessário para o consumo do  $O_2$  em um ambiente é diretamente proporcional ao teor de água e temperatura dos produtos armazenados. Com o aumento da temperatura há o aumento da taxa respiratória dos grãos e dos demais organismos vivos presentes na massa de grãos, consumindo o  $O_2$  de forma mais rápida (Aguiar *et al.*, 2004). Devido à redução da disponibilidade de  $O_2$  no sistema de armazenamento hermético ocorre a diminuição da taxa respiratória dos grãos, dos insetos e dos fungos, reduzindo desta forma a degradação oxidativa deles, sem a necessidade do uso de produtos químicos (Moreno *et al.* 2000; Aguiar *et al.* 2004; Quezada *et al.* 2006).

### **2.2.2 Efeito do armazenamento hermético na qualidade dos grãos**

Uma atmosfera rica em dióxido de carbono e pobre em oxigênio pode diminuir a capacidade de reprodução e/ou desenvolvimento de insetos e de fungos. Do mesmo modo, a atividade metabólica dos grãos é diminuída, favorecendo a sua conservação (Jayas, 2000; Moreno *et al.*, 2000; Moreno

*et al.*, 2006; Quezada *et al.*, 2006; Navarro, 2012), além de reduzir a taxa de oxidação do produto armazenado (Villers *et al.*, 2006).

Ressalta-se que insetos e fungos são os principais responsáveis pelas perdas qualitativas e quantitativas dos grãos armazenados. O desenvolvimento de pragas e doenças é influenciado por fatores ambientais (Jayas & White, 2003). Rupollo *et al.* (2006) afirmam que no armazenamento hermético o CO<sub>2</sub> gerado e, conseqüentemente, a redução do O<sub>2</sub> no sistema, estabiliza o processo de degradação da massa, pela redução da taxa respiratória dos próprios grãos e organismos presentes. Ambos, O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, contribuem para a manutenção da qualidade destes grãos.

A disponibilidade de oxigênio é uma variável importante que afeta a sobrevivência, o crescimento e o desenvolvimento de insetos e fungos. Organismos aeróbicos requerem oxigênio livre para promover a respiração celular e, com isto, produzir energia que será utilizada para a manutenção do metabolismo. Portanto, o oxigênio é recurso indispensável para manutenção da vida desses organismos (White & Leesch, 1996).

A vantagem da armazenagem em atmosfera modificada consiste no fato de se atingir o sistema respiratório do inseto e sua demanda por oxigênio e, ao mesmo tempo, aproveitar o efeito nocivo da alta concentração de CO<sub>2</sub>. A diminuição da concentração de oxigênio, além de matar os insetos, ácaros e roedores, reduz a atividade de fungos, a respiração dos grãos e a sua degradação (White & Leesch, 1996).

O tempo necessário para a eliminação de insetos de grãos armazenados depende de fatores físicos como a temperatura, umidade e

concentrações de gases e de fatores biológicos como a espécie e o estágio de desenvolvimento dos insetos presentes (Donahaye, 1991).

Segundo Moreno *et al.* (2000), os insetos morrem quando a concentração de oxigênio no recipiente de armazenamento é reduzido para 3% ou menos, e o desenvolvimento de fungos cessa quando o nível de oxigênio diminui para 1% ou menos.

### **2.3 Insetos de grãos armazenados**

Conforme Costa *et al.* (1980), os insetos causam sérios prejuízos nos produtos armazenados, sendo um dos maiores competidores do homem, na luta pelos alimentos. Juntamente com os fungos, os insetos são as principais causas de perdas e deterioração durante o armazenamento. Inúmeros são os prejuízos que pragas podem causar, como por exemplo: perda de peso e do valor comercial dos produtos, destruição de tecidos embrionários, modificação da cor, cheiro e sabor, degradação de proteínas e vitaminas, perda do vigor e poder de germinação de sementes e incremento de temperatura na massa de grãos (Loeck, 2002).

O manejo ou controle de insetos em grãos armazenados é um dos aspectos mais relevantes no pré-processamento de produtos agrícolas, uma vez que, além de diminuir o tempo de armazenamento, os insetos consomem e danificam grande quantidade de matéria seca, afetam o valor intrínseco dos grãos, pela alteração de sua qualidade, propiciam a ação de fungos e contaminam grãos e seus produtos processados com exoesqueletos, excrementos e outros subprodutos de seus processos vitais (Barra, 1997).

### 2.3.1 *Sitophilus zeamais* Mots 1885 (Coleoptera, Curculionidae)

Uma das principais pragas no armazenamento de grãos de milho é o *Sitophilus zeamais*, popularmente conhecido como gorgulho do milho. Trata-se de uma praga primária e cosmopolita, que apresenta elevado potencial biótico, que é a capacidade de uma população em aumentar o número de indivíduos em certa área, em condições favoráveis (Loeck, 2002).

A postura da fêmea é inibida em grãos com umidade inferior a 12,5%, podendo ocorrer em grãos com elevado teor de umidade, como por exemplo, em grãos de milho durante a maturação fisiológica (Evans, 1981). Esta espécie apresenta infestação cruzada, que é a capacidade de infestar os grãos tanto no campo quanto no armazém e possui muitos hospedeiros como grãos de trigo, arroz, milho, cevada e triticales (Lorini, 2008).

Os insetos adultos medem de 2,0 a 3,5 mm e são de coloração castanho-escura com manchas claras nos élitros (asas anteriores), sendo bem visíveis após a emergência. Possui a cabeça projetada para frente na forma de rostro curvado. Os machos apresentam rostro curto e grosso, as fêmeas apresentam rostro mais longo e afilado (Lorini & Schneider, 1994; Loeck, 2002).

As larvas são de coloração amarelo-claro, do tipo curculioniforme com a cabeça de cor marrom-escura e as pupas são brancas (Mound, 1989; Booth *et al.*, 1990). A fêmea faz um orifício na região do embrião, no grão, deposita o ovo e fecha este orifício com um tampão gelatinoso, produzido por ela própria. Após quatro dias, originam-se as larvas, que se alimentam do endosperma, dando origem a um novo adulto em aproximadamente 35 dias. Caso ocorra a postura de mais de um ovo por grão, a larva mais forte

se sobrepõe às demais, ocorrendo assim apenas uma emergência de adulto por grão (Loeck, 2002).

### **2.3.2 *Tribolium castaneum* Herbst 1797 (Coleoptera, Tenebrionidae)**

Além do gorgulho, os besouros do gênero *Tribolium castaneum* também se destacam como potenciais pragas na cultura do milho, devido a sua capacidade de multiplicação e adaptação. Poucos indivíduos podem formar populações consideráveis em curto período de tempo (Lorini *et al.*, 2002). O *T. castaneum* é considerado uma praga secundária, pois ataca apenas os grãos quebrados, fragmentados e os já perfurados pelos insetos primários (Elias *et al.*, 2009a). É, geralmente, a primeira espécie a aparecer em produtos recentemente colhidos e armazenados, em função de sua grande capacidade de voo (Loeck, 2002).

Infestações por essa espécie produzem odor desagradável, característico, devido à secreção de quinonas por glândulas de defesa (odoríficas), situadas nos segmentos torácicos e abdominais. As quinonas são substâncias irritantes e pungentes. (Athié & De Paula, 2002).

Os adultos de *T. castaneum* são besouros achatados, ovalados, de coloração castanha avermelhada e variam de 2 a 4 mm de comprimento. O ciclo de vida pode ser completado em 21 dias sob condições ótimas de temperatura (35 °C) e umidade relativa do ar (75%), mas podem se desenvolver entre 22 e 40 °C (Booth *et al.*, 1990; Athié & De Paula, 2002).

Os ovos desta espécie são pequenos, medindo aproximadamente 0,6 x 0,3 mm, claros e recobertos por substância viscosa. O período de

incubação é de sete dias. As fases de ovo e pupa apresentam maior resistência à ação dos inseticidas. A oviposição é efetuada fora da massa de grãos de 2 a 3 vezes ao dia, sob sacarias, fendas ou alimentos, num total de 400 a 500 ovos. As larvas são branco amareladas, cilíndricas e finas, medindo até 7 mm de comprimento e apresentam o aspecto típico de larva arame. São móveis e se alimentam dos embriões dos cereais. É nesta fase que consomem a maior quantidade de alimento (Lorini *et al.*,2002; Elias *et al.*, 2009a).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho de pesquisa foi dividido em dois experimentos, conforme descritos a seguir:

#### **3.1 Experimento 1**

O ensaio foi realizado no período de abril a outubro do ano de 2014. Avaliaram-se parâmetros físicos, químicos e microbiológicos de grãos de milho armazenados por seis meses, em sistema hermético e convencional e sob teores de umidades de 12 e 15%. As análises ocorreram a cada sessenta dias.

##### **3.1.1 Cultivo e armazenagem do milho**

O milho foi semeado em outubro de 2012, na área de pesquisa da Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, localizada no km 47 da BR 290, em Eldorado do Sul - RS (30°05'52" S, 51°39'08" W e altitude média de 46 m). A cultivar utilizada foi Pioneer Yieldgard 30K75Y.

Os grãos foram colhidos no mês de março de 2013, com umidade de 26%. Foram limpos em máquina de ar e peneiras planas para a retirada de

matérias estranhas, impurezas e grãos quebrados. Logo em seguida foram divididos em duas partes iguais e secos até as umidades de 12 e 15%. A secagem destes grãos foi realizada em silo secador com uso de ar natural. Após a limpeza e secagem, foram armazenados em silos de alvenaria por um período de 30 dias, até o início do experimento.

Os grãos com ambas as umidades (12 e 15%) foram armazenados de forma hermética em bolsas com capacidade para 60 kg. As bolsas, confeccionadas com material de multicamadas e com válvulas para medição da concentração de oxigênio (Figura 1), foram fornecidas pela empresa *Superbag* (GrainPro, INC.). Também foram armazenadas de forma convencional com ambas as umidades. Os tratamentos foram os seguintes:

1. Armazenamento hermético de milho com umidade de 12% em bolsas tipo “bags” (Figura 2 A).
2. Armazenamento hermético de milho com umidade de 15% em bolsas tipo “bags” (Figura 2 A).
3. Armazenamento convencional de milho com umidade de 12% (Figura 2 B).
4. Armazenamento convencional de milho com umidade de 15 % (Figura 2 B).



FIGURA 1. Bags com válvulas para medição da concentração de oxigênio. Fonte: Priscila Viebrantz. Porto Alegre, RS. 2013.



FIGURA 2. Armazenamento hermético (A) e convencional (B)  
Fonte: Priscila Viebrantz. Porto Alegre, RS. 2013.

Foram armazenados nove sacos de 60 kg com milho em cada umidade. Em cada período de avaliação foram abertos três sacos, totalizando 18 sacos de milho armazenados nos tratamentos em bolsas plásticas. Diferente do tratamento hermético, onde para cada tempo haviam três repetições devido à abertura dos “bags”, nos tratamentos convencionais foram armazenados somente três sacos de milho em sacaria por umidade, totalizando seis sacos de milho. Isso se deve ao fato de que como o armazenamento é aberto, as amostras foram retiradas das mesmas sacarias a cada período, pois não há hermeticidade neste sistema.

Os grãos de milho foram armazenados durante seis meses e avaliados logo na instalação do experimento e, posteriormente, a cada 60 dias.

### **3.1.2 Amostragem**

As coletas de amostras durante o armazenamento dos grãos foram obtidas da porção superior e central das unidades armazenadoras, com o objetivo de obter uma amostra mais representativa e homogênea.

### **3.1.3 Análises microbiológicas, físico-químicas e tecnológicas**

As análises microbiológicas, físicas e tecnológicas foram realizadas no Laboratório de Pós-colheita de Grãos, localizado no Departamento de Fitossanidade, enquanto as análises químicas foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal, localizado no Departamento de Zootecnia, ambos na Faculdade de Agronomia da UFRGS. Na instalação do ensaio e após os 60, 120 e 180 dias de armazenamento, a qualidade dos grãos foi avaliada através das seguintes análises:

#### **3.1.3.1 Análise microbiológica**

A avaliação microbiológica das amostras foi realizada no Laboratório de Pós-colheita de Grãos, localizado no Departamento de Fitossanidade da Faculdade de Agronomia – UFRGS, pelo método de sanidade do papel filtro, conhecido como método "*Blotter Test*", conforme recomendado para análise de sementes (Brasil, 2009). A incidência de contaminação microbiológica foi avaliada em porcentagem de fungos dos gêneros *Aspergillus* spp., *Fusarium* spp. e *Penicillium* spp., sendo calculada a partir do número de grãos contaminados com o fungo em cada repetição. Cada tratamento foi

composto por oito repetições de 25 grãos, totalizando 200 grãos por tratamento.

Para a análise microbiológica, os grãos passaram por prévia desinfestação, para eliminação de possíveis micro-organismos presentes na parte externa do grão. Cada repetição foi imersa por três minutos em solução de hipoclorito de sódio a 1%, com posterior, tríplice lavagem em água destilada autoclavada.

Após a desinfestação, os grãos de milho foram distribuídos em gerbox plástico, previamente limpos com álcool etílico 70%. Os grãos foram colocados sobre três folhas de papel filtro autoclavadas e umedecidas com solução salina, com a finalidade de evitar a germinação dos grãos. A seguir, os gerbox foram colocados em câmara de crescimento, sob iluminação contínua, à temperatura de  $25\pm 2$  °C, por período de 7 a 10 dias. Após a incubação os fungos foram identificados e contados. A identificação dos fungos, em nível de gênero, presentes nos grãos de milho, foi realizada por meio de lupa estereoscópica. Os resultados foram expressos em porcentagem de incidência de cada gênero.

### **3.1.3.2 Umidade**

Para a determinação da umidade dos grãos, utilizou-se o método da estufa a  $105\pm 3$  °C, com circulação natural de ar, por um período total de 24 horas, conforme indicação nas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009). Foram utilizadas três repetições para cada tratamento. Os resultados foram expressos em porcentagem de umidade, em base úmida.

### **3.1.3.3 Massa específica**

A massa específica foi determinada por pesagem dos grãos em balança eletrônica com precisão de 0,001 g, sendo a mesma colocada em recipiente de volume conhecido, com três repetições para cada tratamento. Os resultados foram convertidos para serem expressos em  $\text{kg.m}^{-3}$ .

### **3.1.3.4 Análise tecnológica**

Os grãos avariados (grãos ardidos, fermentados, mofados, germinados, carunchados, imaturos e chochos), quebrados e presença de matérias estranhas e impurezas foram determinados pela metodologia oficial do Ministério da Agricultura, conforme a Instrução Normativa MAPA Nº 60 de 22 de dezembro de 2011 (Brasil, 2011). Para esta análise, foram utilizadas três repetições de 250 g de grãos para cada tratamento. Os resultados foram expressos em porcentagem total de grãos avariados, ardidos, carunchados, quebrados e matérias estranhas e impurezas. Os grãos de milho foram classificados em tipo conforme a tabela constante na Instrução Normativa (Brasil, 2011).

### **3.1.3.5 Proteína bruta**

O teor de proteína bruta foi determinado pelo método *Kjeldahl*, conforme descrito pela A.A.C.C. (2000). Os resultados foram expressos em porcentagem.

### 3.1.3.6 Extrato etéreo ou gordura bruta

A extração e a determinação do extrato etéreo foi realizada conforme o método A.O.C.S. (1996), com a utilização do aparelho *Soxleht*. Os resultados foram expressos em porcentagem.

### 3.1.3.7 Material mineral ou cinzas

O teor de cinzas ou material mineral foi determinado conforme descrito na A.O.A.C. (1990), com incineração prévia e calcinação até peso constante em mufla a 560-580 °C. Os resultados foram expressos em porcentagem.

### 3.1.3.8 Acidez titulável

A acidez é expressa, neste estudo, em porcentagem de ácido oleico, sendo realizada após a extração da gordura bruta conforme A.O.C.S. (1996). A acidez titulável foi determinada conforme descrito no método Ca 5-40 da A.O.C.S. (1985).

A quantificação foi realizada a partir da seguinte equação:

$$v \times f \times 100 \times 0,0282 \div P = \text{acidez em \% de ácido oléico}$$

v = volume em ml de solução de hidróxido de sódio 0,1 M gasto na titulação

f = fator de correção da solução de hidróxido de sódio 0,1 M

P = peso em g da amostra de extrato etéreo

### 3.1.3.9 Análise da concentração de O<sub>2</sub>

Foram realizadas determinações da concentração do oxigênio aos 60, 120 e 180 dias nas sacarias tipo “bags”. A análise dos níveis de O<sub>2</sub>, no interior dos “bags”, foi realizada com o auxílio de um medidor de gases da marca GrainPro.

Nos tratamentos convencionais foi considerada a condição de oxigênio do ambiente, ou seja, 20,8% de O<sub>2</sub>.

### 3.1.4 Delineamento experimental e análise estatística

Para a condução do experimento foi adotado o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 4 x 2 (umidades de colheita: 12 e 15%; tempos de armazenamento: 0, 2, 4 e 6 meses e sistemas de armazenamento: sacaria tipo “bags” e convencional). Utilizaram-se três repetições para cada tratamento. Os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F ( $P \leq 0,05$ ), com auxílio do software Statistica 10.0<sup>®</sup> e quando acusado efeito significativo da interação ou, na ausência desta, dos efeitos duplos e simples, foram submetidos a análise de regressão não linear, com auxílio do software SigmaPlot 10.0<sup>®</sup>.

## 3.2 Experimento 2

O experimento foi realizado no período de outubro a novembro do ano de 2013. Armazenaram-se grãos de milho de forma hermética e não hermética, infestados com insetos das espécies *Sitophilus zeamais* e

*Tribolium castaneum*. As avaliações de mortalidade e sobrevivência dos insetos ocorreram a cada 10 dias. Sendo que na instalação do experimento (tempo 0) e aos 30 e 50 dias, foram feitas análises de umidade, peso volumétrico e incidência de fungos. A medição do oxigênio nas unidades herméticas ocorreu a cada cinco dias.

Os grãos foram provenientes do mesmo cultivo descrito no experimento 1, da Estação Experimental Agrônômica da UFRGS, em Eldorado do Sul. Antes do início do experimento, os grãos utilizados nas avaliações, foram mantidos no freezer, por 60 dias, para evitar o desenvolvimento de insetos e fungos.

### **3.2.1 Armazenamento**

Grãos com umidade de 13%, em base úmida, foram armazenados de duas formas, sendo: 1. Armazenamento hermético em bolsas “bag” plásticas, fornecidas pela empresa *Superbag* (GrainPro, INC.). 2. Tratamento testemunha, utilizando os “bags” de forma aberta. Cada tratamento foi composto por 10 bags com duas repetições, totalizando 20 unidades de armazenamento. O período de armazenamento foi de 50 dias. À medida que se procedia à abertura dos “bags” para a retirada das gaiolas e contagem dos insetos vivos e mortos, a quantidade de repetições para a análise de oxigênio diminuía, pois perdiam a hermeticidade, sendo excluídos do trabalho.

### 3.2.2 Criação dos insetos

Foram utilizados insetos adultos, com idade de 20 a 50 dias, não sexados, das espécies *S. zeamais* e *T. castaneum*, oriundos de criação em sala climatizada, localizada no Departamento de Fitossanidade-UFRGS, com condições controladas de temperatura ( $25 \pm 5$  °C) e umidade relativa ( $60 \pm 10\%$ ). Os insetos foram mantidos em recipientes plásticos, com tampa apresentando abertura coberta por tela para permitir as trocas gasosas.

### 3.2.3 Análise da concentração de O<sub>2</sub>

Foram realizadas avaliações da concentração de oxigênio a cada cinco dias, durante os 50 dias de armazenamento. A análise da concentração de O<sub>2</sub>, dentro das bolsas “bags”, foi realizada usando um medidor de gases marca GrainPro.

### 3.2.4 Avaliação da mortalidade dos insetos

Foram colocados 20 insetos das espécies *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum* em cada unidade, totalizando 40 insetos, sendo estes isolados em gaiolas de PVC (10 x 10 x 10 cm) com tecido tipo voile para permitir as trocas gasosas. Juntamente com os insetos foi colocada uma dieta, de aproximadamente 200 g, do mesmo grão utilizado no experimento, previamente desinfestada em freezer por 60 dias, antes da instalação do experimento (Figura 3). Estas gaiolas foram colocadas entre a massa de grãos, no centro de cada unidade de armazenamento (Figura 4).



FIGURA 3. Gaiolas de PVC contendo os insetos isolados com a dieta de grãos de milho. Fonte: Priscila Viebrantz. Porto Alegre, RS. 2013.



FIGURA 4. Gaiola no interior da massa de grãos na unidade de armazenamento. Fonte: Priscila Viebrantz. Porto Alegre, RS. 2013.

A infestação dos grãos foi realizada tanto no sistema não hermético como no hermético, sendo nesta última antes do fechamento dos “bags”. Os “bags” foram avaliados em intervalos de 10 dias, durante 50 dias, observando-se duas unidades de cada tipo de armazenamento (hermético e não hermético), totalizando 20 “bags”.

Após a abertura dos “bags” foram realizadas as análises de sobrevivência e de mortalidade em cada repetição, com o auxílio de bandejas onde foram depositados os grãos de milho e os insetos contidos em cada gaiola. Em cada recipiente foi realizada a contagem dos insetos mortos e vivos, para cálculos de mortalidade e sobrevivência, conforme indicado por Procópio *et al.* (2003), Pereira *et al.* (2003), Coitinho *et al.* (2006) e Martins & Oliveira (2008).

Também, foi avaliada a presença de insetos nas unidades abertas nos mesmos intervalos, ou seja, de 10 em 10 dias, pela abertura das gaiolas e contagem dos mesmos.

### **3.2.5 Análises físicas e microbiológicas**

Foram realizadas as análises de umidade, massa específica e microbiológica ao instalar o experimento e aos 30 e 50 dias de armazenamento. Estas análises foram realizadas seguindo a mesma metodologia utilizada no experimento 1.

### **3.2.6 Delineamento experimental e análise estatística**

Para a realização do experimento foi adotado o delineamento inteiramente casualizado, conduzido num esquema fatorial 5 x 2 (tempos de armazenamento: 10, 20, 30, 40 e 50 dias e tipos de armazenamento: (“bags” e convencional). Foram utilizadas duas repetições para cada tratamento, totalizando 20 unidades experimentais. Para avaliar a significância estatística foi utilizado Log-rank test, teste utilizado para análise de

sobrevivência. Todas as análises foram realizadas com auxílio do programa SigmaPlot 10.0®.

Os dados obtidos de mortalidade e sobrevivência foram submetidos à análise de sobrevivência conforme método descrito por Kaplan-Meier, que consiste em dividir o tempo de seguimento em intervalos, cujos limites correspondem ao tempo de seguimento em que houve eventos. Este método calcula a sobrevivência cada vez que o indivíduo (inseto) morre.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Experimento 1

#### 4.1.1 Contaminação fúngica

A análise de variância evidenciou que há efeito significativo para a interação tempo x sistema x teor de água ( $P=0,00016$ ).

No sistema aberto (convencional) de armazenagem de milho, a incidência do gênero *Fusarium* spp. não variou significativamente ao longo do tempo para o teor de água de 15% (Figura 5), apresentando valores médios de contaminação de 36,50%. Para o teor de água de 12% ( $P=0,0133$ ), na mesma condição de armazenamento, ocorreu um aumento na contaminação até 60 dias de estocagem, com posterior redução nesta, até o final das avaliações. No final de seis meses foi determinada uma contaminação de 30,5%.

O gênero *Fusarium* spp. é seguidamente considerado apenas um patógeno de campo. Atualmente sabe-se que *Fusarium verticillioides* (Saccardo), por exemplo, pode se desenvolver após a colheita e durante o armazenamento, principalmente quando este é realizado de forma incorreta, podendo permanecer inclusive durante e pós-processamento do alimento (Marin *et al.*, 2004; Chulze, 2000). Esta manutenção na contaminação deste

gênero de fungo no armazenamento também foi observada no presente trabalho.

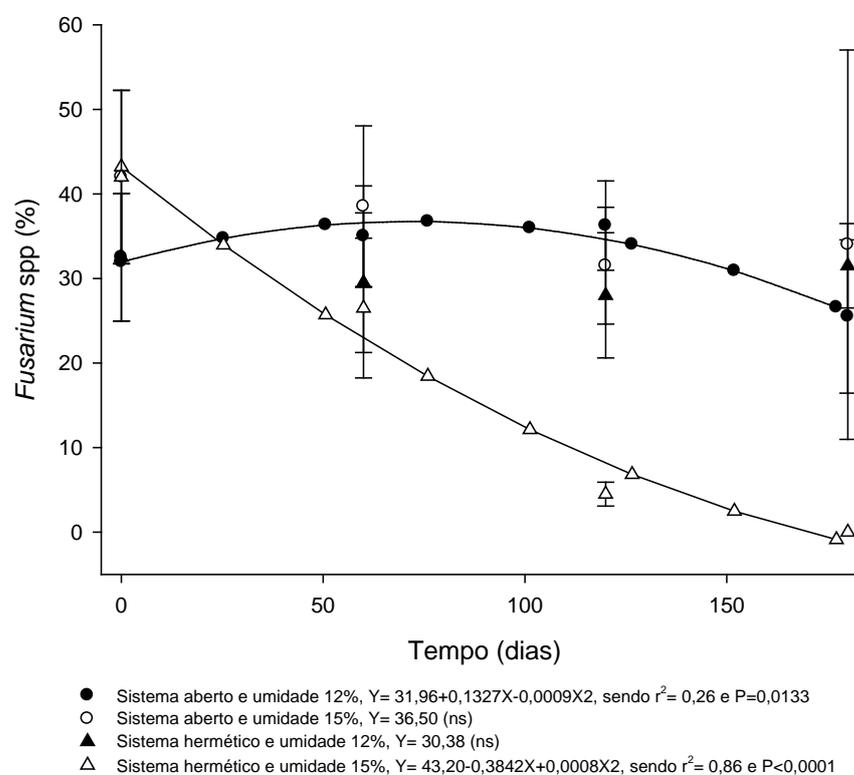


FIGURA 5. Incidência de *Fusarium* spp. (%), em grãos de milho, armazenados de forma convencional (aberto) e hermético, sob dois teores de água, durante 180 dias. Porto Alegre, RS. 2013.

No sistema hermético (Figura 5) a incidência do patógeno *Fusarium* spp. não variou significativamente ao longo do tempo para os grãos armazenados com 12% de umidade, com valor médio de contaminação de 30,38 %. Nos grãos com teor de água de 15% ocorreu redução ao longo do tempo de armazenamento ( $P < 0,0001$ ), não apresentando mais contaminação ao final dos 180 dias de armazenamento. Rupollo *et al.* (2006) estudando o armazenamento hermético de aveia em diferentes teores de umidade, observaram maior incidência nos maiores teores de água. Os mesmos autores observaram variação não significativa ao longo do tempo

de armazenagem. Porém, a contaminação de *Fusarium* spp. foi próxima a zero. Estes são resultados semelhantes aos observados neste estudo para o tratamento com 15% de umidade em condições herméticas.

Telles Neto *et al.* (2007), ao avaliar a viabilidade de *Fusarium graminearum* em sementes de trigo, durante o armazenamento, observaram redução na sua contaminação. Aos 12 meses de armazenamento a incidência foi de 0%.

Os resultados encontrados neste experimento podem ser observados por outros autores, que afirmam que em função da baixa disponibilidade de O<sub>2</sub>, no sistema de armazenamento hermético, ocorre redução no desenvolvimento de micro-organismos, sem a necessidade do uso de produtos químicos (Moreno *et al.* 2000; Aguiar *et al.* 2004; Quezada *et al.* 2006). Nos maiores teores de água esta redução é mais rápida em função da taxa respiratória dos grãos, serem maior, assim como a redução encontrada no tratamento hermético com 15% de umidade.

A análise de variância para a incidência fúngica do gênero *Aspergillus* spp. não apresentou variação significativa para a interação tripla, tempo x sistema x teor de água (P=0,0996). Porém, as interações duplas foram significativas, ou seja, tempo x sistema (P<0,0001) (Figura 6), tempo x teor de água (P<0,0001) (Figura 7) e sistema x teor de água (P=0,0006) (Figura 8).

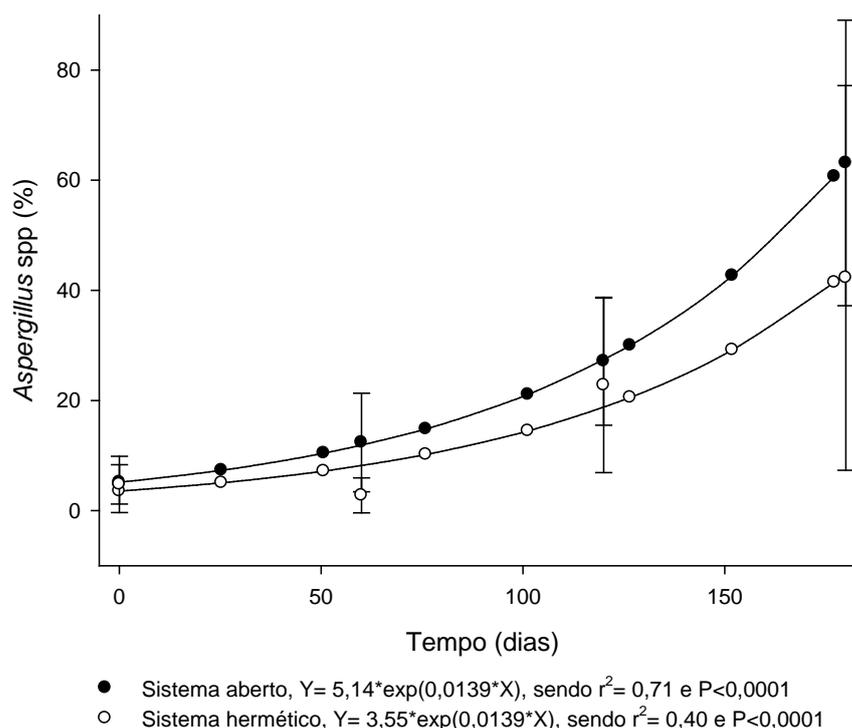


FIGURA 6. Incidência de *Aspergillus* spp. (%), em grãos de milho em dois sistemas de armazenamento, durante 180 dias. Porto Alegre, RS. 2013.

Ocorreu aumento significativo ( $P < 0,0001$ ) na incidência do gênero *Aspergillus* spp. durante o armazenamento de grãos de milho, para ambos os sistemas (Figura 6). Também, podemos observar que o sistema de armazenamento aberto (convencional), apresentou maior contaminação em relação ao sistema hermético.

Moreno *et al.* (2000) verificaram que alguns fungos aeróbicos, como *Aspergillus chevalieri* (Mangin), continuam seu crescimento quando a concentração de  $O_2$  é mantida em níveis inferiores a 1%. Provavelmente, isto foi o que aconteceu neste estudo, em concentrações baixas de oxigênio ocorreu crescimento de *Aspergillus* spp.

Espécies do gênero *Aspergillus* spp. são as primeiras a colonizar grãos e sementes no armazenamento e, posteriormente, ocorre o desenvolvimento de *Penicillium* spp. (Francisco & Usberti, 2008).

Ocorreu aumento exponencial significativo na incidência do gênero *Aspergillus* spp. ao longo da estocagem, sendo que este aumento é mais evidente no tratamento umidade de 15%, principalmente após 120 dias de armazenamento (Figura 7). Rupollo *et al.* (2006), avaliaram a incidência em grãos de aveia durante 12 meses de armazenagem em sistema hermético, onde observaram aumento na incidência deste gênero ao longo de seis meses de estocagem. Resultados semelhantes foram observados neste estudo.

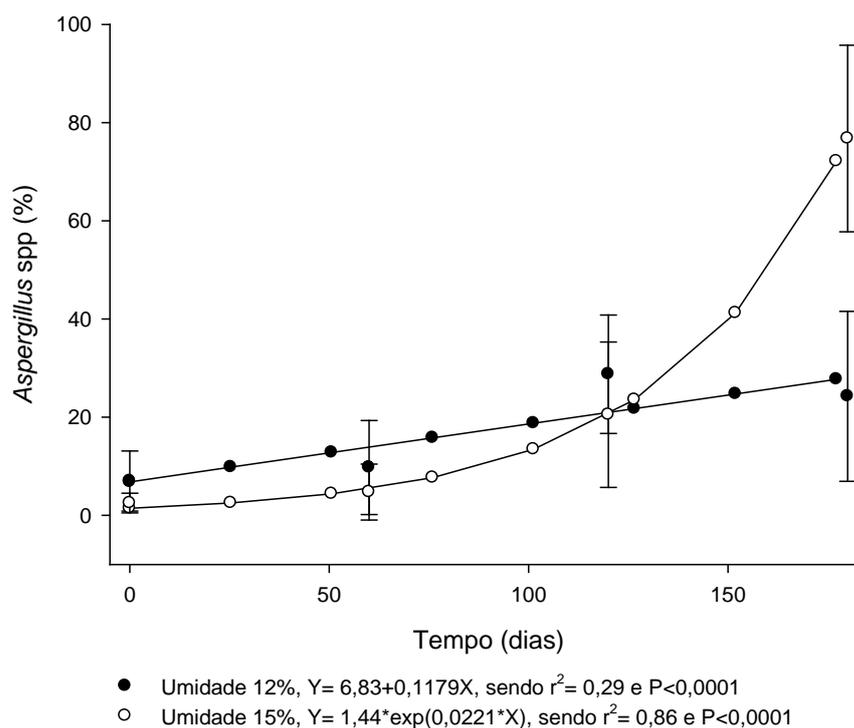


FIGURA 7. Incidência de *Aspergillus* spp. (%), em grãos de milho sob dois teores de água e dois sistemas, durante 180 dias de armazenamento. Porto Alegre, RS. 2013.

Quezada *et al.* (2006), num trabalho de armazenamento de milho em condições herméticas e não herméticas, com umidades de 14, 15, 16 e 17%,

observaram que no armazenamento hermético ocorreu menor incidência de *Aspergillus* spp. Quanto maior a umidade, maior a incidência, o que também foi observado neste estudo ao final da estocagem.

Um aumento significativo na incidência fúngica nos grãos de milho armazenados hermeticamente é determinado à medida que se aumenta a umidade do produto ( $P=0,0206$ ). No tratamento sistema convencional não ocorreu variação significativa em relação às umidades, sendo o valor médio de contaminação de 25,44% (Figura 8).

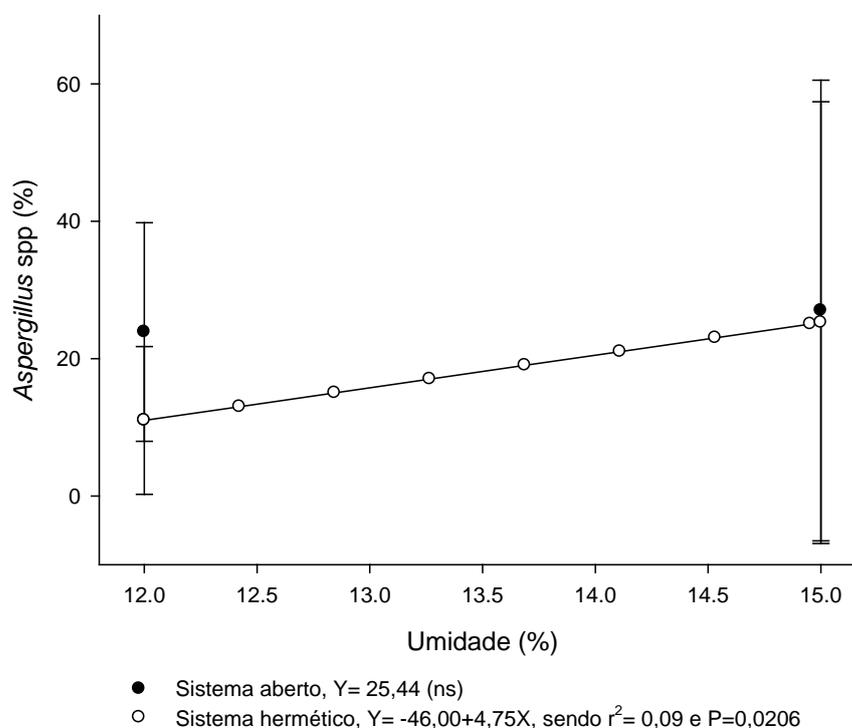


FIGURA 8. Incidência de *Aspergillus* spp. (%), em grãos de milho em dois sistemas de armazenamento e sob dois teores de água. Porto Alegre, RS. 2013.

Rupollo *et al.* (2006), avaliando a incidência fúngica em grãos de aveia armazenada durante 12 meses em sistema hermético, observaram aumento da contaminação por fungos do gênero *Aspergillus* spp. em umidades iniciais de

armazenamento de 15, 18 e 21 %, em comparação com umidades de 9 e 12 %, fato que foi observado no presente estudo.

A análise de variância da incidência de *Penicillium* spp. mostrou variação significativa para a interação tripla ( $P < 0,0001$ ). No sistema de armazenamento convencional, com teor de água de 15%, ocorreu aumento significativo deste fungo até 120 dias, com posterior redução até o final das avaliações (Figura 9). Para o tratamento com teor de água de 12%, armazenamento hermético, não ocorreu variação significativa ao longo do tempo, com uma incidência média de 34,88% (Figura 9).

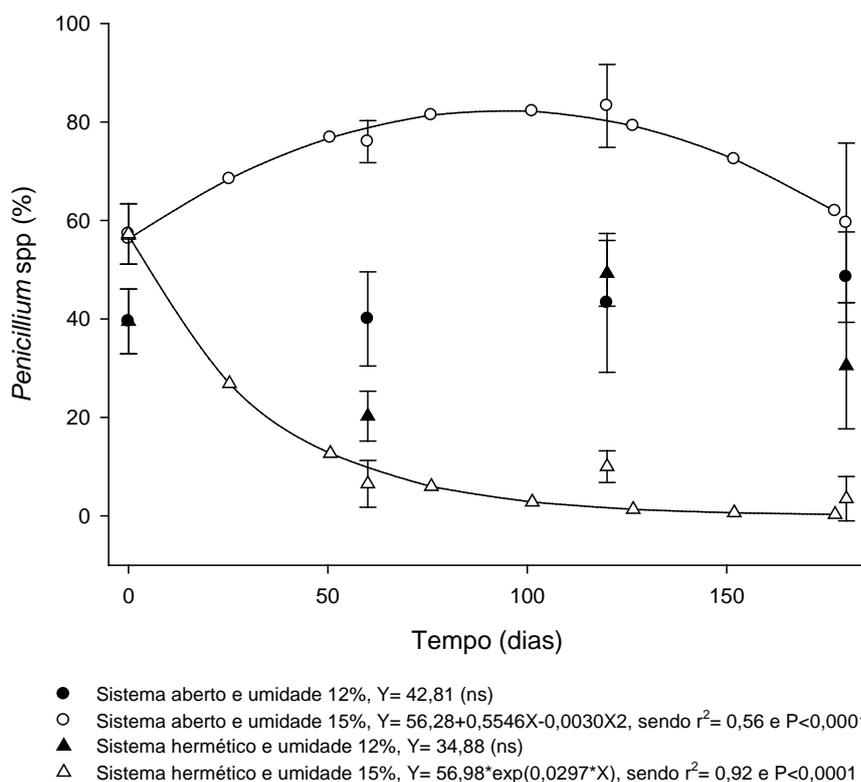


FIGURA 9. Incidência de *Penicillium* spp. (%), em grãos de milho, armazenados de forma convencional e hermético sob dois teores de água, durante 180 dias. Porto Alegre, RS. 2013.

Rupollo *et al.* (2006) observaram aumento na incidência do gênero *Penicillium* nas maiores umidades em grãos de aveia durante a estocagem, o que pode ser observado nos resultados deste trabalho.

Tanto no armazenamento hermético quanto no aberto (Figura 9), a variação foi significativa somente para o maior teor de água (15%). Ocorreu redução na contaminação deste fungo no teor de água de 15% no ambiente hermético até aproximadamente 60 dias de armazenamento e após esse período se manteve estável. Também podemos observar que no armazenamento hermético a contaminação foi inferior à observada no armazenamento convencional aos 180 dias de estocagem.

Conforme Rupollo *et al.* (2006), a aveia armazenada durante 12 meses em sistema hermético proporcionou aumento da contaminação de *Penicillium* spp. em umidades iniciais de armazenamento de 15, 18 e 21 %.

De acordo com Miller & Golding (1949), a concentração de oxigênio necessária para o crescimento de várias espécies de fungos é extremamente baixa. O crescimento de algumas espécies de *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp., de acordo com estes autores, é reduzido somente em concentrações de oxigênio inferiores a 0,5%. Porém, a inter-relação entre atmosfera modificada e outras condições ambientais são também importantes e a resposta dos fungos ao baixo nível de oxigênio, ou alto nível de gás carbônico, pode ser afetada de forma adversa pelas mudanças do tipo de substrato, umidade relativa, temperatura, competição microbiana, dentre outros.

De acordo com Sweeney & Dobson (1998), durante um longo período de armazenamento, *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp progressivamente substituem os fungos de campo. Os autores, no entanto, não especificam quanto tempo seria este longo período de armazenamento.

Para Magan & Lacey (1984), os fungos de campo e de armazenamento são notavelmente tolerantes à baixa concentração de O<sub>2</sub> (0,14%) e a níveis de CO<sub>2</sub> superiores a 15% quando a atividade de água (Aw) é alta (0,98). Esses resultados mostram que pode existir crescimento de fungos durante o armazenamento, mesmo que em condições de baixos níveis de oxigênio no ambiente, evidenciando que outros fatores são, muitas vezes, mais importantes que os níveis de oxigênio e gás carbônico durante o armazenamento desses grãos.

#### **4.1.2 Análises físicas**

Quanto ao conteúdo de umidade dos grãos, a variação foi significativa para a interação tripla (P=0,000137).

Para o armazenamento convencional (Figura 10) a variação de umidade foi significativa (P=0,0005) para o teor de água de 12%, sendo que ocorreu aumento até aproximadamente 60 dias de armazenamento. Posteriormente, este tratamento apresentou uma redução até o final, sendo que esta variação ocorreu em função da tendência dos grãos entrarem em equilíbrio higroscópico com o ambiente de estocagem.

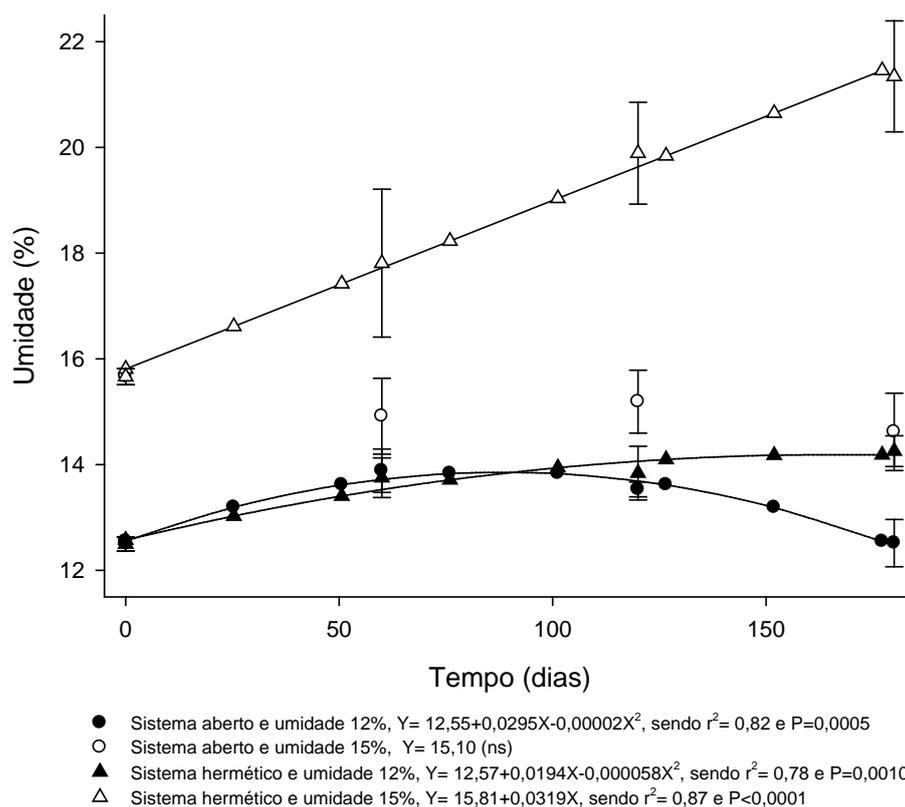


FIGURA 10. Umidade (%), em grãos de milho armazenados de forma convencional (aberto) e hermético sob dois teores de água, durante 180 dias. Porto Alegre, RS. 2013.

Este efeito da perda ou ganho de água em função das condições ambientais também foi observado por autores como Alencar *et al.* (2009); Elias *et al.* (2009b) e Schuh *et al.* (2011).

Para os grãos armazenados em sistema convencional e com umidade de 15%, não foi observada variação significativa ao longo do tempo de armazenamento, apresentando umidade média de 15,1%, ou seja, entrou em equilíbrio higroscópico com as condições do ambiente, não variando a umidade.

No sistema hermético (Figura 10) ocorreu variação significativa para os dois teores de água, sendo que a umidade de 12% apresentou aumento significativo ( $P = 0,0010$ ), com uma variação entre 12,5 e 14,26%. Para a umidade de 15%, também ocorreu aumento significativo ( $P = 0,0001$ ), com

variação de 15,6 % no início do armazenamento para 21,34% de umidade ao final dos 180 dias de estocagem. Esta maior variação no teor de água no tratamento 15% pode ter ocorrido em função do maior crescimento de fungos (Figuras 5 a 9) e, também, por atividade respiratória de grãos e fungos ocorrido neste teor de água. Isto pode ter levado a condensação no interior dos bags, elevando a umidade destes grãos. Vale ressaltar que ao final do período de estocagem os grãos estavam acima do limite máximo que é de 14% para a comercialização de grãos de milho no Brasil (Brasil, 2011).

Faroni *et al.* (2009), estudando armazenamento de soja por seis meses em silo bolsa com duas umidades (13,4 e 17,4 %), observaram que os teores de água se mantiveram próximos aos valores observados no início da estocagem. Estes resultados são semelhantes aos observados para o tratamento umidade de 12%.

A análise de variância para a massa específica mostrou efeito significativo para a interação tripla, tempo x sistema x umidade ( $P=0,00435$ ), demonstrando que as três variáveis influenciaram nos resultados. Porém, não ocorreu variação significativa ao longo do tempo para o sistema de armazenamento convencional na umidade de 12%, apresentando massa específica média de  $657,09 \text{ kg.m}^{-3}$  (Figura 11).

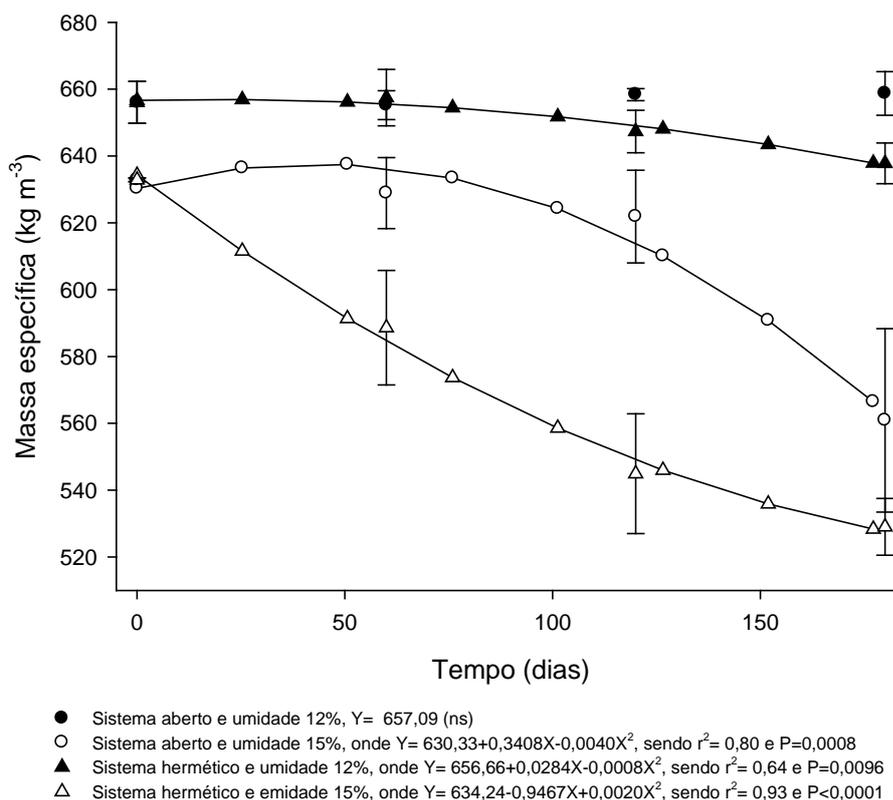


FIGURA 11. Massa específica ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) em grãos de milho, armazenados de forma convencional (aberto) e hermético em dois teores de água durante 180 dias. Porto Alegre, RS. 2013.

Para a umidade de 15% e armazenamento convencional, a massa específica variou significativamente ( $P=0,0008$ ), apresentando redução ao longo do período de armazenamento. No começo do experimento a mesma foi de  $632,88 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  e ao final da estocagem foi de  $560,88 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , apresentando redução de 11,38% em seis meses de estocagem. Isto ocorreu em função do maior carunchamento nestes grãos e presença de micro-organismos. Diversos autores, como Almeida Filho *et al.* (2002); Silva *et al.* (2003); Alencar *et al.* (2008) e Ferrari Filho *et al.* (2012), mencionam que os insetos reduzem a massa específica em grãos durante o armazenamento em função de se alimentarem da parte interna dos grãos.

Conforme Muir *et al.* (2001), a deterioração dos produtos armazenados ocorre devido ao processo de respiração dos grãos e da microflora durante a armazenagem, pois parte da matéria comercializável é consumida. Além disso, o processo respiratório dos grãos ocasiona perda pequena de massa quando comparada à perda ocasionada pela contaminação de insetos, fungos e bactérias presentes nos grãos armazenados. Entretanto, essa perda de peso possui elevada relevância no momento da comercialização do produto (Brooker *et al.*, 1992). Sendo assim, pode-se observar que estes fatores, como umidade alta dos grãos, presença de insetos e fungos contribuíram para a perda de massa e aumento da deterioração dos grãos analisados neste estudo.

O resultado encontrado no armazenamento convencional com umidade mais alta (15%) mostra a importância de se armazenar grãos de forma convencional com baixa umidade, ou seja, secos. Grãos com umidades menores (12%) são menos propensos ao ataque de insetos durante o armazenamento.

Para o sistema de armazenamento hermético ocorreu variação significativa para a massa específica em ambos os teores de água. Para o teor de água de 12% ( $P=0,0096$ ) ocorreu redução na massa específica de  $656,05 \text{ kg.m}^{-3}$ , no início do experimento, para  $637,81 \text{ kg.m}^{-3}$ , ao final da armazenagem, com redução de 2,78%, enquanto no armazenamento hermético com 15% ( $P<0,0001$ ) de umidade esta variação foi de  $632,88 \text{ kg m}^{-3}$  a  $529,03 \text{ kg.m}^{-3}$ , com redução de 16,41%.

Esta redução na massa específica na maior umidade ocorreu em função da incidência de fungos, a qual foi elevada a partir dos 60 dias de

armazenamento. Ao final do experimento 100% dos grãos estavam mofados. Outro fator importante é que estes grãos aumentaram a umidade para valores próximos a 21% (Figura 10), e isto aumentou a atividade respiratória destes grãos e, por conseqüência, a perda de massa.

#### 4.1.3 Análise Tecnológica

Na análise tecnológica, os resultados obtidos na análise de variância para grãos ardidos (Figura 12) evidenciaram variação significativa para a interação tripla ( $P=0,0433$ ).

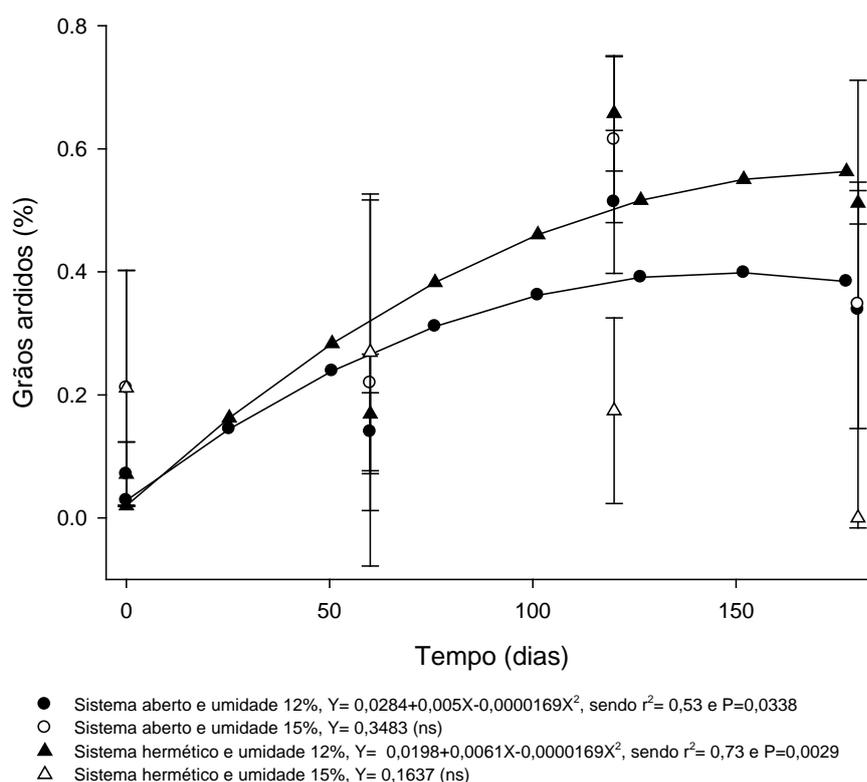


FIGURA 12. Grãos de milho ardidos (%), armazenados de forma convencional (aberto) e hermético sob dois teores de água, durante 180 dias. Porto Alegre, RS. 2013.

Independentemente do sistema de armazenagem, os grãos armazenados com 15% de umidade não apresentaram variação significativa

no percentual de grãos ardidos ao longo do tempo. As médias foram de 0,35 e 0,16%, para sistema de armazenamento convencional e hermético, respectivamente. Para os grãos armazenados com 12% de umidade, ocorreu aumento deste defeito tanto para armazenamento aberto ( $P=0,0338$ ) quanto para hermético ( $P=0,0029$ ). Foi determinada uma variação de 0,07 a 0,51 % para o sistema aberto e de 0,07 a 0,66 % para o sistema hermético.

Conforme a Instrução Normativa do MAPA N° 60 (Brasil, 2011), o percentual máximo de tolerância para grãos ardidos para milho ser classificado como tipo 1 (melhor qualidade) é de 1%. Desta forma, todos os tratamentos, ao final do período de estocagem neste ensaio, em relação a este tipo de defeito (porcentagem de grãos ardidos), podem ser classificados como tipo 1.

Para o total de grãos avariados (Figura 13), o que inclui os grãos ardidos, chochos ou imaturos, fermentados, germinados, gessados e mofados houve variação significativa para a interação tripla ( $P=0,00001$ ).

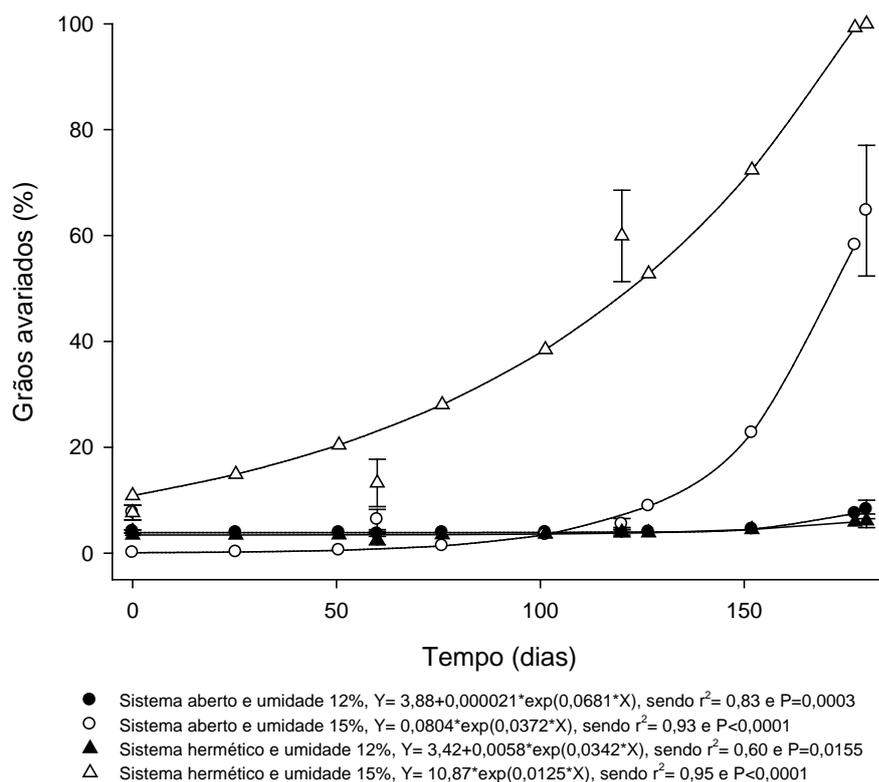


FIGURA 13. Grãos de milho avariados (%), armazenados de forma convencional (aberto) e hermético sob dois teores de água, durante 180 dias. Porto Alegre, RS. 2013.

Observou-se que para ambos os teores de água (12 e 15%), o percentual de grãos avariados aumentou ao longo tempo, tanto no sistema hermético como no convencional. Para o tratamento de 12% em ambiente convencional ( $P=0,0003$ ) foi observada variação de 4,11 a 8,27% e no sistema hermético com 12% de umidade ( $P=0,0155$ ) a variação foi de 4,11 a 6,12%, ambas com variação próxima. Já para a umidade de 15% houve expressivo aumento ao longo do tempo, tanto no armazenamento hermético ( $P < 0,0001$ ) como no convencional ( $P < 0,0001$ ). Foi determinada variação de 7,67 a 54,71% de grãos avariados no sistema aberto e de 7,67 a 100% no sistema hermético.

De acordo com a normativa do MAPA N° 60 (Brasil, 2011), o limite máximo de tolerância para grãos avariados de milho serem classificados

como tipo 1 é de até 6%. Para classificação como tipo 2 até 10% dos grãos podem apresentar estes defeitos. Para tipo 3 até 15% e fora de tipo até 20% podem ter avarias. Sendo assim, os grãos armazenado no sistema aberto e hermético, com umidade de 12%, aos 180 dias, seriam classificados como do tipo 2. Já para a umidade de 15%, no tratamento hermético, já aos 120 dias, e no sistema aberto ao final do armazenamento, aos 180 dias, seriam classificados como fora de tipo. Essa queda na qualidade dos grãos mais úmidos, em ambos os sistemas, está relacionado à deterioração dos grãos, devido principalmente à porcentagem de grãos fermentados e mofados, o que contribuiu para o alto índice encontrado de grãos avariados.

No sistema hermético, com a umidade mais alta (15%), foi observado ao longo do armazenamento intensa condensação de umidade no interior das unidades de armazenamento. Esta situação contribuiu para a degradação dos grãos, aumentando a porcentagem de grãos avariados devido ao mofo produzido.

Para grãos carunchados (Figura 14), houve interação tripla significativa ( $P=0,006$ ). Pode-se observar o aumento considerável do ataque de insetos no sistema aberto ao longo de tempo de armazenamento em ambas as umidades. No teor de água de 12% ( $P<0,0001$ ), houve variação de 0 a 5,89% e para a umidade de 15% ( $P<0,0001$ ) de 0 a 4,70% de grãos carunchados. No sistema hermético a porcentagem de grãos carunchados foi praticamente nula.

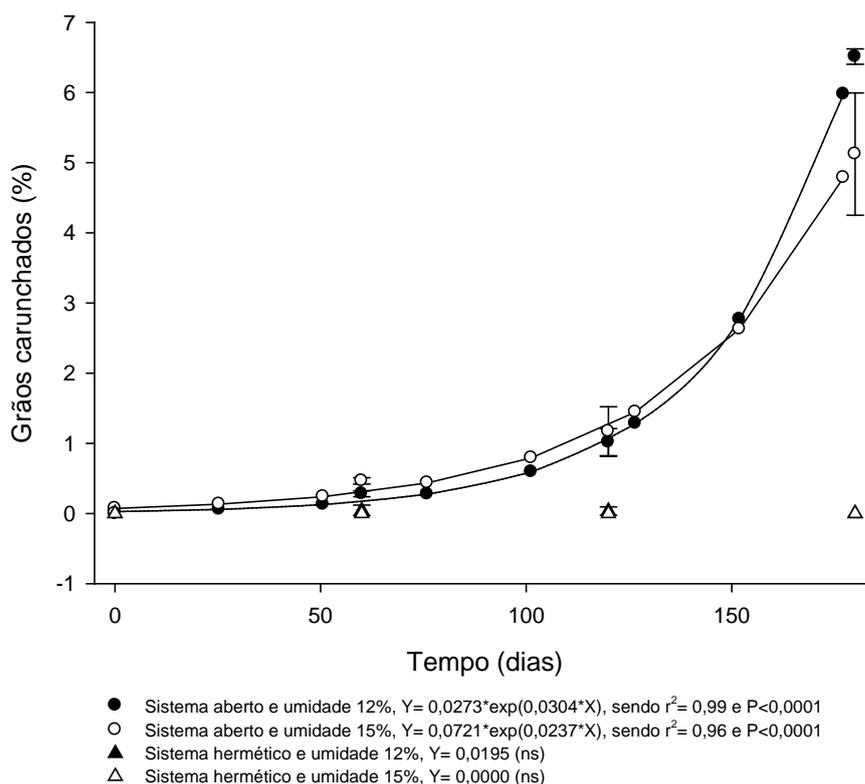


FIGURA 14. Grãos de milho carunchados (%), armazenados de forma convencional (aberto) e hermético sob dois teores de água, durante 180 dias. Porto Alegre, RS. 2013.

O limite máximo de tolerância para este defeito é de 1% para o milho ser classificado como tipo 1. Os limites para os demais tipos são de 3% para tipo 2, de 4% para tipo 3 e de 8% para fora de tipo.

No sistema aberto, aos 180 dias, os grãos de milho seriam classificados como fora de tipo. Se os grãos apresentarem insetos vivos, não poderão ser comercializados. Neste caso, devem ser expurgados ou submetidos à outra forma eficaz de controle de insetos, antes de sua comercialização. Os grãos armazenados neste sistema foram mais suscetíveis ao ataque de insetos, apresentando maior porcentagem de carunchamento que os grãos armazenados hermeticamente.

No sistema hermético não ocorreram variações significativas ao longo do armazenamento. Conforme White & Leesch (1996), com a mudança da

atmosfera durante o armazenamento hermético é possível criar um ambiente que não seja favorável ao desenvolvimento dos insetos.

#### **4.1.4 Análises químicas**

As variáveis teor de cinzas ( $P=0,0086$ ), teor de proteínas ( $P=0,0147$ ) e teor de acidez do óleo ( $P=0,0234$ ), apresentaram variação significativa na interação tripla. Já para o teor de gordura, foram observados apenas efeitos das interações duplas tempo x sistema ( $P=0,0158$ ) e tempo x teor de água ( $P<0,001$ ).

Para o teor de cinzas (Figura 15) apenas o sistema aberto e com teor de água de 12% apresentou aumento significativo nesta variável ao longo do tempo ( $P<0,0001$ ), variando de 1,52 a 1,71%.

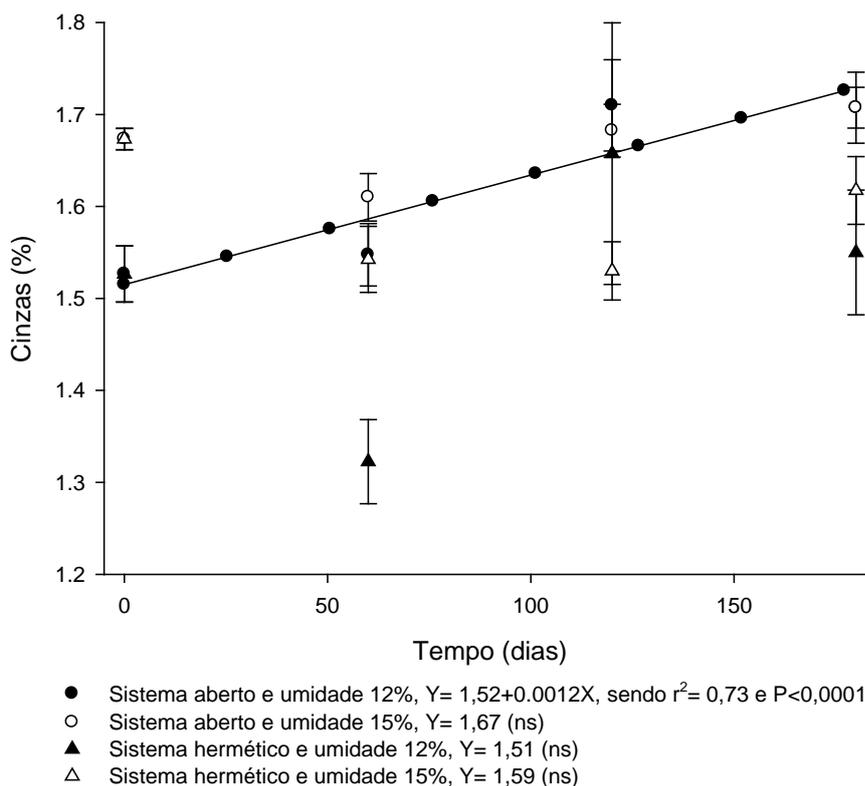


FIGURA 15. Teor de cinzas (%), em grãos de milho armazenados de forma convencional (aberto) e hermético sob dois teores de água, durante 180 dias. Porto Alegre, RS. 2013.

Conforme Salunkhe *et al.* (1985), o conteúdo mineral que representa o teor de cinzas é, entre os constituintes químicos dos grãos de milho, a fração que apresenta as menores variações no seu conteúdo total durante o armazenamento. Esta observação pode justificar a ausência de variação encontrada nos sistemas ao longo do armazenamento.

A atividade metabólica dos grãos e dos micro-organismos associados consomem a matéria orgânica, metabolizando-a até  $CO_2$ , água e outros produtos, com liberação de calor, podendo transformar estruturalmente a composição mineral sem alterar o seu conteúdo total. Dessa forma, a determinação do teor de cinzas assume valores proporcionalmente maiores à medida que a matéria orgânica é consumida.

Foi observado aumento no teor de cinzas ao longo dos 180 dias no sistema aberto e com umidade de 12%. Já para a umidade de 15% neste sistema a média foi de 1,67%. O aumento da degradação e perda da qualidade dos grãos no sistema aberto pode-se justificar pelo ataque de pragas.

Quanto ao teor de proteína bruta (Figura 16), apenas os sistemas aberto e com umidade de 12% ( $P=0,0001$ ) e hermético com umidade de 15% ( $P=0,0042$ ) apresentaram variação significativa, onde foi determinada perda de proteína ao longo do período de armazenamento. No sistema aberto com 12% houve redução de 10,15% para 9,62% no teor de proteína bruta e no sistema hermético com 15% de umidade a variação de proteína bruta foi de 10,06% para 9,39%.

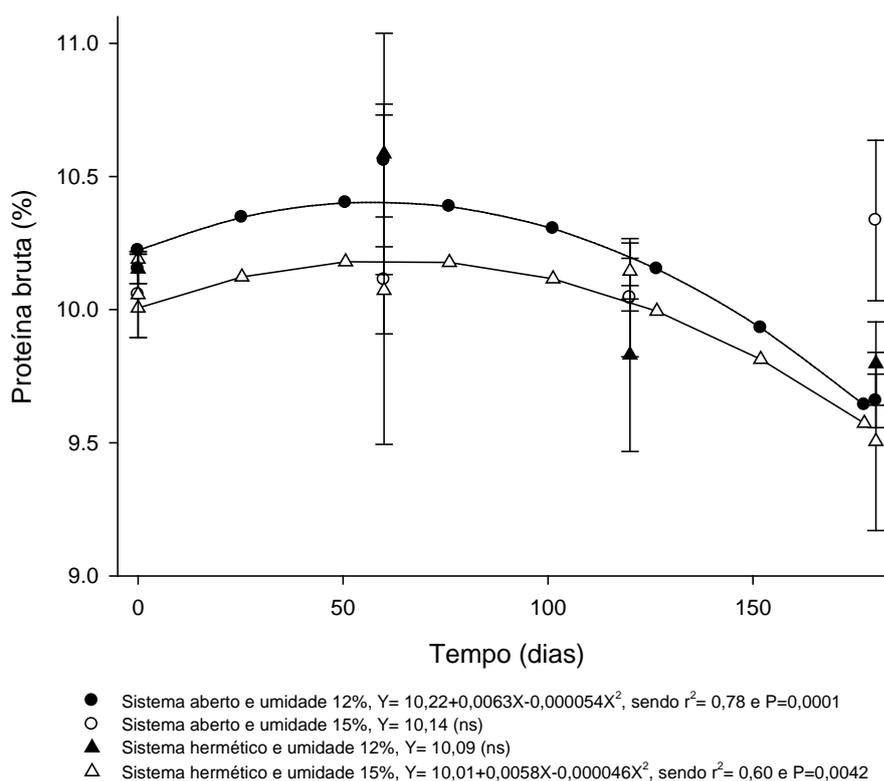


FIGURA 16. Proteína bruta (%), em grãos de milho armazenados de forma convencional (aberto) e hermético sob dois teores de água, durante 180 dias. Porto Alegre, RS. 2013.

O aumento da umidade dos grãos, a presença de fungos no sistema hermético com 15% de umidade e a presença de insetos e fungos no

sistema convencional com 12% de umidade levaram ao aumento da taxa respiratória destes grãos, ocasionando maiores perdas qualitativas e, conseqüentemente, redução no teor de proteínas.

A redução no teor de proteínas observado nestes tratamentos é consequência do processo respiratório, que é acompanhado pelo consumo de substâncias de reserva. De acordo com Puzzi (2000), os principais fatores que alteram a intensidade do processo respiratório são o teor de água dos grãos e a presença de micro-organismos, o que corrobora os resultados encontrados neste estudo.

Na análise de gordura, pode-se observar que ocorreu diferença para duas interações duplas, tempo x sistema ( $P=0,015865$ ) e tempo x teor de água ( $P<0,0001$ ). Na análise de regressão, a interação tempo x sistema não diferiram entre si (Figura 17), com médias de 3,87% no sistema aberto e 3,79% no sistema hermético.

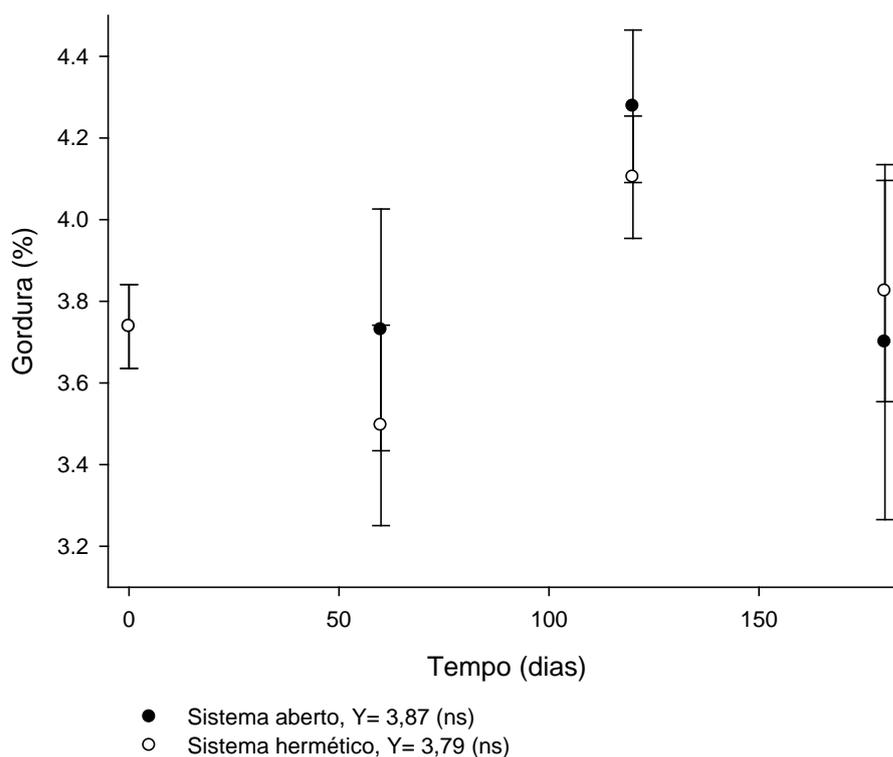


FIGURA 17. Gordura (%), em grãos de milho armazenados de forma convencional (aberto) e hermético sob dois teores de água, durante 180 dias. Porto Alegre, RS. 2013.

Em relação à interação tempo x teor de água ocorreram diferenças ao longo do tempo (Figura 18). Na umidade de 12% foi observado incremento no teor de gordura, com variação de 3,52 a 4,09% ( $P < 0,0001$ ). Já na umidade de 15% houve aumento até os 60 dias, com posterior declínio a partir dos 120 dias de armazenamento ( $P = 0,0043$ ).

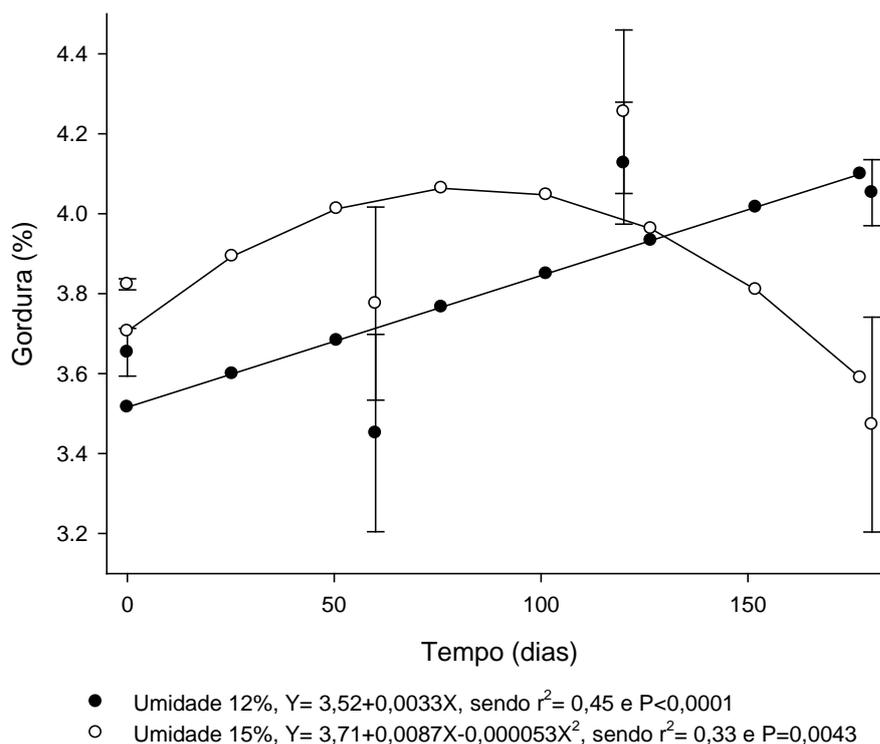


FIGURA 18. Gordura (%), em grãos de milho armazenados de forma convencional (aberto) e hermético sob dois teores de água, durante 180 dias. Porto Alegre, RS. 2013.

O aumento no teor de gordura ocorrido ao longo dos 180 dias, para os grãos armazenados com umidade de 12%, também, foi observado por Hou & Chang (2004) em grãos de soja armazenados por nove meses. Porém, incrementos no teor de gordura em grãos durante longos períodos de armazenamento são desconhecidos e por esta razão os autores não justificaram esta observação.

A redução do teor de gordura após os 120 dias de estocagem, observada para os grãos armazenados com umidade de 15%, pode estar relacionada com a degradação de lipídios que ocorre devido à deterioração dos grãos. Conforme Rupollo *et al.* (2006), a velocidade das alterações dos lipídeos depende da umidade, da temperatura e do tempo de

armazenamento. Sendo assim, altos teores de umidade podem resultar na deterioração dos grãos em longos períodos de armazenamento.

Pomeranz (1974) observou em grãos de soja que os lipídeos caracterizam a fração constituinte mais suscetível à deterioração dos grãos durante o armazenamento, devido à redução do seu conteúdo total e/ou pela suscetibilidade a alterações estruturais. A degradação que ocorre durante o armazenamento por processos bioquímicos, como a respiração ou processos de oxidação, resulta na diminuição dos lipídeos.

Quanto ao teor de acidez do óleo (Figura 19), para a umidade de 12%, tanto no ambiente convencional ( $P < 0,001$ ) como no hermético ( $P = 0,00003$ ), houve comportamento similar ao longo do armazenamento, ocorrendo aumento da acidez até os 120 dias com conseqüente queda aos 180 dias de armazenamento.

Níveis mais altos de acidez foram encontrados para ambos os sistemas quando os grãos foram armazenados com maior umidade. No sistema aberto e com umidade de 15% ( $P < 0,0001$ ), a acidez teve aumento até os 60 dias de armazenamento e após se manteve estável até o final do período. O maior aumento observado foi no sistema hermético com teor de água de 15% ( $P = 0,00003$ ), variando de 1,61% a 3,23%, ou seja, incremento superior a 100% no teor de acidez do óleo.

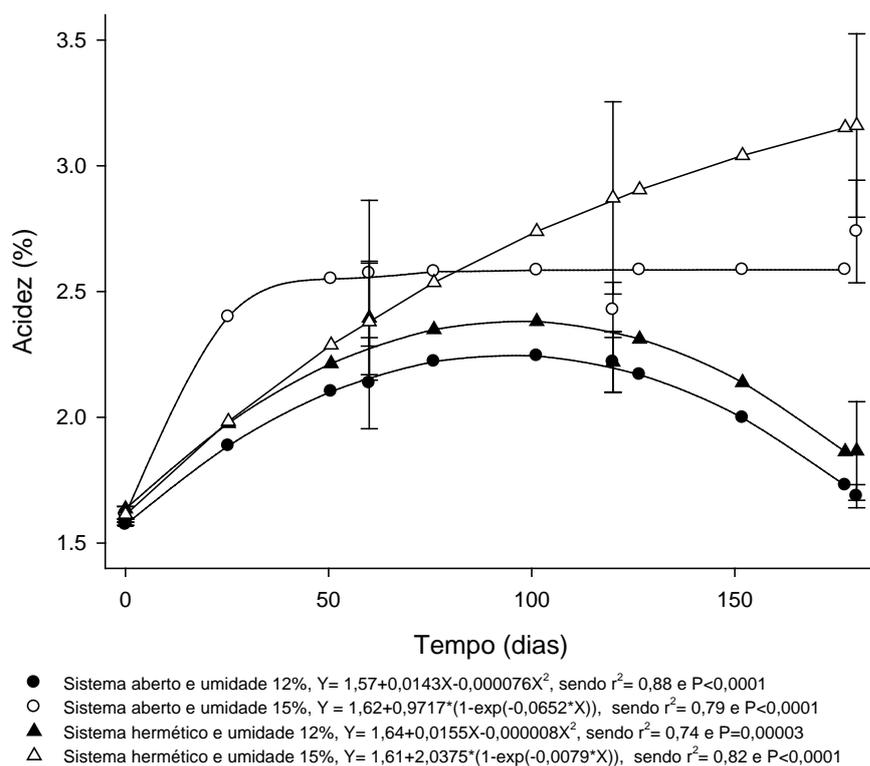


FIGURA 19. Acidez do óleo (%), em grãos de milho armazenados de forma convencional (aberto) e hermético sob dois teores de água, durante 180 dias. Porto Alegre, RS. 2013.

A acidez aumenta com a deterioração dos grãos no armazenamento, sendo o seu aumento utilizado como parâmetro de conservabilidade (Elias, 2008). O aumento de ácidos graxos livres dos lipídios ocorre através da ação de enzimas lipases, peroxidases e fosfolipases, presentes nos grãos ou produzidas pela microflora associada, por ácaros ou insetos que contribuem para o rompimento das ligações éster dos triglicerídios (Zadernowski *et al.*, 1999).

Resultados semelhantes foram observados por Rupollo *et al.* (2004) em trabalho com grãos de aveia, utilizando umidades de 8, 11 e 14% em sistema convencional e hermético de armazenagem. Os autores indicam que o aumento do índice de acidez foi proporcional à umidade de

armazenamento e com o tempo de armazenamento. Os aumentos foram observados até o nono mês de armazenagem.

Os resultados encontrados no presente trabalho também são semelhantes aos resultados relatados por outros autores como Ekstrand *et al.* (1992) e Molteberg *et al.* (1995). Estes afirmaram que, em grãos de aveia não danificados, armazenados à temperatura ambiente e com umidade abaixo de 12%, ocorrem menores variações nos teores de acidez. Porém, maiores teores de umidade, bem como desagregação parcial ou total do grão são condições suficientes para a ação de enzimas, principalmente a lipase.

#### **4.1.5 Teor de Oxigênio**

Em relação aos teores de oxigênio observados neste estudo (Figura 20), observou-se forte efeito na interação tempo x umidade ( $P < 0,0000001$ ), ocorrendo expressiva redução aos 60 dias, variando de 7,40 a 3,47% de  $O_2$  na umidade de 12%.

Para a umidade mais alta (15%), foi observada intensa redução do oxigênio, apresentado valores próximos à zero aos 60 dias de armazenamento. A variação média encontrada nesta umidade, a partir dos 60 dias, foi de 0,6 a 0,1% de  $O_2$ .

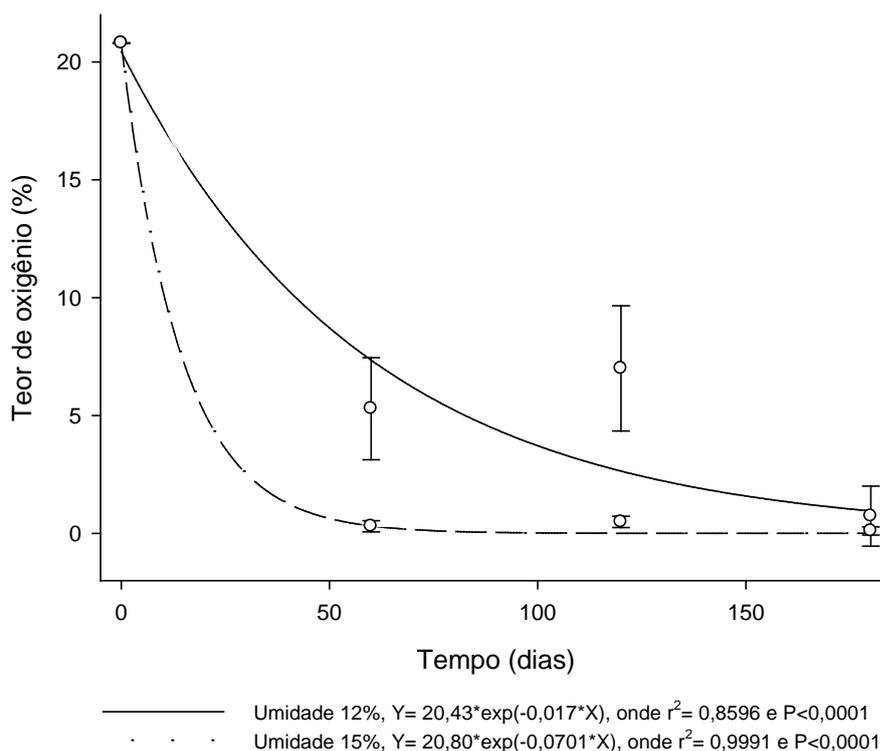


FIGURA 20. Teor de oxigênio (%) no sistema hermético sob dois teores de água, durante 180 dias. Porto Alegre, RS. 2013.

No armazenamento hermético, os organismos vivos que compõem o ecossistema (grãos, insetos e micro-organismos), consomem o oxigênio por meio de processo respiratório e liberam gás carbônico e água. Com isso, a concentração de O<sub>2</sub> diminui até que os organismos aeróbicos parem de respirar (Muir *et al.*, 2001). A respiração destes organismos no interior das unidades armazenadoras diminui o oxigênio de 21% para cerca de 1-2% (Jayas & White, 2003).

Aguiar *et al.* (2004) observaram que o tempo necessário para o consumo do O<sub>2</sub> em um ambiente é diretamente proporcional ao teor de água dos produtos armazenados. Com os grãos mais úmidos ocorre aumento da taxa respiratória dos grãos e dos demais micro-organismos vivos presentes na massa de grãos, consumindo o O<sub>2</sub> de forma mais rápida. Tais afirmações estão de acordo com os resultados encontrados para este estudo, onde o

ambiente com grãos mais úmidos apresentou o maior consumo de oxigênio no menor intervalo de tempo, devido á alta taxa respiratória destes grãos.

Comportamento semelhante também foi descrito por Weinberg *et al.* (2008), que ao avaliar a influência do teor de água de grãos de milho nos níveis de oxigênio durante o armazenamento hermético, constataram que a taxa de respiração aumenta com o teor de umidade dos grãos, mostrando que níveis mais baixos de oxigênio são observados em ambientes com grãos úmidos.

## **4.2 Experimento 2**

### **4.2.1 Teor de Oxigênio**

Na análise de variância, para a variável teor de oxigênio, constatou-se variação significativa entre o tempo zero (20,8%) e os demais tempos de avaliação ( $P=0,00001$ ). Entre a avaliação aos cinco dias e a avaliação aos 50 dias não ocorreram variações significativas durante o armazenamento dos grãos de milho. A concentração de oxigênio entre os 5 e 50 dias, variou de 3,86 a 6,1% (Figura 21).

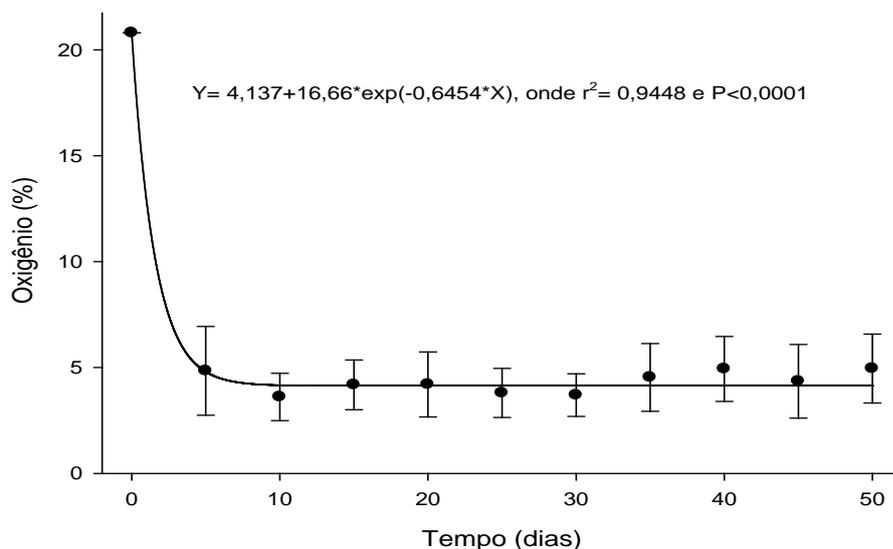


FIGURA 21. Teor de oxigênio (%) em milho, armazenados de forma hermética e infestados com *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum*, durante 50 dias. Porto Alegre, RS. 2013.

Conforme Muir *et al.* (2001), no armazenamento hermético os organismos vivos, que compõem o ecossistema consomem o oxigênio por meio de processo respiratório, ocorrendo a redução do oxigênio e a alteração da atmosfera gasosa no interior das bolsas. Aguiar *et al.* (2004) observaram que o tempo necessário para o consumo do  $O_2$  em um ambiente é diretamente proporcional ao teor de água e temperatura dos produtos armazenados. Como não ocorreram grandes variações na umidade dos grãos, a redução do oxigênio não foi tão drástica em relação aos teores de oxigênio do experimento 1.

#### 4.2.2 Mortalidade e sobrevivência dos insetos

Em relação à mortalidade dos insetos durante 50 dias de armazenamento, pelo teste F foi observado que houve efeito significativo somente entre os sistemas, sendo que o sistema hermético foi mais eficiente no controle de ambas as espécies (Tabela 1). No ambiente com atmosfera modificada a mortalidade encontrada foi de 78,5% para *Sitophilus zeamais* e de 70% para *Tribolium castaneum*. Já no tratamento convencional, a mortalidade foi de apenas 14% para *S. zeamais* e de 20,5% para *T. castaneum*. A mortalidade observada no armazenamento convencional pode estar relacionada com a idade dos insetos utilizados neste experimento, que podem ter morrido de forma natural ao completarem seu ciclo de vida. A longevidade desta espécie é de aproximadamente 140,5 dias para fêmeas e de 142 dias para machos (Sousa *et al.*, 2009).

TABELA 1. Valores médios de mortalidade de *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum* no armazenamento convencional e hermético, durante 50 dias. Porto Alegre, RS. 2013.

Tratamento	Mortalidade (%)			
	<i>Sitophilus zeamais</i>		<i>Tribolium castaneum</i>	
	Média	EP	Média	EP
Hermético	78,5 a*	9,6	70,0 a*	11,6
Não hermético	14,0 b*	5,0	20,5 b*	4,5

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ) e com asterisco (\*), na linha, não diferem entre si pelo teste t ( $p \leq 0,05$ ).

Quanto à sobrevivência, esta foi maior no sistema convencional para ambas as espécies de insetos. A porcentagem de insetos vivos no sistema de armazenamento convencional, para a espécie *S. zeamais* foi de 86% e de 79,5 % para a espécie *T. castaneum* (Tabela 2).

TABELA 2. Valores médios de sobrevivência de *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum* no armazenamento convencional e hermético, durante 50 dias. Porto Alegre, RS. 2013.

Tratamento	Sobrevivência (%)			
	<i>Sitophilus zeamais</i>		<i>Tribolium castaneum</i>	
	Média	EP	Média	EP
Hermético	21,5 b*	9,6	30,0 b*	11,6
Não hermético	86,0 a*	5,0	79,5 a*	4,5

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ) e com asterisco (\*), na linha, não diferem entre si pelo teste t ( $p \leq 0,05$ ).

Como o teor de oxigênio médio durante os 50 dias foi em torno de 5% no ambiente hermético (Figura 22), acredita-se que este valor foi suficiente para controlar os insetos de forma satisfatória em relação ao armazenamento convencional, embora esta mortalidade não tenha atingido 100%.

Conforme Moreno *et al.* (2000), os insetos morrem quando a porcentagem do ar intergranular chega a 3% ou menos de oxigênio. No estudo da mortalidade de *S. zeamais* em milho armazenado hermeticamente, este autor afirma que os insetos são os que mais consomem oxigênio, seguidos pelos fungos e posteriormente pelos grãos. Assim, o consumo contínuo de oxigênio pelos insetos adultos e fungos cria um ambiente desfavorável, pois o processo de respiração consome  $O_2$  e produz  $CO_2$ , tornando-se letal aos insetos, dependendo da concentração. Neste caso, o maior responsável pela morte dos insetos em atmosfera controlada é a falta de oxigênio (Fleurat-Lessard, 2002).

Para um controle efetivo, os níveis de  $O_2$  devem ser menores que 3% e, preferivelmente, menor que 1%, se um controle rápido dos insetos é necessário (Navarro, 2012). Desse modo, como os níveis de oxigênio

estavam acima de 3%, chegando até 6% no período de 50 dias, isso pode ter influenciado para a mortalidade não ter atingido níveis mais próximos de 100%.

Bailey (1955) observou que embora a supressão do desenvolvimento de insetos tenha sido observada em ambientes com cerca de 5% de  $O_2$ , o tempo de exposição necessário para eliminar os insetos é maior, o que pode explicar a mortalidade observada nos 50 dias de análises deste estudo.

### 4.2.3 Análises físicas

Na análise do teor de água dos grãos (Figura 22) foi observada apenas a variação significativa para a variável tempo ( $P=0,000011$ ). Ao início da armazenagem a umidade foi de 12,68% e ao final dos 50 dias de armazenamento a umidade foi de 13,31%.

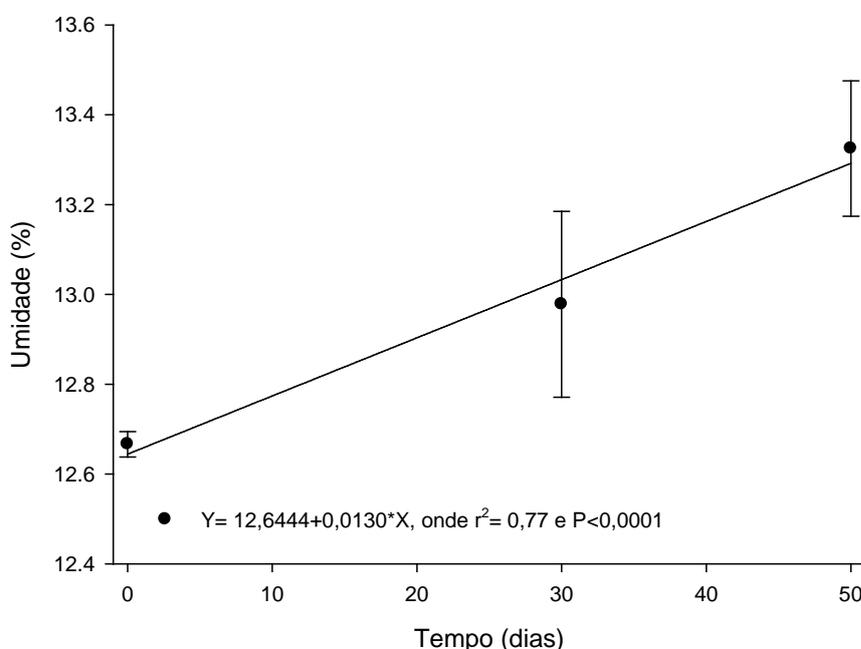


FIGURA 22. Umidade (%), em grãos de milho armazenados e infestados com *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum*, durante 50 dias. Porto Alegre, RS. 2013.

Esta variação ocorreu em função da tendência dos grãos entrarem em equilíbrio higroscópico com o ambiente de estocagem. Este efeito da perda ou ganho de água em função das condições ambientais também foi observado por outros autores, como, por exemplo, Alencar *et al.* (2009); Elias *et al.* (2009b) e Schuh *et al.* (2011).

Para a massa específica, conforme análise de variância (Figura 23), foi observado apenas efeitos simples para as variáveis simples, tempo de armazenagem ( $P=0,004784$ ) e sistema de armazenagem ( $P=0,009775$ ).

Conforme a análise de regressão, ao longo do período de armazenamento, ocorreu variação significativa da massa específica ( $P=0,0233$ ), sendo que até 30 dias, houve pequeno aumento com posterior redução.

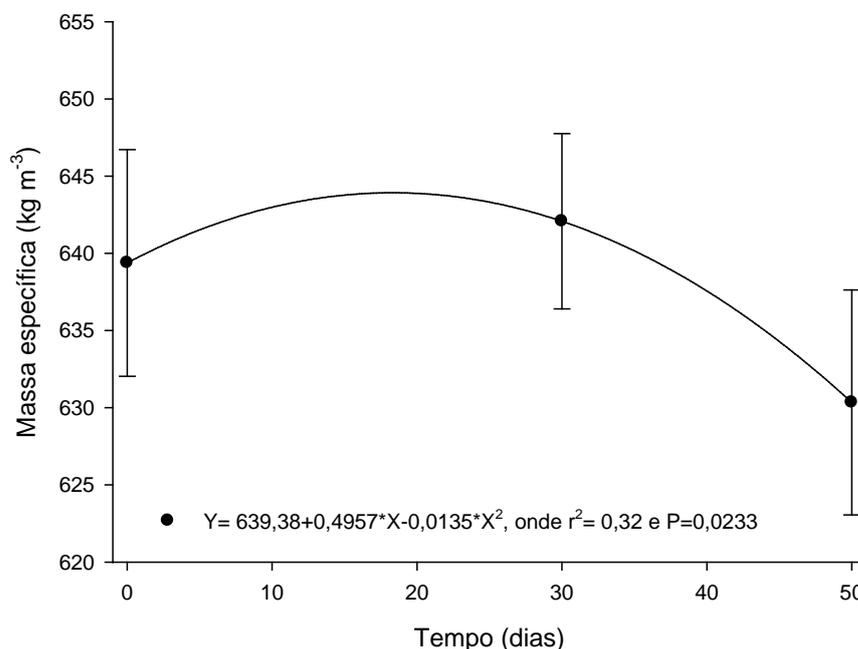


FIGURA 23. Massa específica ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) de grãos de milho armazenados de forma convencional (aberto) e hermético e infestados com *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum*, durante 50 dias. Porto Alegre, RS. 2013.

Os valores médios foram de  $640 \text{ kg.m}^{-3}$  (hermético) e  $633 \text{ kg.m}^{-3}$  (aberto). O tratamento aberto apresentou a menor massa específica em relação ao tratamento hermético o que pode ser devido à maior intensidade do ataque de pragas, visto, que a sobrevivência de ambas as espécies de inseto, foi maior no sistema aberto.

Resultados semelhantes também foram encontrados por Almeida Filho *et al.* (2002). Os autores avaliaram a redução de massa em diferentes cultivares de milho infestados por *S. zeamais* e *Sitophilus oryzae* ao longo de 180 dias de armazenamento e os resultados obtidos indicam que perdas de massa específica causadas por insetos em grãos de milho, estão fortemente relacionadas, com a afinidade dessas pragas aos cultivares de milho.

Santos *et al.* (2002) analisaram o nível de dano econômico ocasionado por diferentes níveis de infestação por *S. zeamais* em grãos de trigo armazenado e determinaram redução da massa específica nos grãos, à medida que ocorriam maiores níveis de infestação pelo inseto.

Em estudo realizado por Silva *et al.* (2003) foi observado efeito significativo da infestação por *S. zeamais* na massa específica de trigo armazenado, onde observaram infestação inicial de  $1,3 \text{ insetos.kg}^{-1}$  de grãos durante 85 dias e redução no peso de  $780 \text{ kg.m}^{-3}$  para  $750 \text{ kg.m}^{-3}$ .

#### **4.2.4 Contaminação fúngica**

Na análise da contaminação por *Fusarium* spp. Foi observado efeito da interação dupla tempo x sistema ( $P=0,006258$ ). Para ambos os sistemas de armazenagem houve variação significativa da incidência deste fungo

( $P < 0,0001$ ). No sistema aberto de armazenagem observou-se o maior valor de incidência durante o período de armazenagem, com redução aos 50 dias, variando de 0 a 16%. No sistema hermético, também, se observou aumento inicial com redução ao final do período, variando de 0 a 4,1% (Figura 24).

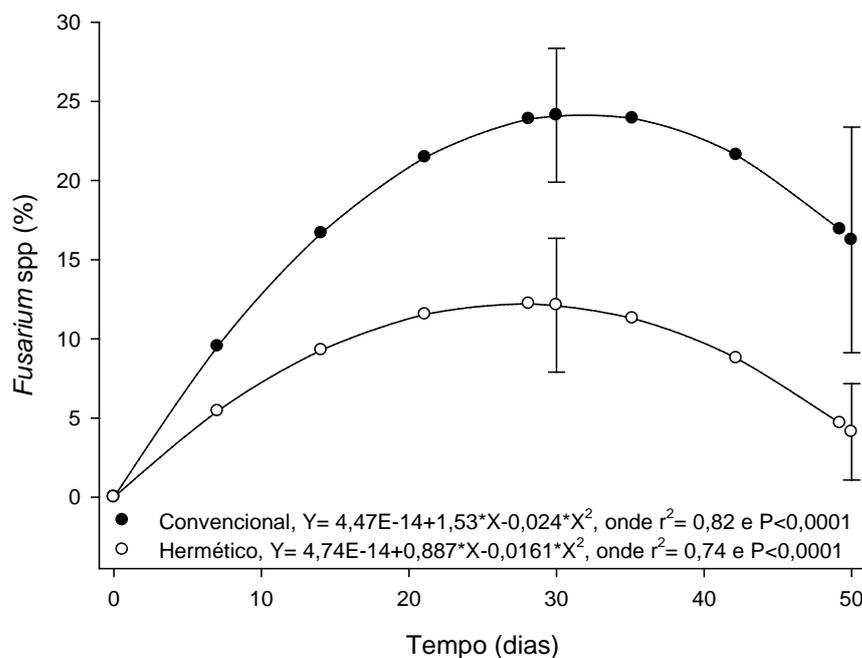


FIGURA 24. Contaminação por *Fusarium* spp. (%), em grãos de milho armazenados de forma convencional (aberto) e hermético e infestados com *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum*, durante 50 dias. Porto Alegre, RS. 2013.

Este aumento do desenvolvimento de *Fusarium* spp. não é similar ao que foi observado por Marcia & Lázzari (1998). Os autores afirmam que este gênero, considerado um fungo de campo, invade grãos e sementes durante o amadurecimento e o dano é causado antes da colheita. Além disso, conforme os mesmos autores, este fungo não se desenvolve durante o armazenamento, exceto ocasionalmente em milho armazenado com alto teor de umidade.

Resultados semelhantes ao observado neste trabalho também foram observados por Tiecker (2013), em que houve alta incidência de *Fusarium* spp. nos grãos de milho armazenados hermeticamente e convencionalmente ao longo de oito meses.

*Fusarium* spp. foi considerado um patógeno de campo apenas, mas atualmente sabe-se que *Fusarium verticillioides*, por exemplo, pode persistir nos grãos após a colheita, durante o transporte e continuar o seu crescimento durante o armazenamento (Marin *et al.*, 2004; Chulze, 2010).

Apesar do crescimento em ambos os tratamentos, observou-se que este crescimento no sistema hermético foi menor, evidenciando que baixas taxas de oxigênio podem reduzir o desenvolvimento de micro-organismos.

Na contaminação por *Penicillium* spp. houve apenas efeito simples da variável tempo ( $P=0,000115$ ). Ocorreu incremento até os 30 dias de estocagem com posterior estabilidade no desenvolvimento deste fungo ( $P<0,0001$ ) (Figura 25).

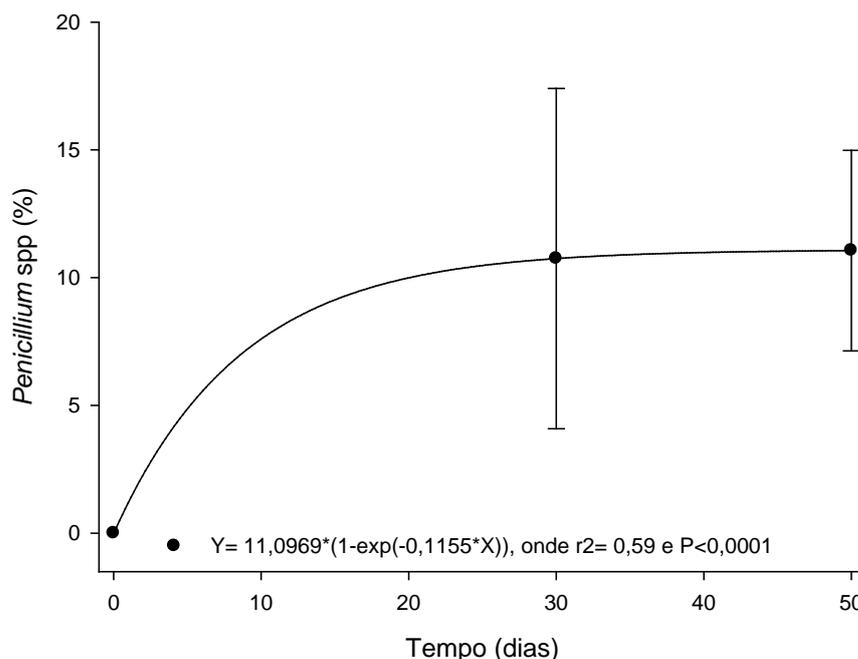


FIGURA 25. Contaminação por *Penicillium* spp. (%), em grãos de milho armazenados de forma convencional (aberto) e hermético e infestados com *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum*, durante 50 dias. Porto Alegre, RS. 2013.

Dentre os fatores que afetam o crescimento de fungos nos grãos de milho, estão à presença de insetos e também de ácaros, sendo que a invasão de um lote de grãos por insetos pode iniciar ou agravar o desenvolvimento de fungos (Miller, 1995). Devido à presença de pragas na massa de grãos neste estudo, houve o favorecimento do crescimento de fungos, fato que confirma o que foi descrito por este autor.

Apesar dos baixos níveis de oxigênio encontrados, ocorreu o desenvolvimento fúngico de *Penicillium* spp. e *Aspergillus* spp., corroborando o observado por Magan & Lacey (1984). Estes autores afirmam que pode existir crescimento de fungos durante o armazenamento, mesmo que em condições de baixos níveis de oxigênio, evidenciando que outros fatores são, muitas vezes, mais importantes que os níveis de oxigênio e gás carbônico durante o armazenamento desses grãos.

Este desenvolvimento fúngico pode estar relacionado ao fato que a quantidade de oxigênio necessária para o crescimento de várias espécies de fungos é extremamente baixa e o crescimento de algumas espécies dos gêneros *Penicillium* e *Aspergillus* é reduzido somente em teores de oxigênio abaixo de 0,5% (Miller & Golding, 1949). Como os teores de oxigênio no ensaio estavam acima deste valor, por isto pode não ter sido um fator limitante ao desenvolvimento fúngico.

Além disso, Sweeney & Dobson (1998) afirmam que fungos do gênero *Penicillium* e *Aspergillus* sobrevivem em ambiente com condições de baixa umidade e progressivamente substituem os fungos de campo, como os do gênero *Fusarium*. Este fato não foi observado no presente trabalho. Observou-se, do contrário, um aumento de *Fusarium* ao longo do período de armazenamento.

Na incidência de *Aspergillus* spp. pode-se observar apenas efeito simples do fator tempo ( $P=0,0000001$ ). Ao longo dos 50 dias de armazenamento houve aumento considerável na incidência deste fungo ( $P<0,0001$ ), que variou de 0 a 36,5 % (Figura 26).

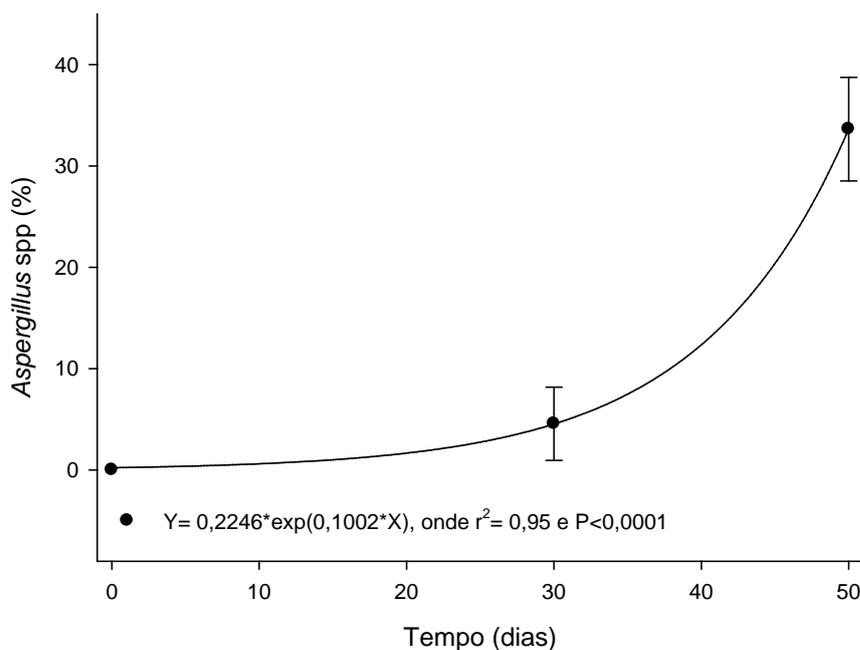


FIGURA 26. Contaminação fúngica por *Aspergillus* spp. (%) em milho, armazenados de forma convencional (aberto) e hermético e infestados com *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum* durante 50 dias. Porto Alegre, RS. 2013.

Estes resultados são concordantes com as conclusões de Tiecker (2013). O autor observou aumento de fungos do gênero *Aspergillus* em grãos de milho ao longo do período, independente do sistema de armazenamento (hermético e convencional). Conforme Moreno *et al.* (2000), o desenvolvimento fúngico cessa quando o teor de oxigênio chega a aproximadamente 1%. Como neste experimento os teores de oxigênio ficaram acima de 4%, a concentração determinada de  $O_2$  pode não ter sido suficiente para diminuir a contaminação fúngica durante o período de armazenamento.

Como já explicado anteriormente, a presença de insetos na massa de grãos propicia a disseminação de fungos, uma vez que estes podem carregar seus esporos entre a massa de grãos (Wetzel, 1987). Autores como Kashyap & Duhan (1994) também observaram em testes de germinação um

intenso crescimento de fungos de armazenamento, por exemplo, as espécies *Rhizopus* spp., *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp., sobre o substrato de papel toalha quando havia sementes com endosperma danificado por insetos.

## 5 CONCLUSÕES

### 5.1 Experimento 1

O crescimento do fungo *Aspergillus* spp. é maior em milho com maior umidade ao longo do tempo, principalmente após os 60 dias de armazenamento. O desenvolvimento de *Fusarium* spp. foi reduzido ao longo do período no armazenamento hermético na umidade de 15%. O crescimento de *Penicillium* spp. é maior em grãos mais úmidos e que são armazenados de modo convencional.

Grãos de milho com 15% de umidade, armazenados em sistema hermético, tendem a condensar no interior dos bags, elevando a umidade dos grãos.

Reduções maiores de massa específica são observadas em grãos com teor de umidade de 15% ao longo do armazenamento, devido à presença de fungos no armazenamento hermético e devido à presença de insetos no armazenamento convencional.

A porcentagem de grãos avariados aumenta consideravelmente em armazenamento convencional e hermético quando os grãos são armazenados mais úmidos, ultrapassando o limite de tolerância e caindo de

tipo 1 para tipo 2 quando no sistema convencional e fora de tipo quando no sistema hermético.

Há aumento de grãos carunchados no sistema aberto em ambas as umidades de armazenagem, tornando-se fora de tipo ao final do período de 180 dias. No sistema hermético, não ocorreu o carunchamento dos grãos.

Maiores índices de acidez são observados em grãos mais úmidos, principalmente no ambiente hermético, devido à alta degradação dos grãos ocorrida durante o armazenamento.

O ambiente hermético de armazenagem reduz a concentração de oxigênio para níveis próximos a 0% em grãos que entram em armazenagem com umidade mais alta. Em umidade de 12% a concentração do oxigênio fica em aproximadamente 3,4% aos seis meses de armazenagem.

## **5.2. Experimento 2**

O sistema hermético é eficiente quanto ao controle de pragas, apresentando valores satisfatórios de mortalidade para ambas as espécies, ou seja, para *S. zeamais* e *T. castaneum*.

A presença de insetos na massa de grãos no armazenamento ocasiona a redução da massa específica, principalmente no sistema convencional ou aberto de armazenagem.

Grãos infestados com insetos favorecem o maior desenvolvimento de fungos ao longo do armazenamento, independentemente do sistema de armazenagem.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, recomenda-se armazenar grãos de milho dentro da faixa ideal de umidade, que seria em torno de 12 a 13%. Observa-se que no armazenamento hermético não há perda de qualidade e no armazenamento em sacarias as perdas são mínimas, se houver um adequado manejo dos grãos.

No controle de pragas, o uso da hermeticidade se mostrou eficiente na mortalidade dos insetos e pode ser promissor, como método alternativo de controle e armazenamento.

O uso da atmosfera modificada em “bags” herméticos para armazenagem de grãos ainda é uma técnica não difundida e pioneira e que necessita de mais estudos. Porém, verifica-se a sua eficiência para a manutenção da qualidade de grãos e controle de pragas, quando utilizada da forma correta, com grãos secos e em ambiente adequado. É uma tecnologia que se adequaria aos pequenos produtores, que armazenam pequenas quantidades de grãos. Porém, ainda há a necessidade da redução do custo destes “bags”, para que seja viável o seu emprego para estes produtores.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.A.C.C - AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods AACC**. 10th ed. St. Paul, MN: [s.n.], 2000.

A.O.A.C. - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 16th ed. Arlington: Washington, 1990. 2 v.

A.O.C.S. - **Official and Tentatives Methods of American Oil Chemistry Society**, 3rd. ed. Chicago: [s.n.], 1985. v. 1.

A.O.C.S. **Official and Tentatives Methods of American Oil Chemistry Society**. New York: [s.n.], 1996.

ADLER, C. Efficacy of modified atmospheres against diapausing larvae of the Indian meal moth *Plodia interpunctella* (Hubner)(Lepdoptera: Pyralidae). In: INTERNATIONAL WORKING CONFERENCE ON STORED PROTECTION PRODUCT, 7., 2000, Beijing, China. **Proceedings...** Beijing, China: Publishing house of Science & Technology, 2000. p. 685-691.

AGUIAR, R. W. S. et al. Controle de pragas em grãos armazenados utilizando atmosfera modificada. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 20, n. 1, p. 21-27, 2004.

ALENCAR, E. R. et al. Qualidade dos grãos de soja em função das condições de armazenamento. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 16, n. 2, p. 155-166, 2008.

ALENCAR, E. R. et al. Qualidade dos grãos de soja armazenados em diferentes condições. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 5, p. 606-613, 2009.

ALMEIDA FILHO, A. J.; FONTES, L. S.; ARTHUR, V. Determinação da perda de peso do milho (*Zea mays*) provocada por *Sitophilus oryzae* e *Sitophilus zeamais*. **Revista Ecosystema**, Espírito Santo do Pinhal, v. 27, n. 2, p. 41-44, 2002.

ATHIÉ, I. **Conservação de Grãos**. Campinas: Fundação Cargill, 1998. 236 p.

- ATHIÉ, I.; DE PAULA, C. **Insetos de grãos armazenados: aspectos biológicos e identificação**. São Paulo: Varela, 2002. p. 28-34.
- AYRES, M. et al. **Aplicações estatísticas em Ciências Biomédicas - BioEstat 5.0**. Belém, PA: Ong Mamimarua, Universidade Federal do Pará, 2007.
- BAILEY, S. W. Air-tight storage of grain: Its effect on insect pests. I. *Calandra granaria* L. (Coleoptera, Curculionidae). **Australian Journal Agricultural Research**, Collingwood, v. 6, n. 1, p. 33-51, 1955.
- BARRA, T. S. **Armazenamento de grãos em atmosfera modificada com blocos de cerâmica**. 1997. 29 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa, 1997.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução Normativa nº 60, de 22 de dezembro de 2011. Estabelece o Regulamento Técnico do Milho. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 23 dez. 2011. Seção 1. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>>. Acesso em: 15 jul. 2014
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Plano Agrícola e Pecuário, 2013/2014**. Brasília: MAPA, 2013. Disponível em: <[http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/file/acs/PAP20132014-web.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/acs/PAP20132014-web.pdf)>. Acesso em: 23 dez. 2013.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2013/2014**. Brasília: CONAB, 2014. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14\\_05\\_08\\_10\\_11\\_00\\_boletim\\_graos\\_mai\\_2014.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_05_08_10_11_00_boletim_graos_mai_2014.pdf)>. Acesso em: 18 mai. 2014.
- BOOTH, R. G.; COX, M. L.; MADGE, R. B. **IIE Guides to insects of importance to man. 3. COLEOPTERA**. Wallingford: C.A.B. International, 1990. 384 p.
- BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: van Nostrand Reinhold, 1990. 450 p.
- CARVAJAL, M.; ARROYO, G. Management of aflatoxin contaminated maize in Tarmaulipas, México. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 45, n. 4, p. 1301-1305, 1997.
- CHULZE, S. N. Strategies to reduce mycotoxin levels in maize during storage: a review. **Food Additives and Contaminants**, London, v. 27, n. 5, p. 651-657, 2010.

COITINHO, R. L. B. C. et al. Atividade inseticida de óleos vegetais sobre *Sitophilus zeamais* mots. (coleoptera: curculionidae) em milho armazenado. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 19, n. 2, p. 176-182, 2006.

COSTA, J. M.; SANTOS, Z. F. de A. F.; CORREIA, J. F. **Pragas dos produtos armazenados e meios de controle**. Salvador: EPABA, 1980. 18 p.

DILLAHUNTY, A. L. et al. Effect of Moisture Content and Temperature on Respiration Rate of Rice. **Cereal Chemistry**. v. 77, n. 5, p. 541-543, 2000.

DONAHAYE, E. J. The potential for stored-product insects to develop resistance to modified atmospheres. In: INTERNATIONAL WORKING CONFERENCE ON STORED PRODUCT PROTECTION, 5., 1991, France. **Proceedings...** Blanquefort: Imprimerie Medocaine, 1991. p. 989-997.

EKSTRAND, B.; GANGBAY, i.; AKESSON, G. 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. **Manejo tecnológico da secagem e do armazenamento de grãos**. Pelotas: Ed. Santa Cruz, 2008. p. 457.

ELIAS, M. C. et al. Manejo integrado no controle de pragas de grãos e derivados. In: ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M. **Aspectos tecnológicos e legais na formação de auditores técnicos do sistema nacional de certificação de unidades armazenadoras**. Pelotas: Ed. Santa Cruz, 2009a. cap. 10, p. 430.

ELIAS, M. C. et al. Umidade de colheita, métodos de secagem e tempo de armazenamento na qualidade tecnológica de grãos de trigo (cv. 'Embrapa 16'). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 25-30, 2009b.

EVANS, D. E. The biology of stored products Coleoptera. In: AUSTRALIAN DEVELOPMENT ASSISTANCE COURSE ON THE PRESERVATION OF STORED CEREALS, 1., 1981, Canberra. **Proceedings...** Canberra: CSIRO, 1981. p.149-85.

FARONI, L. R. A. et al. Armazenamento de soja em silos tipo bolsa. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 01, p. 91-100, 2009.

FERRARI FILHO, E. **Métodos de secagem sobre a qualidade físico-química e microbiológica de grãos de milho no armazenamento**. 2011. 95 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

FLEURAT-LESSARD, F. Qualitative reasoning and integrated management of the quality of stored grain: a promising new approach. **Journal of Stored Products Research**, Amsterdam, v. 38, n. 3, p. 191-218, 2002.

- FRANCISCO, F. G.; USBERTI, R. Seed health of common bean stored at constant moisture and temperature. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 6, p. 613-619, 2008.
- HOU, H. J.; CHANG, K. C. Storage conditions affect soybean color, chemical composition and tofu qualities. **Journal of Food Processing and Preservation**, Westport, v. 28, n. 6, p. 473-488, 2004.
- JAYAS, D. Controlling insects in stored grain using modified atmospheres of elevated carbon dioxide. **L'Actualité chimique canadienne**, Ottawa, v. 52, n. 7, p. 10-24, 2000.
- JAYAS, D. S.; WHITE, N. D. G. Storage and drying of grain in Canada: low cost approaches. **Food Control**, Guildford, v. 14, n. 4, p. 255-261, 2003.
- KAPLAN, E. L.; MEIER, P. Nonparametric estimation from incomplete observation. **Journal of the American Statistical Association**, Washington, v. 53, n. 282, p. 457-481, 1958.
- KASHYAP, R. K.; DUHAN, J. C. Health status of farmers saved wheat seed in Haryana, India-A case study. **Seed Science and technology**, Zurich, v. 22, n. 3, p. 619-628, 1994.
- LOECK, A. E. **Pragas de produtos armazenados**. Pelotas: EGUFPEL, 2002. 113 p.
- LORINI, I.; SCHNEIDER, S. **Pragas de grãos armazenados**: resultados de pesquisa. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1994. 47 p.
- LORINI, I.; MIKE, L. H.; SCUSSEL, V. M. **Armazenagem de grãos**. Campinas, SP: Instituto Biogeneziz, 2002. v. 1. 1000 p.
- LORINI, I. **Manejo integrado de pragas de grãos de cereais armazenados**. Passo Fundo: EMBRAPA TRIGO, 2008. v. 2. p. 71.
- MAGAN, N.; LACEY, J. Effects of gas composition and water activity on growth of field and storage fungi and their interactions. **Transactions of the British Mycological Society**, Manchester, v. 82, n. 2, p. 305-314, 1984.
- MARCIA, B. A.; LÁZZARI, F. A. Monitoramento de fungos em milho em grão, grits e fubá. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 18, n. 4, 1998.
- MARIN, S. et al. Fumonisin producing strains of *Fusarium*: a review of their ecophysiology. **Journal of Food Protection**, Des Moines, v. 67, n. 8, p. 1792-1805, 2004.
- MARTINS, T. Z.; OLIVEIRA, N. C. Controle de *Sitophilus zeamais* (coleoptera: curculionidae) no milho pipoca (*Zea mays* L.) tratado com terra de diatomácea. **Campo Digital**, Campo Mourão, v. 1, n. 2, p. 79-85, jan/out. 2008.

- MILLER, D. D.; GOLDING, N. S. The gas requirements of molds: V. the minimum oxygen requirements for normal growth and for germination of sir mold cultures. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 32, p. 101-110, 1949.
- MILLER, J. D. Fungi and mycotoxins in grain: implications for stored product research. **Journal Stored Products Research**, Amsterdam, v. 31, n. 1, p. 1-16, 1995.
- MOLTEBERG, G. L. et al. Effects of storage and heat processing on the content and composition of free fatty acids in oats. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 72, n. 1, p. 88-93, 1995.
- MORENO, M. E.; JIMENEZ, A. S.; VAZQUEZ, M. E. Effect of *Sitophilus zeamais* and *Aspergillus chevalieri* on the oxygen level in maize stored hermetically. **Journal of Stored Products Research**, Amsterdam, v. 36, n. 1, p. 25-36, 2000.
- MORENO, M. E.; JIMENEZ, A. S.; VAZQUEZ, M. E. Hermetic storage system preventing the proliferation of *Prostephanus truncatus* Horn and storage fungi in maize with different moisture contents. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 39, n. 3, p. 321-326, 2006.
- MOUND, L. (Ed.). **Common Insect Pests of Stored Food Products: a guide to their identification**. London: British Museum (Natural History), 1989. 68 p. (Economic Series, 15).
- MUIR, W. E.; JAYAS, D. S.; WHITE, N. D. G. Controlled atmosphere storage. In: Muir, W. E. (Ed.) **Grain Preservation Biosystems**. Manitoba: [s.n.], 2001. 421 p.
- NAVARRO, S. Commercial applications of oxygen depleted atmospheres for the preservation of food commodities. In: DOONA, C. J.; KUSTIN, K.; FEEHERRY, F. E. **Case studies in novel food processing technologies**. Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited, 2010. 529 p. (Series in Food Science, Technology and Nutrition: Number 197).
- NAVARRO, S. Advanced Grain Storage Methods for Quality Preservation and Insect Control Based on Aerated or Hermetic Storage and IPM. **Journal of Agricultural Engineering**, Pavia, v. 49, n. 1, p. 13-20, Jan./March. 2012.
- NOGUEIRA JUNIOR, S.; TSUNECHIRO, A. **Descompasso entre produção e armazenagem de grãos**. IEA – Instituto de economia agrícola. 2003. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=883>>. Acesso em: 16 mai. 2013.
- OLIVEIRA, M.; DIONELLO, R. G.; ELIAS, M. C. Amostragem, análise de umidade e impureza em grãos. In: **Formação de auditores técnicos do sistema nacional de certificação de unidades armazenadoras**. Pelotas: Ed. Santa Cruz, 2008. p. 195-203.

PAPADEMETRIOU, E.; VANAVA, A. Traditional hermet methods of grain storage used in cyprus. In: DONAHAYE, E. J.; NAVARRO, S.; VANAVA, A. **Controlled atmosphere and fumigation in stored products**. [s.l.]: Nicosia Cyprus, 1997. p. 175-182.

PEREIRA, P. R. V. S.; PINTO JUNIOR, A. R.; FURIATTI, A. R. Eficiência de inseticidas no controle de *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) e *Rhyzopertha dominica* (fab.) (Coleoptera: Bostrichidae) em cevada armazenada. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, v. 1, n. 3, p. 65-71, jul./set. 2003.

POMERANZ, Y. Biochemical, functional and nutritive changes during storage. In: **Storage of cereal grains and their products**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1974. p. 56-114.

PROCÓPIO, S. O. et al. Bioatividade de diversos pós de origem vegetal em relação a *Sitophilus zeamais* mots. (coleoptera: curculionidae). **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 6, p. 1231-1236, nov./dez. 2003.

PUZZI, D. **Abastecimento e armazenamento de grãos**: edição atualizada. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 2000. 666 p.

QUEZADA, M. Y. et al. Hermetic storage system preventing the proliferation of *Prostephanus truncatus* Horn and storage fungi in maize with different moisture contents. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 39, p. 321-326, 2006

RODRIGUEZ, J. C. et al. **Almacenaje de granos en bolsas plásticas**: sistema silobag. Balcarce: EEA INTA, 2002. Disponível em: <[http://www.ergomix.com/s\\_articles\\_view.asp?art=802](http://www.ergomix.com/s_articles_view.asp?art=802)>. Acesso em: 28 jul. 2013.

RODRIGUEZ, J. C. et al. IP Short time storage of Argentine cereals in silobags to prevent spoilage and insect. In: INTERNATIONAL QUALITY GRAINS CONFERENCE, 2004, Indianapolis. **Proceedings...** West Lafayette: Purdue University, 2004. p. 1-15.

RUPOLLO, G. et al. Sistemas de armazenamentos 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.; MARNI, L. J.; ELIAS, M. C. 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.

SALUNKHE, D. K.; CHAVAN, J. K.; KADAN, S. S. Maize. In: **Postharvest biotechnology of cereals**. Boca Raton: CRC Press, 1985. p. 127-146.

SANTOS, A. K. et al. Nível de dano econômico de *Sitophilus zeamais* (M.) em trigo armazenado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 273-279, 2002.

- SARTORI, J. A. **Qualidade dos Grãos de Milho após o Processo de Secagem**. 2001. 76 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.
- SAUER, D. B. **Storage of cereal grains and their products**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1992. 615p.
- SAUL, R. A.; STEELE, J. L. Why damaged shelled corn cost more to dry. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 47, n. 6, p. 326, 1966.
- SCHUH, G. et al. Efeitos de 2 métodos de secagem sobre a qualidade físico-química de grãos de milho safrinha-RS, armazenados por 6 meses. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 235-244, 2011.
- 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.
- SILVA, A .A. L. et al. Modelagem das perdas causadas por *Sitophilus zeamais* e *Rhyzopertha dominica* em trigo armazenado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, n. 7, n. 2, p. 292-296, 2003.
- SOUSA, A. H. et al. Developmental and population growth rates of phosphine-resistant and -susceptible populations of stored-product insect pests. **Journal of Stored Products Research**, Amsterdam, v. 45, n. 4, p. 241-246, 2009.
- SWEENEY, M. J.; DOBSON, A. D. W. Mycotoxin production by *Aspergillus*, *Fusarium* and *Penicillium* species. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 43, n. 3, p. 141-158, 1998.
- TELLES NETO, F. X. de B.; REIS, E. M.; CASA, R. T. Viabilidade de *Fusarium graminearum* em sementes de trigo durante o armazenamento. **Summa Phytopathology**, Botucatu, v. 33, n. 4, p. 414-415, 2007
- TIECKER, A. **Avaliação da qualidade de grãos de milho e soja em armazenamento hermético e não hermético sob diferentes umidades de colheita**. 2013. 83 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- VIEIRA, M. G. G. C.; CARVALHO, M. L. M. de; MACHADO, J. C. **Controle de Qualidade de Sementes**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1999. p. 1.
- VILLERS, P.; BRUIN, T.; NAVARRO, S. Safe storage of grain in the tropics: a comparison of hermetic storage in flexible silos versus rigid metal or concrete silos. In: WEST, A.; BROWN, J. (Ed.). **Feed technology update**. Honolulu: Linx Publishing, 2006. p. 17-22. WEINBERG, Z.G. et al. The effect of moisture level on high-moisture maize (*Zea mays* L.) under hermetic

storage conditions – *in vitro* studies. **Journal of Stored Products Research**, Amsterdam, v. 44, n. 2, p. 136-144, 2008.

WETZEL, M. M. V. S. Fungos de Armazenamento. In: SOAVE, J.; WETZEL, M. M. V. S. (Ed.). **Patologia de Sementes**. Campinas: Fundação CARGILL, 1987. p. 562-568.

WHITE, N. D. G.; LEESCH, J. G. Chemical control. In: SUBRAMANYAN, B.; HAGSTRUM, D. **Integrated management of insects in stored products**. New York: Marcel Dekkes, 1996. p. 287-330.

ZADERNOWSKI, R.; NOWAK-POLAKOWSK, H.; RASHED, A. The influence of heat treatment on the activity of lipo and hydrophilic components of oat grain. **Journal of Food Processing and Preservation**, Westport, v. 23, n. 3, p.177-191, 1999.