

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

**MÉTODOS E TEMPERATURAS DE SECAGEM SOBRE A QUALIDADE FÍSICO-
QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DE GRÃOS DE MILHO NO
ARMAZENAMENTO**

Edar Ferrari Filho
Engenheiro Agrônomo/UFRGS

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

Porto Alegre (RS), Brasil
Fevereiro de 2011

CIP - CATALOGAÇÃO INTERNACIONAL NA PUBLICAÇÃO
Biblioteca Setorial da Faculdade de Agronomia da UFRGS

F412m Ferrari Filho, Edar
Métodos e temperaturas de secagem sobre a qualidade físico-química e
microbiológica de grãos de milho no armazenamento / Edar Ferrari Filho. — Porto
Alegre : E. Ferrari Filho, 2011.

xiii, 95 f.; il.

Dissertação (Mestrado - Horticultura) – Programa de Pós-Graduação em Fito-
tecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Porto Alegre, 2011.

1. Milho : Grão : Secagem : Armazenamento. I. Título.

CDD: 633

EDAR FERRARI FILHO
Engenheiro Agrônomo - UFRGS

DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

MESTRE EM FITOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 25.02.2011
Pela Banca Examinadora


RAFAEL GOMES DIONELLO
Orientador - PPG Fitotecnia

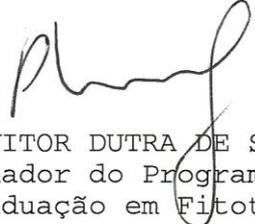

RENAR JOÃO BENDER
Co-orientador - PPG Fitotecnia


LUCIA BRANDÃO FRANKE
PPG Fitotecnia


CHRISTIAN BREDEMEIER
PPG Fitotecnia


MOACIR CARDOSO ELIAS
Faculdade de Agronomia
UFPel

Homologado em: 18.04.2011
Por


PAULO VITOR DUTRA DE SOUZA
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia


PEDRO ALBERTO SELBACH
Diretor da Faculdade de
Agronomia

DEDICATÓRIA

Para minha mãe Marisa, meus avós Delfino e Horizontina, minha irmã Marina e especialmente minha esposa e companheira Veridiane, que são as pessoas mais importantes na minha vida. Sem o carinho, amor, apoio, compreensão, motivação, paciência e confiança de vocês eu não teria alcançado este objetivo. Ao meu grande amigo Mateus (*in memoriam*) que sempre será lembrado como o melhor amigo que um homem poderia ter. Muito obrigado a vocês.

AGRADECIMENTOS

Principalmente ao meu orientador e estimado amigo, professor Rafael Gomes Dionello, por todos ensinamentos e conselhos, não medindo esforços em me ajudar.

Ao professor Renar João Bender por toda colaboração na co-orientação do curso.

Aos colegas Arnaldo Tiecker, Luidi Antunes e Roberto Gottardi pelo auxílio na execução deste trabalho.

Aos professores Christian Bredemeier, Lúcia Franke e Moacir Cardoso Elias, pela pronta disponibilidade em participar da minha banca examinadora.

À secretária do PPG em Fitotecnia, Marisa, pela grande paciência e colaboração.

Ao amigo Guilherme Duarte pela ajuda com a análise de micotoxinas e à equipe de trabalho do Laboratório de Zootecnia da UFRGS pelas análises químicas.

Ao professor Emerson Del Ponte em disponibilizar o Laboratório de Epidemiologia e às colegas Raquel Stumpf e Larissa Gomes pela ajuda e esclarecimentos.

Aos funcionários da Estação Experimental Agronômica/UFRGS.

Aos meus amigos da Faculdade de Agronomia e de Butiá-RS, e também a todos, que de uma forma ou de outra, contribuíram para este trabalho.

À CAPES e Supergasbras pelo apoio na execução deste trabalho.

MÉTODOS E TEMPERATURAS DE SECAGEM SOBRE A QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DE GRÃOS DE MILHO NO ARMAZENAMENTO¹

Autor: Edar Ferrari Filho
Orientador: Rafael Gomes Dionello
Co-orientador: Renar João Bender

RESUMO

O trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade físico-química, microbiológica e a presença de micotoxinas em grãos de milho, desde o cultivo no campo e durante o armazenamento por nove meses, submetendo-os a diferentes métodos e temperaturas de secagem, assim como estabelecer os custos totais de secagem. Foram utilizados grãos de milho (*Zea mays* L.), cultivados na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em Eldorado do Sul, na safra agrícola 2008/2009. O trabalho foi dividido em dois estudos, conforme descrito a seguir: Estudo 1 - S₁ - Secagem estacionária, com ar não aquecido, na condição ambiente, a 20±5 °C; S₂ - Secagem estacionária, com ar aquecido, uso de GLP, a 40±5 °C; S₃ - Secagem estacionária, em silo secador solar. Estudo 2 - S₄ - Secagem intermitente, com ar aquecido a 60±5 °C, com uso de GLP; S₅ - Secagem intermitente, com ar aquecido a 70±5 °C, com uso de GLP; S₆ - Secagem intermitente, com ar aquecido a 80±5 °C, com uso de GLP. Durante as secagens foram acompanhadas a umidade e temperatura da massa de grãos, temperatura e velocidade do ar de secagem, calculada a taxa de secagem e estabelecido os custos totais de secagem. Durante o armazenamento, as análises físico-químicas, microbiológicas e toxicológicas foram realizadas em intervalos de três meses, contando como tempo zero o momento após a secagem. Conclui-se que: 1. As maiores perdas quantitativas e qualitativas dos grãos durante o armazenamento ocorrem a partir dos seis meses, para todos os métodos de secagem estudados. 2. O extrato etéreo é o constituinte químico que mais se degrada durante o armazenamento dos grãos de milho. 3. A secagem intermitente nas temperaturas estudadas não causa danos mecânicos visíveis e qualitativos imediatos aos grãos de milho. 4. Os fungos do gênero *Fusarium* e *Penicillium* predominam tanto no campo como no armazém em relação ao fungo do gênero *Aspergillus*. 5. O custo total da secagem estacionária de grãos de milho por saco (60 kg) é mais que três vezes superior quando se utiliza GLP, em comparação ao ar natural, e mais que dez vezes superior, quando comparado a secagem solar. 6. A secagem intermitente, em temperatura do ar de 80 °C apresenta maior eficiência de trabalho, maior taxa de secagem e o menor tempo total de secagem, enquanto que em 70 °C apresenta maior eficiência econômica. 7. A contaminação de grãos de milho com fumonisinas e tricotecenos ocorre no campo, e durante todo o armazenamento, enquanto a produção de aflatoxinas começa durante o armazenamento em grãos com umidade mais baixa.

¹ Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (108 p.) Fevereiro, 2011.

METHODS AND DRYING TEMPERATURES ON QUALITY PHYSICAL-CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL GRAIN OF CORN IN STORAGE²

Author: Edar Ferrari Filho

Adviser: Rafael Gomes Dionello

Co-adviser: Renar João Bender

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the physico-chemical and microbiological properties and the presence of mycotoxins in maize grains from growing in the field and during storage for nove months, submitting to different methods and drying temperatures, as well as establishing the total costs of drying. Were used corn (*Zea mays* L.) grown at the Federal University of Rio Grande do Sul, in Eldorado do Sul, in the season 2008/2009. The work was divided into two studys, as described below: Study 1 - S₁ - Stationary drying with unheated air at room temperature at 20±5 °C, S₂ - Stationary drying with heated air, use of LPG, 40 ±5 °C; S₃ - Stationary drying, solar drying silo. Estudy 2 - S₄ - Intermittent drying with air heated to 60 ±5 °C using LPG; S₅ - Intermittent drying with air heated to 70 ±5 °C using LPG; S₆ - Intermittent drying with air heated to 80 ±5 °C, with use of LPG. During drying was monitored humidity and temperature of the mass, temperature and air velocity of drying, the drying rate calculated and established the total costs of drying. During storage, the physic-chemical, microbiological and toxicological properties have been carried out every three months, counting the time as zero time after drying. We conclude that: 1. Major quantitative and qualitative losses of grain during storage occur from six months to the all drying methods studied. 2. The ether extract is the chemical constituent that most degrades during storage of corn. 3. The intermittent drying in the temperatures studied did not cause visible mechanical damage and immediate quality of corn grains. 4. The fungi *Fusarium* and *Penicillium* dominated both the field and in the store in relation to the fungus *Aspergillus*. 5. The total cost of stationary drying of grains per bag (60 kg) is more than three times higher when using LPG compared to natural air, and more than ten times higher when compared to solar drying. 6. The intermittent drying air temperature of 80 °C has a higher work efficiency, increased drying rate and the lowest total time of drying, whereas at 70 °C has a higher economic efficiency. 7. Contamination of corn with fumonisins and trichothecenes occurs in the field and during storage, while the production of aflatoxins during storage begins in grains with higher moisture.

² Master of Science dissertation in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (108 p.) February, 2011.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Importância da cultura do milho.....	3
2.2 Fundamentos da secagem.....	4
2.3 Fatores que influenciam a qualidade dos grãos durante a secagem.....	7
2.3.1 Temperatura do ar de secagem.....	8
2.3.2 Umidade relativa do ar.....	9
2.3.3 Fluxo de ar e teor de água.....	9
2.3.4 Taxa de secagem.....	10
2.4 Tipos de secagem.....	11
2.4.1 Secagem estacionária ou leito fixo.....	11
2.4.1.1 Secagem estacionária com ar não aquecido (ar natural).....	12
2.4.1.2 Secagem estacionária com ar aquecido (Gás liquefeito de petróleo).....	13
2.4.1.3 Secagem estacionária com energia solar.....	15
2.4.2 Secagem intermitente.....	16
2.5 Armazenagem.....	17
2.5.1 Fatores importantes no armazenamento.....	20
2.6 Fungos e micotoxinas.....	21
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1 Cultivo do milho.....	25
3.2 Estudo 1.....	26
3.2.1 Colheita e secagem.....	26
3.3 Estudo 2.....	27
3.3.1 Colheita e secagem.....	27
3.4 Características avaliadas durante a secagem nos dois estudos.....	28
3.5 Armazenamento.....	29
3.6 Condições ambientais durante o armazenamento.....	30
3.7 Amostragem.....	30
3.8 Análises realizadas.....	31
3.8.1 Análises físicas.....	31
3.8.1.1 Umidade.....	31
3.8.1.2 Peso volumétrico.....	31
3.8.1.3 Peso de 1000 grãos.....	32
3.8.2 Análise tecnológica.....	32
3.8.3 Análises químicas.....	32
3.8.3.1 Proteína bruta.....	32
3.8.3.2 Extrato etéreo ou Gordura bruta.....	32
3.8.3.3 Material mineral ou Cinzas.....	33

	Página
3.8.3.4 Carboidratos ou Extrativo não-nitrogenado.....	33
3.8.3.5 Acidez do extrato etéreo.....	33
3.8.4 Análise microbiológica.....	33
3.8.5 Detecção de fungos potencialmente produtores de micotoxinas.....	34
3.8.5.1 Crescimento dos fungos e preparação dos tecidos.....	34
3.8.5.2 Extração de DNA.....	34
3.8.5.3 Quantificação e diluição do DNA.....	35
3.8.5.4 PCR-tempo real e geração das curvas.....	35
3.9 Custos de secagem.....	36
3.10 Delineamento experimental e análise estatística.....	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
4.1 Contaminação fúngica no campo.....	39
4.2 Micotoxinas no campo.....	40
4.3 Estudo 1.....	41
4.4 Estudo 2.....	64
5 CONCLUSÕES.....	84
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	85
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Capacidade Estática de Armazenagem (toneladas), para os sistemas convencional e a granel, por região. Brasil, 2011.....	17
2. Incidência de fungos (%) dos gêneros <i>Fusarium</i> , <i>Aspergillus</i> e <i>Penicillium</i> em grãos de milho, em diferentes épocas de desenvolvimento na lavoura. Eldorado do Sul, RS. 2009.....	39
3. Umidade (%) em grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem estacionária, e ao longo de nove meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS. 2009.....	42
4. Peso Volumétrico (kg.m^{-3}) em grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem estacionária, e ao longo de 9 meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS. 2009.....	45
5. Peso de 1000 grãos (g) em grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem estacionária, e ao longo de 9 meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS. 2009.....	46
6. Grãos de milho sem defeitos (%), armazenados no sistema a granel, após a secagem estacionária, e ao longo de 9 meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS. 2009.....	48
7. Proteína Bruta (%) em grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem estacionária, e ao longo de 9 meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS. 2009.....	50
8. Extrato Etéreo (%) em grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem estacionária, e ao longo de 9 meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS. 2009.....	51
9. Cinzas (%) em grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem estacionária, e ao longo de 9 meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS. 2009.....	53

10. Carboidratos (%) em grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem estacionária, e ao longo de 9 meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS. 2009.....	54
11. Acidez do extrato etéreo em ácido oléico (%) em grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem estacionária, e ao longo de 9 meses de armazenamento. Eldorado do Sul, 2009.....	55
12. Incidência de fungos (%) do gênero <i>Fusarium</i> em grãos de milho submetidos à secagem estacionária com uso de GLP, energia solar e ar natural, em intervalos de três meses, durante 9 meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS. 2009.....	57
13. Incidência de fungos (%) do gênero <i>Aspergillus</i> em grãos de milho submetidos à secagem estacionária com uso de GLP, energia solar e ar natural, em intervalos de três meses, durante 9 meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS. 2009.....	58
14. Incidência de fungos (%) do gênero <i>Penicillium</i> em grãos de milho submetidos à secagem estacionária com uso de GLP, energia solar e ar natural, em intervalos de três meses, durante 9 meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS. 2009.....	59
15. Valores médios de Fungos (%) do gênero <i>Fusarium</i> , <i>Aspergillus</i> e <i>Penicillium</i> em grãos de milho submetidos à secagem estacionária com uso de GLP, energia solar e ar natural, em intervalos de três meses, durante 9 meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS. 2009.....	60
16. Detecção de aflatoxina, fumonisina e tricoteceno em grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem estacionária, e ao longo de 9 meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS. 2009.....	61
17. Consumo total e custo de energia elétrica, custo do combustível (GLP) e custo energético total da secagem estacionária de grãos de milho, utilizando como fonte de aquecimento do ar de secagem, gás liquefeito de petróleo, sol e ar natural. Eldorado do Sul, RS. 2009.....	62
18. Umidade (%) em grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem intermitente, e ao longo de 9 meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS. 2009.....	65
19. Peso Volumétrico ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) em grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem intermitente, e ao longo de 9 meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS. 2009.....	66
20. Peso de 1000 grãos (g) em grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem intermitente, e ao longo de 9 meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS. 2009.....	68

	Página
21. Grãos de milho sem defeitos (%), armazenados no sistema a granel, após a secagem intermitente, e ao longo de 9 meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS. 2009.....	69
22. Proteína Bruta (%) em grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem intermitente, e ao longo de 9 meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS. 2009.....	71
23. Extrato Etéreo (%) em grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem intermitente, e ao longo de 9 meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS. 2009.....	72
24. Cinzas (%) em grãos de milho, armazenados secos no sistema a granel, após a secagem intermitente, e ao longo de 9 meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS. 2009.....	73
25. Carboidratos (%) em grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem intermitente, e ao longo de 9 meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS. 2009.....	74
26. Acidez do extrato etéreo em ácido oléico (%) em grãos de milho, armazenados secos no sistema a granel, após a secagem intermitente, e ao longo de 9 meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS. 2009.....	75
27. Incidência de fungos (%) do gênero <i>Fusarium</i> em grãos de milho submetidos à secagem intermitente com uso de GLP, em diferentes temperaturas de secagem, durante 9 meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS. 2009.....	76
28. Incidência de fungos (%) do gênero <i>Aspergillus</i> em grãos de milho submetidos à secagem intermitente com uso de GLP, em diferentes temperaturas de secagem, durante 9 meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS. 2009.....	77
29. Incidência de fungos (%) do gênero <i>Penicillium</i> em grãos de milho submetidos à secagem intermitente com uso de GLP, em diferentes temperaturas de secagem, durante 9 meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS. 2009.....	78
30. Valores médios de Fungos (%) do gênero <i>Fusarium</i> , <i>Aspergillus</i> e <i>Penicillium</i> em grãos de milho submetidos à secagem intermitente com uso de GLP, em diferentes temperaturas, em intervalos de três meses, durante 9 meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS. 2009.....	79
31. Detecção de aflatoxina, fumonisina e tricoteceno em grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem, e ao longo de 9 meses de armazenamento. Eldorado do Sul, RS. 2009.....	80
32. Consumo e custo total, horário e unitário de gás liquefeito de petróleo (GLP) na secagem intermitente de grãos de milho, em três temperaturas do ar (60, 70 e 80 °C). Eldorado do Sul, RS. 2009.....	81

33. Consumo e custo de energia elétrica, custo do combustível (GLP) e custo energético total na secagem intermitente de grãos de milho, sob três temperaturas (60, 70 e 80 °C). Eldorado do Sul, RS. 2009..... 82

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Silo-secador de concreto armado com capacidade para 100 sacos de milho. Eldorado do Sul, RS. 2010.....	27
2. Ventilador e queimador utilizados para secagem estacionária com GLP. Eldorado do Sul, RS. 2010.....	27
3. Secador solar com capacidade para 100 sacos de milho. Eldorado do Sul, RS. 2010.....	27
4. Secador intermitente utilizado para secagem do milho. Eldorado do Sul, RS. 2010.....	28
5. Médias mensais de temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) durante os nove meses de armazenamento dos grãos de milho submetidos a diferentes métodos e temperaturas do ar de secagem. Eldorado do Sul, RS. 2009.....	30

1 INTRODUÇÃO

Todos os anos, milhões de toneladas de cereais, raízes, tubérculos, frutas e hortaliças, jamais chegarão à mesa do consumidor em países em desenvolvimento, devido a diversos problemas relacionados à pós-colheita, como a precariedade nas técnicas e instalações de secagem e armazenamento, danos causados por insetos, roedores e outras pragas e também problemas relacionados à logística, transporte e comercialização.

Perdas quantitativas e qualitativas, de magnitude extremamente variável, ocorrem tanto na colheita como em todas as etapas do sistema pós-colheita, como no manuseio, secagem, armazenamento, transporte, processamento, comercialização e nos pontos finais de distribuição aos consumidores. No Brasil, estima-se que as perdas nas etapas de pós-colheita de grãos estejam entre 10 e 15% do total produzido.

Apesar de toda a capacidade produtiva do Brasil, muito ainda tem que ser feito para melhor atender à exigência dos mercados nacional e internacional quanto à qualidade dos grãos, preocupação primordial, fazendo com que as práticas adotadas da colheita ao armazenamento sejam as mais adequadas.

Outro problema bastante preocupante é o desenvolvimento de fungos nos grãos, com a conseqüente produção de toxinas que, em muitos casos, são cancerígenas para humanos e animais e levam a perdas qualitativas e quantitativas desses grãos. Estima-se que, no mínimo, 25% dos grãos de cereais produzidos no mundo estão contaminados por micotoxinas, incluindo as aflatoxinas. A contaminação com *Aspergillus spp.* e a

consequente produção de aflatoxinas durante o armazenamento é considerado um dos mais sérios problemas de segurança alimentar no mundo.

O Brasil ocupa o terceiro lugar na produção mundial de milho, tendo respondido, na média do período de 1990 a 2000, com cerca de 6% do volume produzido mundialmente. O milho é o primeiro cereal mais produzido no país e o segundo grão de maior produção e importância econômica, perdendo somente para a soja. O milho é um dos cereais de maior relevância em termos de alimentação humana e animal. Trata-se de uma cultura estratégica sob o ponto de vista de segurança alimentar, de desenvolvimento regional e afirmação comercial, inclusive de produtos que dela dependem.

Portanto, de acordo com o exposto, no presente trabalho objetivou-se: avaliar a contaminação por fungos no campo e ao longo do armazenamento, bem como a incidência de micotoxinas nos grãos de milho antes da colheita, e durante o período de armazenamento; determinar o efeito dos diferentes métodos e temperaturas de secagem sobre a qualidade físico-química de grãos de milho, durante 9 meses de armazenamento; avaliar os custos de secagem nos métodos: secagem com ar natural, com GLP (gás liquefeito de petróleo), solar e intermitente, este último em três diferentes temperaturas do ar de secagem (60, 70 e 80 °C). Busca-se reduzir perdas quantitativas e qualitativas e criar tecnologias que possam ser utilizadas tanto para a secagem como para o armazenamento de grãos por produtores de milho no país.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Importância da cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta anual, herbácea, pertencente à classe das monocotiledôneas, família Poaceae (FEPAGRO, 1998).

Segundo a FAO (2006), o Brasil ocupa o terceiro lugar na produção mundial de milho, atrás apenas dos Estados Unidos e China, tendo respondido, na média do período de 1990 a 2000, com cerca de 7% do volume produzido mundialmente. Os países que possuem as maiores produções são Estados Unidos, com participação de aproximadamente 40%, e China, com cerca de 20% da oferta mundial de milho. Outros países produtores importantes são México, França e Argentina, também com participações expressivas na produção mundial. Pode-se também destacar a importância de países como Romênia, Iugoslávia, África do Sul, Índia, Itália, Canadá e Hungria.

O milho é o segundo grão mais produzido no país, perdendo somente para a soja, chegando a aproximadamente 54 milhões de toneladas, na safra 2009/2010 (CONAB, 2011), com um acréscimo de cerca de 6,6% em relação à safra anterior. No Brasil, os estados de maior produção são Paraná, Mato Grosso, Minas Gerais e Rio Grande do Sul. O RS é o quarto estado em produção, com cerca de 10% da produção nacional e produtividade média de 5000 kg.ha⁻¹. A região Noroeste do estado é a maior produtora, com mais de 50% da produção estadual, enquanto que a região metropolitana de Porto Alegre contribui com aproximadamente 3% da produção de milho no Rio Grande do Sul. Os principais municípios produtores do RS são Montenegro e Osório (CONAB, 2011).

Conforme Carneiro *et al.* (2000), o milho movimenta um mercado de aproximadamente 40 bilhões de dólares anuais, distribuídos entre indústrias de produção de alimentos para consumo humano, rações e matéria-prima para centenas de produtos industrializados.

A cultura do milho (*Zea mays* L.) é tipicamente desenvolvida em pequenas propriedades, representando 78,5% da produção nacional (Oliveira & Martins, 2004). Nessas propriedades, o milho é utilizado na alimentação animal e humana, sendo necessária a preservação de suas qualidades durante todo o período de armazenagem.

Conforme Andrade (2001), cerca de 17% do milho produzido no país é consumido “dentro das porteiras” das propriedades, na forma de grãos ou silagem, 63% é consumido na forma de rações para animais (aves, suínos e bovinos), 15% pela indústria de processamento e apenas 5% é consumido como alimento humano (*in natura*).

Entre as culturas de interesse econômico para o país, o milho é uma das mais importantes. Em razão de seu grande uso nas atividades agropecuárias e na indústria, constitui matéria prima para as mais variadas aplicações. Na indústria de alimentos e de bebidas, o emprego do milho como matéria prima poderá ser aumentado de forma considerável, criando novas fontes de consumo (Sartori, 2001).

2.2 Fundamentos da secagem

De acordo com Dalpasquale (1984), citado por Carlesso (2005), o processo de secagem pode ser definido de diversas maneiras, dependendo do enfoque que se deseja dar. Nos estudos teóricos de secagem, dá-se ênfase aos mecanismos de transferência de calor e massa. Sendo assim, a secagem pode ser definida como o processo no qual ocorrem transferências simultâneas de energia e massa entre o produto e o meio utilizado para secá-lo, que geralmente é o ar. Outras vezes, entretanto, a secagem é definida como a operação unitária que leva à redução do teor de água do produto até que seja atingido um nível

seguro para o seu armazenamento. Entende-se como seguro o teor de água abaixo do qual a atividade de microrganismos é inibida, não sendo necessariamente eliminada.

Segundo Van Arsdel & Copley (1964), citados por Vergara *et al.* (1997), a secagem pode ser considerada como uma das mais importantes e mais freqüentes operações aplicadas em todos os setores de produção de produtos sólidos, objetivando, por meio da retirada de água, o controle de microrganismos e de alterações físico-químicas, redução de custos relacionados à embalagem, manipulação, transporte e armazenamento da produção, pela redução de seu peso e volume.

Um processo de secagem eficiente é aquele que, além da redução do teor de água do produto, aumenta seu potencial de conservação pós-colheita e preserva suas características físicas e propriedades tecnológicas, atribuindo-lhe alto valor comercial (Athié *et al.*, 1998).

De acordo com autores como (Henderson *et al.*, 1997; Athié *et al.*, 1998; Puzzi, 2000; Silva *et al.*, 2000; Weber, 2001; Elias, 2007) as principais vantagens da secagem são a possibilidade de antecipação da colheita, reduzindo as perdas no campo ocasionadas por condições climáticas indesejadas e/ou pelo ataque de roedores, insetos, pássaros e microrganismos. A colheita antecipada também possibilita aos produtores obterem maiores preços pelos produtos quando a comercialização ocorrer na entressafra; permite a formação de estoques reguladores de mercado e a oferta de produtos de alta qualidade, no caso de grãos pelas características organolépticas e nutricionais e, no caso de sementes, pela alta percentagem de germinação e vigor.

Conforme Sartori (2001), programas de investimento para melhorias na secagem, bem como nos sistemas de transporte, distribuição e armazenamento do produto a granel nas regiões de produção e consumo são fundamentais para aumentar a eficiência do processo de comercialização.

Na secagem artificial com ventilação forçada o ar é movimentado mecanicamente

por meio de ventiladores e utilizam-se diversos tipos de secadores por convecção, que podem operar tanto em altas quanto em baixas temperaturas (Silva *et al.*, 2000).

A secagem do milho que é produzido no país, em sua maioria, ocorre na própria planta ainda no campo, porque as condições climáticas na época de colheita são favoráveis. Outro fator que contribui para a secagem no campo é a falta de capital disponível para investimento em infra-estrutura de secagem, principalmente entre pequenos produtores onde a cultura é bastante difundida. Assim, os meios utilizados para secagem do milho no Brasil são os mais simples e baratos.

A secagem natural, porém, é pouco segura, uma vez que o produto fica no campo sujeito a condições ambientais desfavoráveis. Além disso, em condições de altas temperaturas e uma vez que o milho possui alta taxa respiratória, o produto consome parte de suas reservas, comprometendo sua qualidade. Outra desvantagem da secagem no campo é que os grãos de milho podem ser atacados por insetos, pássaros, roedores e microorganismos, principalmente fungos, que contribuem significativamente para a sua deterioração. A secagem de grãos como o milho em secadores artificiais é uma técnica que visa à preservação da qualidade do produto, considerando que ele é colhido com um teor de água ainda alto para a armazenagem, porém com alta qualidade e alto teor de matéria seca (Silva *et al.*, 1995; 2000; Elias, 2007).

Conforme Silva *et al.* (1995; 2000), a secagem de milho pode ser realizada em diversos tipos de secadores e sistemas de secagem. Quando bem manejados, os secadores que utilizam baixas temperaturas ou ar natural são os que mais contribuem para a manutenção das qualidades originais do produto e os mais adequados para a secagem de sementes. Estes secadores constituem um método econômico, eficiente e apresentam alta aplicabilidade em pequenas e médias propriedades, devido ao menor investimento inicial quando comparados aos sistemas que utilizam altas temperaturas de secagem. Em regiões temperadas, o uso de secagem em baixas temperaturas é recomendado para milho com teor

de água inicial inferior a 18%, uma vez que, para valores superiores a este, são necessários grandes fluxos de ar, inviabilizando economicamente o sistema. Já em condições de clima tropical, este limite pode chegar até 25% b.u.

Entre os métodos de secagem artificial, a secagem com altas temperaturas é o método mais rápido e menos dependente das condições climáticas locais. Entretanto, é um dos métodos mais caros para a secagem de produtos agrícolas (Silva *et al.*, 2000).

Conforme Mata (1999), o ideal para manter a qualidade do produto seria que, após atingir seu ponto de maturação fisiológica, os processos de colheita, debulha e secagem fossem feitos sequencialmente. No entanto, tanto para a colheita quanto para a debulha, existe um teor de água ideal no qual o produto não sofre injúrias mecânicas nestes processos. A maioria dos grãos e sementes, quando vão para as unidades de secagem, apresenta teores de umidade entre 13 e 30%.

Apesar de todos os estudos envolvendo a melhor época de colheita dos grãos de milho, normalmente a colheita é realizada com os grãos ainda muito úmidos, tornando necessário proceder a secagem deste produto até atingir o teor de água adequado, para que se tenha um armazenamento seguro. Entretanto, a secagem artificial constitui o estágio mais crítico na produção de produtos agrícolas pois, se for conduzida em condições não apropriadas, os danos serão irreversíveis, prejudicando a comercialização ou o processamento (Brooker *et al.*, 1992).

2.3 Fatores que influenciam a qualidade dos grãos durante a secagem

A temperatura, a umidade relativa, a velocidade do ar de secagem, a taxa de secagem do produto, o teor de água inicial e final do produto, o sistema de secagem empregado e o tempo de residência do produto na câmara de secagem são os principais parâmetros que podem estar associados à perda de qualidade dos grãos e sementes durante o processo de secagem (Brooker *et al.*, 1992).

2.3.1 Temperatura do ar de secagem

A temperatura tem grande influência no processo de secagem e na qualidade dos grãos. O efeito da temperatura de secagem sobre o valor nutricional do milho para a alimentação animal tem recebido atenção dos pesquisadores. Estudos têm demonstrado que o milho seco em temperaturas acima de 60 °C tem seu valor energético diminuído, além de sofrer perdas de palatabilidade (Silva *et al.*, 1995; 2000). Ainda segundo os mesmos autores, na secagem em altas temperaturas, quando a temperatura da massa de grãos estiver acima de 60 °C, o endosperma dos grãos sofre alterações químicas.

Segundo Silva *et al.* (1995), em relação à secagem, deve ser dada atenção à temperatura da massa de grãos e à temperatura do ar de secagem. Embora deva haver grande preocupação com a temperatura do ar de secagem em sistemas de altas temperaturas, a temperatura atingida pelos grãos ou sementes é mais importante para a prevenção de danos. Quando se trata de sementes esta preocupação deve ser ainda maior, devido aos danos ao embrião que podem ser causados por temperaturas excessivas.

Lima (2001) recomenda utilizar para grãos de milho, em secador que opera de forma contínua, temperatura do ar de secagem de até 90 °C. Assim, segundo o autor, o grão atingirá uma temperatura em torno de 45 °C, o que não causa nenhum dano a sua integridade.

Em estudos realizados para avaliar o efeito da temperatura do ar de secagem e umidade inicial de colheita sobre a qualidade fisiológica e os danos mecânicos em milho, Franceschini (1997) observou que a suscetibilidade à quebra (SQ) aumenta com a temperatura do ar de secagem. De modo semelhante, Peplinski *et al.* (1994) observaram que, com o aumento da temperatura do ar de secagem, a percentagem de germinação era reduzida.

Villela & Silva (1992), em experimento em que avaliaram temperaturas do ar de secagem de 70, 80 e 90 °C e reduções do teor de água de 16,5% para 13%, obtiveram

aumento da velocidade de secagem e a redução do tempo total de exposição das sementes ao ar aquecido devido à elevação da temperatura do ar.

2.3.2 Umidade relativa do ar

Na secagem natural ou artificial em baixas temperaturas (até 10 °C acima da temperatura ambiente), ou quando se utiliza aeração, a umidade relativa do ar passa a ser um fator muito importante neste processo de secagem. Na secagem ou aeração, em locais de alta umidade relativa, a tendência é que o produto entre em equilíbrio com teor de água acima do recomendado para o armazenamento (13% no caso do milho), gerando possibilidade para o ataque de pragas, fungos e outros microorganismos. Já no caso da secagem ou aeração ser realizada em locais muito secos (UR baixas), o produto pode entrar em equilíbrio com um teor de água abaixo do recomendado para o armazenamento, gerando perdas econômicas para os produtores, devido às perdas de matéria seca (Silva *et al.*, 1995; 2000; Weber, 2001).

Portanto, para a secagem em baixas temperaturas, nas regiões mais quentes e com UR abaixo de 75%, o ventilador deverá ficar ligado continuamente até o final da secagem, mesmo não havendo produto no silo com teor de água superior a 16% b.u. Nas regiões mais úmidas em que a UR média está acima de 75%, o ventilador deverá ficar ligado somente nas horas em que a umidade relativa estiver baixa, o que geralmente ocorre durante o dia (Silva *et al.*, 1995; 2000).

2.3.3 Fluxo de ar e teor de água

A utilização de vazões específicas de ar abaixo do valor mínimo pode comprometer a qualidade do produto, enquanto a utilização de vazões específicas mais elevadas, apesar de reduzir o tempo de secagem, leva a um aumento no consumo de energia, além de exigir um maior investimento inicial. As recomendações de vazões mínimas do ar de secagem

segundo Silva *et al.* (1995), dependem do tipo de produto, clima da região e teor de água inicial.

A dependência do tipo de produto está ligada à maior suscetibilidade de alguns grãos à deterioração, devido à constituição química e facilidade com que os fungos penetram em seu interior. A influência do clima da região pode determinar o potencial de secagem, pois regiões com períodos prolongados de elevada umidade relativa necessitam de maior fluxo de ar ou, muitas vezes, os grãos entram em equilíbrio com elevados teores de água. O teor de água inicial também é um fator que determina o fluxo mínimo de ar e está diretamente ligado à suscetibilidade do produto ao ataque de fungos. Grãos com elevado teor de água estão mais expostos à deterioração e necessitam de maior fluxo de ar. Em geral, a vazão específica para secagem varia de 1 a 5 m³.s⁻¹.

Quando o ar é forçado através de uma massa de grãos, ele perde pressão estática devido ao atrito com as paredes e, principalmente, devido à resistência oferecida pela camada de grãos. Essa perda de pressão, também conhecida como perda de carga, deve ser compensada pelo ventilador com aumento do fluxo de ar, para que não haja redução da vazão (Athié *et al.*, 1998).

Conforme Silva *et al.* (2000), o aumento da vazão do ar exerce maior influência sobre o tempo de secagem, uma vez que a velocidade de deslocamento da frente de secagem é diretamente proporcional à vazão específica. Entretanto, quando se trabalha com secagem natural ou com baixa temperatura, em locais com alta umidade relativa, o aumento da vazão não é suficiente para o sucesso da secagem, pois essa variável não tem influência sobre o potencial de secagem do ar.

2.3.4 Taxa de secagem

De acordo com Cavariani (1996), a taxa de secagem expressa o conteúdo de água retirado das sementes em função do tempo de secagem e está relacionada com a movimentação da

água do interior para a superfície dos grãos. Esta movimentação da água, por sua vez, é dependente do genótipo, do estágio de maturação, do teor de água, da permeabilidade da camada protetora, da composição física do lote de sementes, da temperatura, da umidade relativa, do fluxo do ar e do método de secagem. A velocidade de secagem pode também ser função da composição química dos grãos e do método utilizado no processo.

2.4 Tipos de secagem

Através da secagem e do armazenamento corretos é possível conservar a qualidade de produtos agrícolas. A secagem pode ser realizada por métodos forçados ou não forçados. Os métodos forçados compreendem a secagem intermitente, contínua ou estacionária enquanto que métodos não forçados compreendem a secagem solar ou seca-aeração com ventilação natural) Elias & Oliveira, 2009).

Na secagem solar ou na seca-aeração, a lentidão e a dependência das condições climáticas são as principais limitações deste processo. Os baixos custos, entretanto, induzem produtores a utilizarem estes métodos de secagem. A secagem forçada ou artificial é um processo que visa remover o excesso de umidade até limites seguros para o armazenamento, sem alterar as propriedades físicas, químicas e biológicas dos grãos. A secagem em baixas temperaturas (até 10 °C acima da temperatura ambiente) não permite que os grãos percam algumas substâncias voláteis, contribuindo para manter a qualidade original do produto. A secagem em altas temperaturas é um processo de secagem mais rápido, mas pode causar danos à qualidade do produto (Elias, 2002; 2007).

2.4.1 Secagem estacionária ou leito fixo

A secagem estacionária ou leito fixo consiste, basicamente, em forçar um fluxo de ar através da massa de grãos que permanecerá em repouso. A secagem estacionária ocorre da base para o topo da camada de grãos, em um secador de fundo falso perfurado, e do

centro para a periferia, em secador de tubo central perfurado. Ocorre por camadas, em virtude da formação da zona de secagem, que corresponde à região onde se efetiva o intercâmbio de água do grão para o ar. Anteriormente à zona de secagem, têm-se grãos secos e alta temperatura e, posteriormente, grãos úmidos e baixa temperatura (Lorini *et al.*, 2002).

Conforme Elias & Oliveira (2009), na secagem estacionária os grãos permanecem estáticos e apenas o ar se movimenta durante o processo. Este é o único sistema, dentre os tecnificados, que pode utilizar ar sem aquecimento, embora nesse sistema predominem os métodos que usam aquecimento do ar na operação. Pouca rapidez e desuniformidade de secagem são as características mais indesejáveis da secagem estacionária. Por outro lado, a pouca danificação aos grãos e a necessidade de baixos investimentos são as características positivas desse sistema.

A utilização de fonte suplementar de calor na secagem por ar forçado tem a função de baixar a umidade relativa do ar, reduzindo o tempo total de secagem (Elias, 2007).

2.4.1.1 Secagem estacionária com ar não aquecido (ar natural)

Este método de secagem normalmente é realizado em silos, sendo o único aquecimento do ar de secagem aquele gerado pelo atrito das pás do ventilador que é usado no processo. Ocorre aquecimento de aproximadamente 2 a 3 °C do ar de secagem, o que representa 10 a 15% de decréscimo da umidade relativa do ar após a passagem pelo ventilador (Silva *et al.*, 2000).

É um processo de secagem bastante lento, devido principalmente ao pequeno fluxo de ar insuflado na massa de grãos e à capacidade de secagem que é dependente das condições do ar. Por esse motivo, precisa ser realizado com atenção para que não ocorra deterioração dos grãos durante a secagem, quando o produto encontra-se com elevada umidade. Por ser realizada em silo, é também entendida como secagem durante o

armazenamento, pois, após a secagem, o produto pode permanecer armazenado no mesmo local de secagem. Pode ser realizada em silos metálicos ou de concreto armado (Silva *et al.*, 2000).

Este tipo de secagem é um método capaz de manter a qualidade dos grãos a um nível aceitável para a indústria de processamento e também de reduzir a dependência de fontes energéticas requeridas para a secagem. É energeticamente eficiente e resulta em um produto final de boa qualidade, devido à baixa movimentação dos grãos no silo e pelo fato do produto não sofrer choques térmicos e hídricos. Além disso, exige um menor investimento inicial em relação à secagem realizada em sistemas que utilizam altas temperaturas, como por exemplo, com uso do GLP.

A secagem não forçada pode ser empregada para pequenas ou grandes quantidades de grãos, mas tem como pontos limitantes as condições ambientais e a velocidade de secagem do produto (Silva *et al.*, 2000).

2.4.1.2 Secagem estacionária com ar aquecido (Gás liquefeito de petróleo)

O GLP (Gás liquefeito de petróleo) é conhecido popularmente no Brasil como “gás de cozinha”, e que é normalmente comercializado no estado líquido em botijões. O GLP é caracterizado por sua grande aplicabilidade como combustível, devido à facilidade de armazenamento e transporte a partir do seu engarramento em vasilhames, como botijões, cilindros e outros. O GLP comercializado é composto pela combinação dos gases propano e butano na proporção de 50% cada. Segundo EMBRAPA (2004), o uso do GLP em secadores está se difundindo porque apresenta condições de queima mais homogêneas e passíveis de controle na comparação com outras fontes energéticas utilizadas para este mesmo fim.

As principais vantagens, em termos qualitativos, da secagem utilizando GLP são a queima limpa, não expelindo produtos que constituem resíduos tóxicos nocivos à saúde

humana nem prejudiciais ao meio ambiente. O uso do GLP resulta na maior qualidade dos grãos, por não deixar resíduos e nem odores nos grãos. O uso do GLP permite automação dos equipamentos, pela redução substancial de utilização de mão-de obra; controle absoluto da temperatura que permite secagem perfeitamente homogênea e redução significativa do tempo de secagem. O GLP tem, atualmente, como principal desvantagem o seu custo de aquisição, constituindo uma barreira ao produto frente ao uso da lenha como combustível utilizado em secagem de grãos (Portella & Martins, 2000; Lopes *et al.*, 2001).

A secagem usando o GLP permite um eficiente e preciso controle sobre estabilidade da temperatura, de forma que o processo seja homogêneo, sem variações e, conseqüentemente, que todos os grãos tenham exatamente o mesmo percentual de umidade em base úmida ao final do processo (Ribeiro & Vicari, 2005).

Hoje, o produto mais utilizado como fonte de aquecimento do ar para a secagem de produtos agrícolas no Brasil é a lenha. Conforme Portella & Martins (2001), a lenha é um combustível sólido de difícil queima e que libera uma grande quantidade de moléculas durante a combustão, sendo algumas de periculosidade comprovada. Entre estas moléculas estão os Hidrocarbonetos Poliaromáticos (HPAs). Estes Hidrocarbonetos são compostos formados durante a combustão incompleta de matérias orgânicas, podendo ser encontrados como contaminantes em matrizes complexas do meio ambiente, incluindo os alimentos. Os HPAs são famílias de produtos com características mutagênicas e carcinogênicas comprovadas cientificamente. Conforme Hutt *et al.* (1978), combustíveis gasosos produzem muito menos HPAs do que os combustíveis sólidos. Os mesmos autores, estudando a contaminação dos grãos durante a secagem, utilizando combustíveis gasosos (Propano e gás industrial), não verificaram aumentos significativos na contaminação dos produtos por HPAs.

2.4.1.3 Secagem estacionária com energia solar

A secagem solar para secagem vem sendo utilizada em alguns países para pequenas e médias instalações. Nos últimos anos, criaram-se alguns equipamentos simples nos quais se emprega o sol como fonte de energia para aquecimento do ar de secagem. Estas formas de secadores são vantajosas para pequenos volumes de produto, pois não requerem muito energia. Para grandes volumes de produtos, seriam necessárias grandes áreas de coletores solares, tornando-se inviável economicamente, ou então tornando o processo de secagem muito lento (Weber, 2001).

Apesar das dificuldades da utilização da energia solar em larga escala, há um crescente interesse na possibilidade de se usar essa fonte de energia em pequenas e médias propriedades para substituir as fontes convencionais (principalmente a lenha e os derivados do petróleo) na secagem de produtos agrícolas ou em outras aplicações. A secagem solar apresenta como vantagens ser uma forma de energia limpa e renovável, que não deixa resíduos nos grãos, de baixo custo e fácil instalação e com a possibilidade de obtenção de um produto final de melhor qualidade, pois os grãos são secos em temperatura de, na média, no máximo 10 °C acima da ambiente (Silva *et al.*, 1995).

A orientação do coletor da radiação solar tem grande efeito na quantidade total de energia recebida e, em muitos casos, é quase impossível orientar um coletor de forma que ele fique perpendicular aos raios solares, pois os investimentos adicionais para o direcionamento da superfície coletora inviabilizariam o sistema. Existem diversos tipos de coletores solares, tendo o coletor plano uma grande vantagem de absorver a energia diretamente do sol, em forma de radiação direta, e também a energia difusa (radiação refletida pela terra e pelas nuvens). Com um coletor plano, é possível, dependendo do fluxo de ar adotado e com o uso de cobertura transparente, incrementar a temperatura do ar em até 30° C, em dias quentes e de céu limpo. Um aumento de 5° C é considerado um bom valor para se obter uma eficiência razoável do sistema (Silva *et al.*, 2000).

2.4.2 Secagem intermitente

A secagem intermitente caracteriza-se pelo fato dos grãos não serem submetidos ao ar quente durante todo o processo, ou seja, determinado tempo eles são expostos a altas temperaturas, na câmara de secagem, intercalados com períodos em que não há circulação do ar, na câmara de equalização ou repouso. Durante este último período, ocorre homogeneização da umidade, pela migração de água do interior para a superfície do grão. Assim, a água é facilmente evaporada e transferida para o ar no momento da passagem seguinte pela câmara de secagem. Essa migração interna da água, juntamente com a passagem por elevadores e tubulações, causa resfriamento dos grãos, que permite o uso de temperatura mais elevada no ar de secagem. A secagem intermitente pode utilizar temperaturas de 60 a 100 °C, na entrada do secador, quando os grãos estiverem muito úmidos, e de até 120 °C, no final do processo (Ahrens *et al.*, 2000; Elias, 2002; Elias & Oliveira, 2009).

Durante o período de repouso, ocorre a reidratação das camadas superficiais dos grãos, reduzindo o gradiente interno de umidade, liberando gradativamente as tensões internas geradas por esse gradiente. Isso resulta em menos danos por trincamento, melhora o rendimento de grãos inteiros e a qualidade final do produto (Lorini *et al.*, 2002).

A aplicação de uma série de curtos períodos sob a ação do ar aquecido, intercalados por períodos sem aquecimento, aumenta a quantidade de água removida por unidade de tempo de exposição ao ar aquecido em relação à secagem contínua. Isso ocorre porque a secagem não é mais limitada pela velocidade de migração interna da umidade, uma vez que essa ocorre durante o período de repouso. Este procedimento possibilita uma melhor eficiência energética na secagem (Lorini *et al.*, 2002).

O ar de secagem, ao mesmo tempo em que fornece calor ao sistema, absorve água do produto em forma de vapor. O gasto de energia térmica provocado pela evaporação da água é acompanhado por um resfriamento do ar. Contudo, ele absorve em forma de vapor o que perde sob a forma de calor, caracterizando um processo isoentálpico. Grãos são

produtos higroscópicos e, como tais, sofrem variações no seu conteúdo de água, de acordo com as condições do ar ambiente que os circunda (Milman, 2001; Portella & Eichelberger, 2001; Elias, 2002).

2.5 Armazenagem

O armazenamento caracteriza-se como um importante setor entre a produção e o consumo das safras agrícolas, com determinantes influências socioeconômicas na disponibilidade quantitativa e qualitativa de alimentos (Puzzi, 2000).

Apesar da expressiva produção de grãos, a rede armazenadora brasileira ainda é extremamente deficiente tanto em relação a sua distribuição espacial, quanto à modalidade de manuseio da produção agrícola (Filho *et al.*, 2000).

No Brasil, as novas áreas de ocupação agrícola, por possuírem construções relativamente recentes, já são próprias para o armazenamento a granel. O mesmo ocorre nos estados do Sul do País, graças à tradicional agricultura de grãos, conforme se observa na Tabela 1.

TABELA 1. Capacidade Estática de Armazenagem (toneladas), para os sistemas convencional e a granel, por região. Brasil, 2011.

Região	Convencional	%	Granel	%	Total
Centro-Oeste	4.517.751	10	41.798.310	90	46.316.061
Nordeste	2.028.184	23	6.662.224	77	8.690.408
Norte	816.623	29	1.962.127	71	2.778.750
Sudeste	9.282.442	41	13.164.571	59	22.447.013
Sul	8.841.579	16	48.272.813	84	57.114.392
Brasil	25.486.579	19	111.860.045	81	137.346.624
N. de unidades	7.069	41	10.362	59	17.431

Fonte: CONAB (2011)

Mesmo que a capacidade estática de armazenagem no Brasil apresente-se relativamente compatível com a produção de grãos, as condições técnicas das estruturas de armazenamento e equipamentos, associadas à baixa eficiência operacional e administrativa, à baixa qualidade da mão de obra armazenadora e à localização espacial concentrada na rede coletora e intermediária de armazenamento, conduzem ao estrangulamento da estrutura existente, refletindo-se em grandes perdas dos produtos (Nogueira *et al.*, 1989; FEPAGRO, 1998; Filho *et al.*, 2000; CONAB, 2011). A capacidade estática de armazenagem de grãos no Brasil deveria ser, de no mínimo, 20% superior a sua produção anual de grãos.

Considerando que o sistema de armazenagem é composto por armazenagem em nível de fazenda, armazenagem coletora, intermediária e terminal, a estrutura armazenadora brasileira apresenta grande distorção. Conforme estimativa da CONAB (2011), a estrutura brasileira de armazenagem de grãos está distribuída da seguinte maneira: 15% na propriedade agrícola (fazenda), 79% coletora e intermediária (cooperativa, armazém, indústria, armazéns gerais, comércio, terminais intermodais) e 6% terminal (portos, indústria, comércio).

O sistema brasileiro de abastecimento apresenta fragilidade e inadequação, quando comparado a países como EUA e Argentina, onde respectivamente 50 e 35% da capacidade de armazenagem está nas fazendas. Já a armazenagem coletora representa, respectivamente, 30% e 25% do total instalado nesses países (Silva *et al.*, 1995; Filho *et al.*, 2000; Weber, 2001).

Para o agricultor, a armazenagem da produção na propriedade pode representar vantagens, como a redução ou ausência dos custos de transporte ou frete, a comercialização do produto em épocas de menor oferta e maior demanda (entressafra), melhor remuneração e aproveitamento dos recursos disponíveis na propriedade para a secagem e o armazenamento adequados, bem como a disponibilidade de um produto de

melhor qualidade e melhor adaptado às condições de consumo e/ou comercialização (Santos, 1977; Puzzi, 2000; Silva *et al.*, 1995; Filho *et al.*, 2000; Elias, 2002).

Como visto, a armazenagem em nível de fazenda representa apenas 15% da capacidade total de armazenamento a granel no Brasil, o que leva a efeitos indesejáveis, como perdas qualitativas e quantitativas de grãos. Essas deficiências, aliadas a descapitalização dos produtores, exigem comercialização imediata da produção (Silva *et al.*, 1995; Filho *et al.*, 2000; Elias, 2002; 2007).

Quanto ao manuseio, o armazenamento de grãos pode ser realizado de duas formas: convencional (sacarias) ou a granel.

A armazenagem convencional, ou em sacarias, utiliza estruturas como armazéns e/ou depósitos de construção relativamente simples, de alvenaria, na quase totalidade, com o acondicionamento dos grãos em sacaria. A maior área específica de trocas térmicas e hídricas, o maior espectro de contaminação microbiana e ataque de insetos, ácaros e roedores durante o armazenamento, o custo da embalagem e menor operacionalidade são importantes limitações da estocagem convencional em relação à estocagem à granel. Já a tradição, a versatilidade de utilização das instalações, permitindo o armazenamento, na mesma construção, de mais de uma espécie e/ou cultivar de grãos, com destinos distintos, e a utilização das edificações para outros fins que não o armazenamento, como a guarda de maquinaria agrícola e adubos, os custos do investimento bastante inferiores em relação ao silo ou armazém graneleiro caracterizam o sistema convencional como o predominante na propriedade rural (Silva *et al.*, 1995; Filho *et al.*, 2000; Weber, 2001).

A armazenagem a granel caracteriza-se pela dispensa do uso de embalagem, utilizando, para a estocagem dos grãos, estruturas como silos, armazéns graneleiros metálicos ou de concreto, ou ainda materiais de construção disponíveis e adaptados, principalmente em situações emergenciais, providos ou não de sistemas de aeração forçada. O maior aproveitamento do espaço disponível e a menor dependência de mão-de-

obra são aspectos vantajosos em relação ao sistema de armazenagem convencional (Nogueira *et al.*, 1989; Puzzi, 2000; Silva *et al.*, 1995; 2000; Weber, 2001).

O armazenamento de grãos também faz parte do sistema pós-colheita. A importância da armazenagem bem conduzida reside no fato de que um armazenamento adequado e seguro dos produtos agropecuários evita perdas e preserva a qualidade. Assim como ocorre para a colheita, há um teor de água apropriado para o armazenamento de grãos, durante o qual o teor de água deve ser mantido em níveis que impeçam ou dificultem a proliferação de fungos e insetos. Os fatores de qualidade a serem preservados dependem do uso final dos grãos (Montross *et al.*, 1999).

Conforme Silva *et al.* (2000), para um armazenamento seguro do milho pelo período de 12 meses, a faixa ideal de umidade deve estar entre 12 a 13 % b.u., sendo a tolerância máxima de 14% b.u., quando é aplicada de forma correta a técnica de aeração.

2.5.1 Fatores importantes no armazenamento

Atualmente, a qualidade da produção de grãos têm-se tornado aspecto relevante, tanto para comercialização interna como para exportação. Entre os processos pós-colheita, a secagem do produto é um determinante para a manutenção da qualidade dos grãos durante a armazenagem, além de ser a fase em que o consumo de energia é mais significativo (Sauer, 1992).

Segundo Bakker-Arkema (1994), para se avaliar a qualidade dos grãos, consideram-se diversas propriedades qualitativas, como teor de água, massa específica, percentual de grãos quebrados, teor de impurezas e matérias estranhas, danos causados pela secagem, susceptibilidade à quebra, qualidade de moagem, conteúdo de proteínas, valor como ração, viabilidade como semente, presença de insetos e fungos, tipo de grão e ano de produção. Entretanto, nem todas estas características qualitativas são consideradas, apesar de serem de grande importância para compradores internacionais. Segundo Roskens

(1995), há, porém, uma tendência mundial para se aprimorarem os padrões de classificação, acrescentando mais fatores de qualidade.

Segundo Biagi (1998), o comércio internacional de grãos procura orientar a qualidade por variáveis como umidade, porcentagem de inteiros, cor, presença de matérias estranhas e imperfeições. De acordo com Sartori (2001), poderia se incorporar a estes fatores os teores de proteína e óleo, dureza, massa específica e histórico do produto.

2.6 Fungos e micotoxinas

O desenvolvimento de fungos em grãos ou rações pode resultar na produção de micotoxinas, gerando tanto riscos para a economia quanto para a saúde humana e animal. Os fungos atuam sobre alguns constituintes dos grãos, principalmente sobre o conteúdo de óleo. A degradação de óleo e de outros componentes provoca perda de peso específico dos grãos. Esta perda de energia significa dizer que, quando uma dieta for elaborada com estes grãos, está apresentará um nível de energia inferior àquele calculado por ocasião da formulação. Então, ao se estimar o valor de energia e repor via fonte de gordura o equivalente ao perdido, isso será um processo de alto custo, em vista do preço destas fontes e da quantidades a serem aplicadas.

Ao contrário da forma como é avaliada a qualidade de grãos, matérias primas e rações, é de primordial importância lembrar que, quando há atividade fúngica, não necessariamente ocorrerá produção de micotoxinas, apenas ocorrerá quando o fungo produtor estiver em uma condição de estresse, mas em todas as situações haverá uma perda de valor nutricional de intensidade variável (Krabbe *et al.*, 1997).

Os principais fatores que favorecem o desenvolvimento de fungos durante o cultivo do milho na lavoura, são temperatura e umidade. Já durante o armazenamento de sementes, grãos e rações, são umidade, temperatura, período de armazenamento, nível de

contaminação, impurezas e matérias estranhas, insetos, nível de oxigênio, condições físicas da semente ou do grão e condições sanitárias (Lazzari, 1997).

Os principais danos causados por fungos nos grãos são aquecimento e emboloramento, alterações na coloração e aparecimento de manchas, alterações no odor e no sabor, alterações da composição química, perdas de matéria seca, diminuição do poder germinativo e produção de toxinas (Pomeranz, 1974; Silva *et al.*, 1995; 2000; Elias, 2007).

Substâncias tóxicas associadas a vegetais ou a produtos de origem vegetal, utilizados para alimentação humana e animal, têm sido noticiadas há milhares de anos. Um exemplo é o ergotismo, doença causada pela ingestão de toxinas produzidas pelo fungo *Claviceps purpurea*, o qual infesta cereais e outras gramíneas e cujos relatos datam de 600 a.c (Hesseltine, 1978).

Fungos de armazenamento estão sempre presentes em alto número em todo o tipo de material, como ar, poeira e água, além de normalmente estarem presentes em grãos e sementes (Lazzari, 1997; Pitt, 2000).

Dentre os fungos de depósito ou armazenamento, algumas espécies dos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium* constituem os que mais se proliferam nos grãos armazenados (Puzzi, 2000; Silva *et al.*, 1995; 2000; Elias, 2002).

Esses gêneros são os maiores produtores de micotoxinas. São capazes de se manterem em desenvolvimento com baixa umidade, produzindo toxinas que reduzem a qualidade nutritiva dos grãos e seu valor de mercado (Wetzel, 1987).

As micotoxinas passíveis de serem encontradas em milho são produzidas principalmente por espécies dos gêneros *Fusarium* (Fumonisina e Zearalenona), *Aspergillus* (aflatoxina e ocratoxinas) e *Penicillium* (ocratoxina) (Ali *et al.*, 1998; Almeida *et al.*, 2000; Machinski *et al.*, 2001).

Conforme Dowling (1997), citado por Liu *et al.* (2006), estima-se que, no mínimo, 25% dos cereais produzidos no mundo estão contaminados por micotoxinas, incluindo as aflatoxinas.

Nos países da América Latina, incluindo Brasil, Peru, Venezuela e Argentina, as aflatoxinas e as fumonisinas são as micotoxinas mais encontradas. No Brasil, a contaminação fúngica dos alimentos é bastante freqüente, uma vez que as condições climáticas propiciam o desenvolvimento dos fungos e a produção de micotoxinas. É importante ressaltar que o processamento e o armazenamento de grãos podem alterar a microbiota, porém as micotoxinas permanecem no produto devido à estabilidade química que apresentam (Wang *et al.*, 1992).

A incidência de aflatoxinas em milho tem sido avaliada e constatada por diversos autores (Janardhana *et al.*, 1999; Hermanns *et al.*, 2006; Kawashima & Soares, 2006; Kaaya & Kyamuhangire, 2006; Liu *et al.*, 2006).

Um dos mais importantes grupos de micotoxinas é o das fumonisinas. As fumonisinas são metabólitos secundários tóxicos produzidos por fungos, principalmente pela espécie *Fusarium verticillioides* e *Fusarium proliferatum*. As fumonisinas são predominantemente detectadas no milho e seus derivados e estes podem ser usados em rações destinados à nutrição de aves.

Entre as fumonisinas identificadas até o momento, FB₁, FB₂ e FB₃ são as mais isoladas em alimentos naturalmente contaminados, sendo a FB₁ a mais abundante e a mais tóxica de seu grupo de micotoxinas, representando cerca de 70% da contaminação total dos alimentos e rações naturalmente contaminados, seguida pela FB₂ e FB₃. As fumonisinas estão associadas à leucoencefalomalácea equina (LEME), onde clinicamente verifica-se demência, cegueira e convulsões. A morte é virtualmente certa dentro de 24 horas após o surgimento dos sintomas. Também estão correlacionadas ao edema pulmonar suíno. Em

humanos, o consumo de alimentos contaminados com FB₁ vem sendo estatisticamente relacionado à incidência de câncer esofágico (Mallmann *et al.*, 2001).

Estudos realizados utilizando-se material de cultura de *F. verticillioides* e de *F. proliferatum* contendo FB₁ foram associados com baixo desempenho, aumento do peso relativo de vísceras e hepatite em frangos de corte (Pozzi *et al.*, 2002).

Os tricotecenos são um grupo de mais de 100 micotoxinas e são classificadas em Tipo A, na qual se encontram as toxinas T-2, HT-2 e 15-MAS e em Tipo B, na qual está o deoxinilvalenol (DON ou Vomitoxina). São constituídas por anéis tricotecanos que apresentam uma ligação dupla entre os carbonos 9 e 10 e um grupamento epóxido nas posições 12 e 13 da estrutura (Scott, 1982).

Os tricotecenos inibem a síntese de proteínas, de DNA e RNA e acarretam efeitos imunossupressores e hemorrágicos. O efeito tóxico dos Tricotecenos se deve principalmente ao anel epóxido, pois sua destruição resulta em perda total da toxicidade. No entanto, há evidências que indicam a influência dos grupamentos substituintes e da ligação dupla entre o carbono 9-10 nesta característica (Oliveira *et al.*, 2001).

As micotoxinas deste grupo são produzidas por diversos gêneros de fungos, como *Fusarium*, *Trichoderma*, *Myrothecium*, *Stachybotrys*, *Cylindrocarpon* e *Trichothecium*, do qual o nome tricoteceno foi derivado.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), no município de Eldorado do Sul-RS (30°05'52" S, 51°39'08" W e altitude média de 46 m), localizada no km 47 da rodovia BR 290. O trabalho foi dividido em dois estudos, secagem estacionária (estudo 1) e secagem intermitente (estudo 2).

3.1 Cultivo do milho

Foram utilizados grãos de milho (*Zea mays* L.), híbrido AS-32, cultivados na EEA/UFRGS, na safra agrícola 2008/2009, em uma área experimental de 4 hectares, sob o sistema de plantio direto. Foram realizadas três coletas de grãos no campo, para as análises microbiológicas, em épocas distintas, aleatoriamente, em 10 linhas pré-selecionadas, sendo amostradas quinze espigas em cada linha e, posteriormente, homogeneizadas. As amostragens na lavoura foram realizadas em 12 de fevereiro/2009, 12 de março e 22 de março de 2009, onde os grãos apresentavam-se, respectivamente, nos estádios de desenvolvimento de grão leitoso (R3), o que ocorre de forma geral 12 dias após a polinização (FEPAGRO, 1998) e maturação fisiológica (R6). Também se determinou a umidade dos grãos nos três períodos de coleta no campo que eram de, respectivamente, 77; 26 e 19%. Para a análise toxicológica de micotoxinas, realizou-se apenas uma coleta no período intermediário (12/mar/2009), seguindo o mesmo procedimento.

As operações de secagem dos grãos foram divididas em dois estudos distintos.

3.2 Estudo 1

3.2.1 Colheita e secagem

Os grãos foram colhidos com colheitadeira automotorizada, com umidade de 16%, debulhadas em debulhadora estacionária mecânica de cilindro dentado, os grãos posteriormente limpos em máquina de ar e peneiras planas, para retirada de impurezas, grãos quebrados e outras matérias estranhas. Em seguida, foram divididos em 3 tratamentos de secagem (S_1 a S_3), sendo os grãos secos até teor de água de 10 a 12% em b.u aproximadamente.

S_1 - Secagem estacionária, em silo secador de concreto armado, com ar aquecido, uso de GLP, a 40 ± 5 °C.

S_2 - Secagem estacionária, em silo secador, com uso de energia solar.

S_3 - Secagem estacionária, em silo secador de concreto armado, com ar não aquecido, na condição ambiente, a 20 ± 5 °C.

Os grãos foram secos até teor de água respectivamente de 11,39%; 10,34% e 12,27% em b.u, para os tratamentos S_1 a S_3 . Foram utilizados fluxos de ar, respectivamente, de 3,09; 2,36 e 2,55 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$ de grãos. Utilizou-se velocidade do ar de secagem respectivamente de 36,4 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 35,3 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ e 38,1 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, para os tratamentos S_1 a S_3 . Para cada tratamento foram realizadas 3 repetições e foram secos 25 sacos em cada repetição de cada tratamento para a secagem S_1 e 30 sacos para as secagens S_2 e S_3 . As operações de secagem foram realizadas em silos secadores situados no Pólo de Pós-Colheita, localizado na Estação Experimental da UFRGS, em Eldorado do Sul (Figuras 1, 2 e 3).



FIGURA 1. Silo-secador de concreto armado com capacidade para 100 sacos de milho. Eldorado do Sul, RS. 2010.



FIGURA 2. Ventilador e queimador utilizados para secagem estacionária com GLP. Eldorado do Sul, RS. 2010.



FIGURA 3. Secador solar com capacidade para 100 sacos de milho. Eldorado do Sul, RS. 2010.

3.3 Estudo 2

3.3.1 Colheita e secagem

Os grãos foram colhidos com colheitadeira automotorizada, com umidade de 18%, debulhadas em debulhadora estacionária mecânica de cilindro dentado, os grãos posteriormente limpos em máquina de ar e peneiras planas, para retirada de impurezas,

grãos quebrados e outras matérias estranhas. Em seguida, foram divididos em 3 tratamentos de secagem (S_4 a S_6), sendo os grãos secos até teor de água de aproximadamente 13% em b.u.

S_4 - Secagem intermitente, com ar aquecido a 60 ± 5 °C, com uso de GLP.

S_5 - Secagem intermitente, com ar aquecido a 70 ± 5 °C, com uso de GLP.

S_6 - Secagem intermitente, com ar aquecido a 80 ± 5 °C, com uso de GLP.

A temperatura do ar de secagem foi controlada por sensor localizado na tubulação da saída do ar do ventilador para a câmara de secagem. Os grãos foram secos até teor de água respectivamente de 13,65%; 13,47% e 12,85% em b.u, para os tratamentos S_4 a S_6 . Foram utilizados fluxos de ar, respectivamente, de 1,45; 1,70 e 1,65 $m^3 \cdot s^{-1} \cdot t^{-1}$ de grãos. A velocidade do ar de secagem foi respectivamente de 64,0 $m \cdot s^{-1}$, 75,0 $m \cdot s^{-1}$ e 73,0 $m \cdot s^{-1}$, para os tratamentos S_4 a S_6 . Para cada tratamento, foram realizadas 3 repetições e foram secos 93 sacos em cada repetição para cada tratamento. As operações de secagem foram realizadas em secador intermitente (Figura 4), no Pólo de Pós-Colheita, localizado na Estação Experimental Agrônômica da UFRGS, em Eldorado do Sul (RS).



FIGURA 4. Secador intermitente utilizado para secagem do milho. Eldorado do Sul, RS. 2010.

3.4 Características avaliadas durante a secagem nos dois estudos

Durante as operações de secagem, nos dois estudos, foi realizado o acompanhamento da umidade dos grãos com determinador dielétrico (GEOLE),

previamente calibrado pelo método da estufa, sendo retiradas amostras em intervalos de tempo, para que a secagem fosse realizada até os grãos atingirem umidade de aproximadamente 11 e 13%, respectivamente, para os estudos 1 e 2. Ao final das operações, e a partir daí, todas as determinações de umidade foram feitas em estufa a 105 ± 3 °C, com circulação natural de ar (Brasil, 2009).

A temperatura do ar de secagem foi monitorada com termômetro de mercúrio, com escala de 0,5 °C, sendo o mesmo posicionado na entrada do secador, após o ventilador. A velocidade do ar de secagem foi monitorada utilizando-se anemômetro de pás rotativas.

A temperatura da massa de grãos foi monitorada com termômetro de mercúrio, com escala de 0,5 °C, coletando-se amostras na parte inferior do secador, colocando-as em copos plásticos e, após 3 minutos, foram lidos os resultados.

Também foram calculadas as taxas de secagem, em pontos por hora (pph^{-1}), dividindo-se a quantidade de água retirada (%) pelo tempo total de secagem.

3.5 Armazenamento

Após a secagem, os grãos foram armazenados em silos secadores. Para ambos os estudos, durante o armazenamento, foi realizado o monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar (Figura 5), através de dados obtidos na Base Meteorológica do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, localizado na EEA/UFRGS.

Aos 6 meses de armazenamento, foi realizada operação de expurgo, depois de constatada a presença de insetos da espécie *Sitophilus zeamais*, com a aplicação de pastilhas de fosfeto de alumínio (*Gastoxim*), na dosagem de 2 gramas de princípio ativo por metro cúbico de câmara. O expurgo foi feito com auxílio de lona de polietileno (200 micra), dentro dos silos de concreto armado, local de armazenamento dos grãos. Após esta operação, foi aplicada terra diatomácea na massa de grãos, para evitar nova infestação de

insetos. A cada quinze dias foi realizada operação de aeração, ligando-se o ventilador por oito horas contínuas durante o dia.

3.6 Condições ambientais durante o armazenamento

Na Figura 5, podem-se visualizar os valores das médias mensais de temperatura e umidade relativa do ar ocorridas entre os meses de Abril a Dezembro de 2009, na Estação Experimental Agronômica/UFRGS, local onde os estudos foram conduzidos. É importante salientar que durante o ano de 2009, tivemos um inverno atípico, bastante frio e chuvoso.

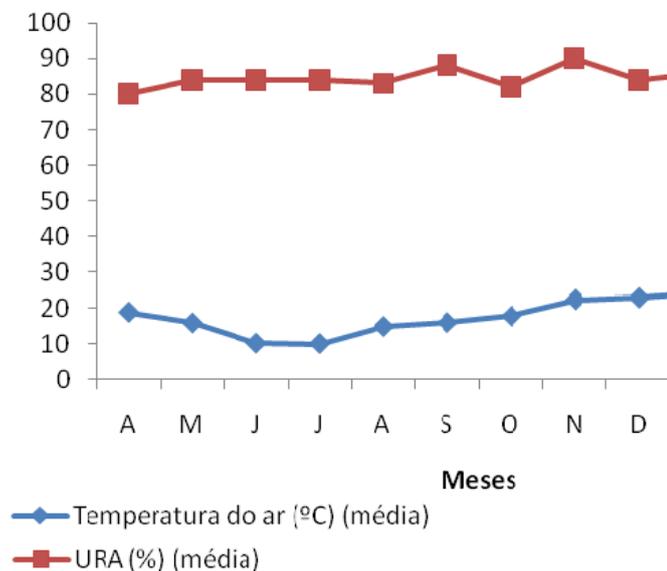


FIGURA 5. Médias mensais de temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) durante os nove meses de armazenamento dos grãos de milho submetidos a diferentes métodos e temperaturas do ar de secagem. Eldorado do Sul, RS, 2009.

3.7 Amostragem

As amostragens realizadas nos grãos a granel, durante o armazenamento, foram retiradas com auxílio de calador ou sonda, com cerca de 10 kg em cada amostragem, de cada repetição, oriundos dos grãos que constituíam a unidade experimental piloto de cada tratamento (600 kg), constituintes dos estudos 1 e 2. As análises foram realizadas em intervalos de três meses, durante nove meses, contando como tempo zero o momento posterior à secagem e, a partir deste momento, a cada três meses (3, 6 e 9 meses),

conforme mostrado no delineamento experimental no item 3.10. Também foram realizadas as análises antes da secagem, com os grãos “in natura”, que serviram como testemunha.

3.8 Análises realizadas

As mesmas análises físico-químicas, tecnológica e microbiológica foram realizadas para os dois estudos.

As análises físicas, tecnológica e microbiológica foram realizadas no Departamento de Fitossanidade da Faculdade de Agronomia da UFRGS. As análises químicas foram realizadas no Departamento de Zootecnia da Faculdade de Agronomia da UFRGS.

3.8.1 Análises físicas

A análise de umidade foi realizada com quatro repetições. As análises de peso volumétrico e peso de 1000 grãos foram realizadas com três repetições.

3.8.1.1 Umidade

A determinação da umidade foi realizada pelo método da estufa a 105 ± 3 °C, com circulação natural de ar, por 24 horas, conforme as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009). Os resultados foram expressos em % de umidade, em base úmida.

3.8.1.2 Peso volumétrico

Foi determinado com a pesagem dos grãos em balança eletrônica com precisão de 0,001g, a partir de uma quantidade de grãos colocados em recipiente de volume conhecido. Os resultados do peso volumétrico foram convertidos para serem expressos em kg m^{-3} .

3.8.1.3 Peso de 1000 grãos

O peso de 1000 grãos foi determinado através da contagem de 8 repetições de 100 grãos e posterior pesagem em balança analítica (BRASIL, 2009). Os resultados foram multiplicados por dez e são expressos em gramas.

3.8.2 Análise tecnológica

Os defeitos (grãos ardidos, chochos, germinados, fragmentados, quebrados, carunchados, mofados ou fermentados e matérias estranhas/impurezas) foram determinados pela metodologia oficial do Ministério da Agricultura (BRASIL, 1996). Os resultados estão expressos em percentagem de grãos inteiros. Foram realizadas três repetições.

3.8.3 Análises químicas

As análises químicas foram realizadas com três repetições.

3.8.3.1 Proteína bruta

O teor de proteína bruta foi obtido pelo método *Kjeldahl*, descrito pela A. A. C. C. (2000). Os resultados são expressos em percentagem.

3.8.3.2 Extrato etéreo ou Gordura bruta

A extração e a determinação do teor de extrato etéreo foram realizadas conforme o método A.O.C.S. (1996), com a utilização do aparelho *Soxhlet*. Os resultados são expressos em percentagem.

3.8.3.3 Material mineral ou Cinzas

O teor de cinzas ou matéria mineral foi determinado, conforme descrito na A.O.A.C. (1997), com incineração prévia e calcinação em mufla a 560-580 °C, até peso constante. Os resultados são expressos em percentagem.

3.8.3.4 Carboidratos ou Extrativo não-nitrogenado

A determinação de carboidratos foi realizada por análise proximal, subtraindo-se de 100 o somatório dos teores determinados para proteína, extrato etéreo e cinzas. Os resultados são expressos em percentagem.

3.8.3.5 Acidez do extrato etéreo

O teor da acidez do extrato etéreo, em ácido oléico, foi determinado de acordo com o método descrito na A.O.C.S. (1996). Os resultados são expressos em percentagem de ácidos graxos livres, após conversão dos valores de titulação para percentual de ácido oléico (peso molecular de 282).

3.8.4 Análise microbiológica

A contaminação microbiológica foi analisada no Laboratório de Epidemiologia de Plantas, do Departamento de Fitossanidade da Faculdade de Agronomia – UFRGS, pelo método de sanidade do papel filtro "*Blotter Test*", recomendado para análise de sementes pelo Ministério da Agricultura (Brasil, 2009). Efetuou-se a incidência, em porcentagem, de fungos dos gêneros *Aspergillus* spp., *Fusarium* spp. e *Penicillium* spp.

Foram coletados 200 grãos de cada amostra, divididos em oito repetições de 25 grãos cada. Posteriormente, foram distribuídos em gerbox plástico, previamente limpo com álcool etílico 70%, colocados sobre três folhas de papel filtro umedecidas com água destilada e autoclavada, em câmara de fluxo laminar. A seguir, os recipientes foram

colocados em câmara de crescimento sob iluminação contínua, à temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$, por um período de nove dias. Após a incubação a 25°C durante 9 dias, os fungos foram contados e identificados. A identificação dos fungos, em nível de gênero, presentes nos grãos de milho, foi realizada por meio de lupa estereoscópica e microscópio ótico. Foram realizadas 4 repetições.

3.8.5 Detecção de fungos potencialmente produtores de micotoxinas

Foram identificados os fungos produtores das seguintes micotoxinas: aflatoxina, fumonisina e tricoteceno. Os procedimentos foram realizados no Laboratório de Fitopatologia Molecular do Departamento de Fitossanidade da Faculdade de Agronomia da UFRGS, e serão descritos a seguir.

3.8.5.1 Crescimento dos fungos e preparação dos tecidos

Para a construção das curvas padrão, foram utilizados isolados de fungos das espécies *Aspergillus flavus*, *Fusarium graminearum* e *Fusarium verticillioides*. Os isolados foram inoculados para crescimento em meio BDA líquido, à temperatura de 25°C e sob condição de agitação (150 rpm), por um período de 48 a 72 horas.

O micélio foi recuperado e seco em papel de filtro para remover o excesso de meio líquido, congelado em nitrogênio líquido e moído em um almofariz com pilão. Para os padrões de milho, 100 g de grãos foram moídas em um triturador. O pó gerado para cada tecido foi usado no processo de extração de DNA.

3.8.5.2 Extração de DNA

O isolamento do DNA foi realizado baseando-se no protocolo CTAB (Doyle & Doyle, 1990) para ambos os tecidos, milho e fungos. Este procedimento foi previamente

testado para verificar se a eficiência foi igual para ambos os organismos, com resposta positiva.

3.8.5.3 Quantificação e diluição do DNA

Cada DNA foi quantificado em mini-fluorímetro TBS-380, marca *Turner BioSystems*, utilizando o fluoróforo SYBR Green I, marca *Invitrogen*. Para produzir a curva padrão, o DNA do fungo e do milho foram submetidos a uma diluição de cinco vezes em série.

3.8.5.4 PCR–tempo real e geração das curvas

A detecção dos fungos toxigênicos foram realizadas em um aparelho termociclador em tempo real ABI 7300 (*Applied Biosystems*). Reações TaqMan foram realizadas em volume final de 10 µl composta por 5 µl de TaqMan PCR Universal Master Mix (*Applied Biosystems*), 0,5 µl de cada *primer* diluído, 1 µl de sonda específica diluída, 1µl de água estéril e 2 µl de DNA molde. As configurações da reação foram 50 °C por 2 minutos e 95 °C por 10 minutos, seguidos de 45 ciclos de 95 °C por 5 segundos e 60 °C por 1 minuto.

Utilizou-se *primers* e sondas específicas para cada gene, já descritos na literatura. Para detecção de fungos produtores de fumonisina, utilizou-se o gene *Fum1* (Waalwijk *et al.*, 2008). Para fungos produtores de tricoteceno, usou-se o gene *Tri5* (Halstensen *et al.*, 2006) e, para os fungos produtores de aflatoxina, utilizou-se o gene *Nor1* (Mayer *et al.*, 2003). Para o milho, utilizou-se o gene *SSI1b* (Mano *et al.*, 2009).

A partir das curvas padrão, calculou-se a quantidade de DNA de fungo e de milho em cada amostra. Para cada amostra, no campo e no armazenamento, foram determinadas a presença ou ausência das micotoxinas estudadas.

3.9 Custos de secagem

Nas secagens com utilização de gás (S_2 e S_4 a S_6), para medição do consumo de GLP, foi utilizado um medidor de vazão de gás em m^3 , da marca *LAO*, modelo G1, posicionado antes do queimador, onde foram coletados dados de 1 em 1 hora, até o final da secagem. O consumo de gás foi medido em m^3 e, para calcular os valores gastos totais, usaram-se as seguintes deduções:

$1 m^3$ de GLP = 2,5 kg de GLP (Supergasbras, 2011)

1 kg de GLP = R\$ 2,50 ou US\$ 1,75 (em janeiro de 2011) (Supergasbras, 2011)

Para os cálculos de consumo de GLP, foram utilizadas as seguintes equações:

Consumo total (kg/t seca) = o consumo total foi obtido dividindo-se o consumo efetivo pelo peso dos grãos após secagem.

Consumo horário (kg/hora) = obtido mediante a divisão do consumo total efetivo pelo número efetivo de horas de duração da secagem.

Consumo unitário (kg/%/t seca) = obtido dividindo-se o consumo total pelo percentual de água retirado e pelo peso final de grãos secos.

Para os cálculos de custos de GLP, foram utilizadas as seguintes equações, considerando-se o preço de R\$ 2,50/kg de GLP ou US\$ 1,75, em janeiro de 2011, (Supergasbras, 2011):

Custo total (R\$/t seca) = obtido a partir do consumo total de GLP (kg/t seca).

Custo horário (R\$/hora) = obtido a partir do consumo horário de GLP (kg/hora).

Custo unitário (R\$/saco 60 kg) = obtido a partir do consumo total de GLP (kg/t seca), dividindo-se por unidade de 60 kg.

Em relação ao consumo e custos com eletricidade, para as secagens, foram realizados os seguintes cálculos:

Consumo total (kW) = calculado a partir do consumo de eletricidade horário de cada ventilador, multiplicado pelo tempo total de secagem.

Custo (R\$/saco de 60 kg) = obtido a partir do consumo de energia elétrica, considerando-se o preço de R\$ 0,37 por kW, em janeiro de 2011.

Para cálculo do consumo horário (kWh) de eletricidade usou-se a seguinte equação para motor trifásico:

$$\text{kWh} = (\sqrt{3} \times V \times A \times \text{Cos}\phi \times P)/1000, \text{ onde:}$$

V - Voltagem do local, 220 v;

A – intensidade da corrente elétrica, em ampere, medida com amperímetro;

Cos ϕ - Cosseno de ϕ , que indica o fator de potência, característico de cada motor;

P - Potência do motor em cv;

Para cálculo do custo total de secagem, para as secagens, utilizou-se o seguinte cálculo:

Custo total (R\$/saco de 60 kg) = obtido pela soma dos custos totais de GLP e eletricidade.

Para os tratamentos de secagem S₁ e S₂, utilizou-se um motor elétrico no secador, que acionava o ventilador que impulsionava o ar de secagem, com potência de 2,0 cv, Cos ϕ de 0,82 e corrente elétrica de 2,5 A. No tratamento S₃, o secador possuía um motor do ventilador de 1 cv, Cos ϕ de 0,68 e corrente de 2,0 A.

Para os três tratamentos de secagem S₄ a S₆, utilizaram-se dois motores elétricos no secador, um para acionar o ventilador que impulsionava o ar de secagem e o outro para acionar o mecanismo de movimentação de grãos dentro do secador intermitente, com potência de 1,5 e 4,0 cv, Cos ϕ de 0,73 e 0,71 e corrente de 2,8 e 3,0 A, respectivamente.

3.10 Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi conduzido segundo o delineamento inteiramente casualizado. A análise dos resultados seguiu dois esquemas, o A, onde entraram as análises de fungos

realizadas no campo e o B, onde entraram as análises de armazenamento, sendo dividido em B₁ e B₂, conforme mostrados a seguir:

Esquema A – Seguiu um esquema fatorial 3 x 4, sendo três épocas de coleta no campo, sendo que foram utilizadas 4 repetições.

Esquema B₁ – Seguiu um esquema fatorial 3 x 4, sendo três métodos de secagem (S₁ a S₃) e quatro períodos de armazenamento (pós secagem, 3, 6 e 9 meses), com três repetições para cada tratamento.

Esquema B₂ – Seguiu um esquema fatorial 3 x 4, sendo três temperaturas de secagem (S₄ a S₆) e quatro períodos de armazenamento (pós secagem, 3, 6 e 9 meses), com três repetições para cada tratamento.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas aplicando-se o teste de Tukey, adotando-se o nível de 5% de probabilidade. A avaliação estatística dos resultados dos estudos foi realizada por meio do aplicativo computacional estatístico *BioEstat* 5.0 (Ayres *et al.*, 2007).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Contaminação fúngica no campo

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da análise de fungos em grãos de milho nas amostras coletadas no campo. Ao longo das coletas, a umidade dos grãos foi reduzindo. Na primeira coleta, a umidade dos grãos foi de 77%; na segunda coleta foi de 26% e na última coleta de 19%, ocorrendo uma redução da umidade dos grãos à medida que a planta se aproximava da maturação de colheita.

TABELA 2. Incidência de fungos (%) dos gêneros *Fusarium*, *Aspergillus*, e *Penicillium* em grãos de milho, em diferentes épocas de desenvolvimento na lavoura¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Gênero	Umidade dos grãos		
	76%	26%	19%
<i>Fusarium</i>	A 94,25 a	B 25,0 b	C 14,13 b
<i>Aspergillus</i>	B 1,0 b	B 3,0 c	A 10,0 b
<i>Penicillium</i>	A 95,0 a	B 79,63 a	B 80,0 a

¹ – Os valores representam a média aritmética simples de 8 repetições e estão expressos em percentagem de incidência. Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas, na linha e minúsculas distintas, na coluna, diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Pode-se observar na Tabela 2 que ocorreu uma variação significativa da incidência de fungos conforme houve redução na umidade dos grãos até o momento da colheita. Houve uma redução significativa entre os três períodos de coleta de fungos do gênero *Fusarium* e, concomitantemente, ocorreu um aumento significativo de fungos do gênero *Aspergillus* quando a umidade diminuiu de 26 para 19%. Também pode-se perceber, na mesma Tabela, que os fungos do gênero *Penicillium* diminuíram à medida que a umidade

passou de 77 para 26% e se mantiveram estatisticamente iguais até o momento da colheita. Esse resultados tem semelhança com a afirmação de Marin *et al.* (1998) de que fungos do gênero *Fusarium* spp. têm preferência por substratos com teores de umidade mais elevados. Porém, conforme o mesmo autor, o gênero *Penicillium* tem uma maior preferência em desenvolver-se em umidades menores, o que não foi verificado neste trabalho. Almeida *et al.* (2000) avaliaram a microbiota fúngica em amostras de três híbridos de milho recém-colhidos e encontraram, em média, 71,1; 46,7 e 22,7% de incidência fúngica, respectivamente, de *Fusarium* spp., *Penicillium* spp. e *Aspergillus* spp., indicando a predominância destes três gêneros sobre outras espécies fúngicas.

Apesar das baixas incidências de *Aspergillus* spp. detectadas durante o período de campo, nas três épocas de coleta, os grãos de milho contaminados pelo patógeno constituem o inóculo inicial (Almeida *et al.*, 2000; Dilkin *et al.*, 2000; Kumar *et al.*, 2008). Isto indica o potencial do gênero *Aspergillus* em causar danos aos grãos de milho, quando armazenados, caso o patógeno encontre condições ambientais favoráveis ao seu desenvolvimento, sobretudo em situações onde o processo de secagem for ineficiente (Kumar *et al.*, 2008). A Tabela 2 demonstra ainda que, quando a umidade foi mais elevada (77%), ocorreu uma predominância de fungos do Gênero *Fusarium* e *Penicillium*. Com umidade mais baixa, ocorreu uma predominância de fungos do gênero *Penicillium*. Dilkin *et al.* (2000) encontraram contaminações de 23,6; 57,1 e 14,3% de *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp. e *Penicillium* sp., respectivamente, em grãos de cinco híbridos de milho recém-colhidos, com 18% de umidade, em Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul.

4.2 Micotoxinas no campo

Os resultados referentes à avaliação da presença de micotoxinas em grãos de milho no campo ocorreram quando os grãos apresentavam 26% de umidade. As micotoxinas avaliadas foram aflatoxina, fumonisina e tricoteceno.

Na detecção da presença de micotoxinas no campo, as micotoxinas fumonisina e tricoteceno foram detectadas. Sendo assim, os grãos já vão para a secagem e o armazenamento contaminados por essas toxinas. Essas micotoxinas são produzidas por fungos do gênero *Fusarium* spp., que se desenvolve em altas umidades. Warfield & Gilchrist (1999), detectaram uma elevada produção de fumonisina na fase de maturação fisiológica e em milho recém-colhido.

Almeida *et al.* (2000), estudando diversas amostras de milho, também observaram presença de fumonisinas em grãos na lavoura, desde após o florescimento até a colheita do produto. Conforme Sweeney & Dobson (1998), as espécies de *Fusarium* são patógenos da planta, que produzem micotoxinas antes ou imediatamente após a colheita.

Hermanns *et al.* (2006), avaliando fungos e fumonisinas em grãos de milho em diferentes estádios de maturação, observaram aumento na quantidade de fumonisinas quando a umidade dos grãos esteve abaixo de 48% no campo, até o momento da colheita.

A aflatoxina não foi detectada na coleta de campo no presente trabalho. Isso ocorre porque o gênero *Aspergillus* spp., produtor de aflatoxina (principalmente a espécie *Aspergillus flavus*), tem facilidade de se desenvolver em umidades mais baixas, e mesmo sendo detectado no campo, não entrou em condição de produção da toxina, sendo um fungo que desenvolve-se com mais intensidade durante o armazenamento.

4.3 Estudo 1

Os resultados médios da temperatura da massa de grãos nas secagens S₁ a S₃ foram, respectivamente, de 29, 28 e 25 °C. O valor médio da temperatura do ar de secagem nas secagens S₁ a S₃ foi de 32, 31 e 27 °C, na entrada do ar no silo secador, e de 30, 29, 26 °C na saída do ar do silo secador. Diversos autores observaram a formação de gradientes de temperatura entre as camadas inferiores e superiores (Pasin, 1991; Cavariani, 1996;

Portella & Eichelberger, 2001). O tempo de secagem foi de 06; 13 e 15 horas, e as taxas de secagem foram 0,77; 0,44 e 0,26 pph⁻¹, respectivamente para a secagem S₁ a S₃.

Portella & Martins (2001), estudando a secagem de trigo em condições estacionárias, utilizando GLP como combustível, com umidade inicial de 20%, em temperatura do ar de 40 °C obtiveram uma taxa de secagem de 0,71 pph⁻¹, valores semelhantes aos encontrados neste trabalho para a secagem com GLP (0,77 pph⁻¹).

Os resultados das análises físicas e tecnológica dos grãos “in natura”, ou seja, após a colheita e pré-limpeza e antes da secagem foram de umidade de 16%; peso volumétrico de 781,15 kg.m⁻³; peso de mil grãos de 348,37 g; e porcentagem de grãos inteiros de 91,41%.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados médios de umidade dos grãos de milho, submetidos à secagem estacionária com ar natural, GLP e solar, armazenados por nove meses.

TABELA 3. Umidade (%) em grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem estacionária, e ao longo de nove meses de armazenamento¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Tratamentos	Tempo de Armazenamento (meses)			
	0	3	6	9
GLP ²	B 11,39 a	B 10,79 b	A 13,71 a	A 13,17 b
Solar ³	D 10,34 b	C 12,37 a	B 13,45 a	A 13,95 b
Ar natural ⁴	C 12,27 a	C 12,55 a	B 13,91 a	A 15,93 a

1 – Os valores representam a média aritmética simples de 4 repetições e estão expressos em porcentagem, em base úmida. Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas, na linha e minúsculas distintas, na coluna, diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. 2 – Secagem com uso de GLP (Gás liquefeito de petróleo). 3 – Secagem com uso da energia solar. 4 – Secagem com uso de ar natural.

Os resultados apresentados na Tabela 3 mostram que os grãos foram secos até umidades de 11,39; 10,34 e 12,27% com uso de GLP, solar e ar natural, respectivamente. A secagem solar apresentou umidade inferior estatisticamente aos demais tratamentos logo após a secagem. Houve um aumento significativo da umidade dos grãos de milho, ao longo

do armazenamento, nos três tratamentos, tendendo ao equilíbrio higroscópico. Pode-se visualizar, na Figura 5, valores elevados de umidade relativa do ar ($> 80\%$) e temperaturas médias baixas ($< 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) até o sétimo mês de armazenamento, o que levou ao aumento da umidade de equilíbrio destes grãos. O tratamento secagem com GLP apresentou variação significativa de umidade entre três e seis meses de armazenamento, mantendo-se até o final do experimento. O tratamento secagem solar variou significativamente entre todos os períodos de armazenamento. O tratamento secagem com ar natural mostrou variações significativas entre três e seis e seis e nove meses de armazenamento. Ao final do armazenamento, a umidade dos grãos mostrou diferenças estatísticas entre os tratamentos, sendo que os grãos que mais absorveram umidade foram os secos com ar natural. Este fato pode ser explicado pela capacidade de adsorção/umedecimento e dessorção/secagem dos grãos, visto que a capacidade de dessorção é até sete vezes maior do que a capacidade de adsorção, ou seja, é mais fácil retirar água dos grãos do que reidratá-los, o que pode ser visto no tratamento secagem com ar natural, que apresentou maior umidade após a secagem e após os nove meses de armazenamento. Estes resultados concordam com os encontrados por outros autores (Elias *et al.*, 1990; Forlin, 1991; Dionello, 2000; Rehman, 2006; Seraphin, 2006).

Conforme Muir (1973), o aumento no teor de água dos grãos ocorre tanto pela atividade respiratória dos grãos como da microflora associada, embora a taxa respiratória seja menos intensa que a atividade de microrganismos. Conforme o mesmo autor, a respiração dos grãos é mais intensa quanto maior for a umidade destes, embora a temperatura, umidade relativa e o estado de conservação também influenciem o metabolismo dos grãos. O autor também relata que a água produzida durante o processo respiratório aumenta o teor de água do produto que, por sua vez, aumenta o desenvolvimento e a taxa respiratória da microflora.

Os grãos de milho são organismos vivos, possuidores de constituição química específica e estrutura interna porosa, que lhes confere características higroscópicas e de má condutibilidade térmica. Os grãos continuam o processo respiratório mesmo após a colheita. Através dos espaços intergranulares da massa de grãos, durante o armazenamento, permanecem em constantes trocas de calor e umidade com o ar ambiente (Muir, 1973; Multon, 1980). As trocas de calor e água entre os grãos armazenados e o ar ambiente são dinâmicas e contínuas até o limite de obtenção do equilíbrio higroscópico, em determinadas condições de temperatura e umidade relativa (Multon, 1980).

O comportamento higroscópico dos grãos no armazenamento, expresso através da variação da umidade, em associação com as alterações térmicas, é fundamental para a conservabilidade do produto e o manejo do sistema de armazenamento. Aumentos graduais de umidade e temperatura da massa, em função de diferentes volumes estáticos de grãos, sob certas condições de armazenamento, originam um conjunto de processos físico-químicos específicos e acumulativos na deterioração dos grãos conhecido como *efeito de massa*, o qual está estreitamente correlacionado com o desenvolvimento e a sucessão microbiana e de pragas durante o armazenamento (Muir, 1973; Multon, 1980; Elias *et al.*, 1990; Forlin, 1991; Elias, 2008).

Outra observação importante que pode ser observada na Tabela 3 é com relação à umidade dos grãos que foram secos com GLP, sendo os que menos variaram o conteúdo de água ao longo do armazenamento. Conforme Lopes *et al.* (2001), a secagem com GLP é mais homogênea do que quando se utiliza lenha como combustível.

Na Tabela 4, são apresentados os resultados médios de peso volumétrico dos grãos de milho, submetidos à secagem estacionária com ar natural, GLP e solar, armazenados por nove meses.

TABELA 4. Peso Volumétrico (kg.m^{-3}) de grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem estacionária, e ao longo de nove meses de armazenamento¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Tratamentos	Tempo de Armazenamento (meses)			
	0	3	6	9
GLP ²	A 764,23 a	AB 749,74 a	B 737,37 a	C 664,17 a
Solar ³	A 753,98 a	A 749,86 a	B 721,39 ab	C 636,58 b
Ar natural ⁴	A 749,22 a	A 747,83 a	B 713,98 b	C 612,71 c

1 – Os valores representam a média aritmética simples de 3 repetições e estão expressos em kg/m^3 . Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas, na linha e minúsculas distintas, na coluna, diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. 2 – Secagem com uso de GLP (Gás liquefeito de petróleo). 3 – Secagem com uso da energia solar. 4 – Secagem com uso de ar natural.

Os resultados apresentados na Tabela 4 demonstram que ocorreram perdas significativas ao longo dos 9 meses de armazenamento para todos os tratamentos. Os resultados evidenciam ainda que houveram diferenças estatísticas entre os tratamentos, a partir dos seis meses de armazenamento. As perdas em percentual de peso volumétrico, entre o início e o final do experimento, foram para a secagem com GLP, solar e ar natural de 13,09; 15,57 e 18,22, respectivamente. Já entre o início e os seis meses de armazenamento foram inferiores a 5%, para todos os tratamentos, indicando boa conservação quantitativa. Os grãos que foram secos com ar natural apresentaram resultados inferiores estatisticamente aos demais tratamentos, ou seja, maiores perdas quantitativas. Em todos os tratamentos ocorreram maiores perdas para o peso volumétrico após os seis meses de armazenamento, período onde as temperaturas de armazenamento foram maiores (Figura 5), levando a uma maior respiração dos grãos e, por consequência, um maior consumo de reservas.

O peso volumétrico está inversamente relacionado com a umidade dos grãos, ou seja, quanto maior for a umidade destes grãos, menor é o seu peso volumétrico (Brooker *et al.*, 1992). Este resultado pode ser verificado na Tabela 3, pois conforme houve um ganho de umidade ao longo do armazenamento, ocorreu redução no peso volumétrico destes grãos. Resultados semelhantes foram também encontrados por Alencar *et al.*, (2009). Estes

autores observaram uma maior redução do peso volumétrico em grãos de soja armazenados por 180 dias, nas maiores umidades (14,8%) e temperaturas (40 °C).

O conhecimento da massa específica ou peso volumétrico dos grãos é importante no dimensionamento de equipamentos de transporte, na determinação da capacidade estática de armazenamento e na regulagem de equipamentos de beneficiamento. Sua redução acompanha o grau de deterioração durante a armazenagem. A presença de insetos da espécie *Sitophilus zeamais* também contribuiu para redução no valor do peso volumétrico ao longo do armazenamento, principalmente a partir dos seis meses, concordando com Alencar *et al.* (2009). Os autores também verificaram que a presença de insetos reduziu o peso volumétrico em grãos de soja durante o armazenamento.

O peso volumétrico está diretamente relacionado com a integridade biológica dos grãos. Sua redução, durante o armazenamento, significa consumo de nutrientes, geralmente em consequência do metabolismo de organismos associados e dos próprios grãos (Rombaldi, 1988; Elias *et al.*, 1997).

Na Tabela 5, são apresentados os resultados médios do peso de mil grãos de milho, submetidos à secagem estacionária com ar natural, GLP e solar, armazenados por nove meses.

TABELA 5. Peso de 1000 grãos (g) de grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem estacionária, e ao longo de nove meses de armazenamento¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Tratamentos	Tempo de Armazenamento (meses)			
	0	3	6	9
GLP ²	A 292,39 a	B 278,26 a	AB 285,32 a	B 276,26 a
Solar ³	A 280,75 b	A 276,48 a	A 281,24 a	A 280,14 a
Ar natural ⁴	A 287,75 ab	AB 279,69 a	AB 284,09 a	B 276,27 a

1 – Os valores representam a média aritmética simples de 3 repetições e estão expressos em gramas. Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas, na linha e minúsculas distintas, na coluna, diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. 2 – Secagem com uso de GLP (Gás liquefeito de petróleo). 3 – Secagem com uso da energia solar. 4 – Secagem com uso de ar natural.

Os resultados apresentados na Tabela 5 demonstram que ocorreram perdas significativas ao longo dos nove meses de armazenamento para os tratamentos GLP e ar natural, enquanto o tratamento solar não variou significativamente. Os resultados demonstram que ocorreu uma perda de 5,52; 0,22 e 3,99%, respectivamente, para a secagem com GLP, solar e ar natural ao final dos nove meses de armazenamento. Os tratamentos secagem com ar natural, GLP e solar não diferiram estatisticamente aos 3, 6 e 9 meses de armazenamento. As maiores perdas no peso de 1000 grãos ocorreram após seis meses de armazenamento, período onde a temperatura e umidade de armazenamento foram maiores, levando a um aumento no ataque de insetos e organismos associados e no metabolismo dos grãos, consumindo reservas e, por conseqüência, maior perda quantitativa. Até seis meses de armazenamento as perdas foram inferiores a 3%, comportamento semelhante ao observado para o peso volumétrico (Tabela 4).

Estes resultados foram semelhantes aos encontrados por Dionello (2000), que estudando o efeito de diferentes temperaturas (20, 40, 60 e 80 °C) na secagem estacionária de grãos de milho, observou variações inferiores a 3%, durante 6 meses de armazenamento. Os índices observados refletem as perdas quantitativas totais, resultantes dos processos de deterioração dos grãos, devido ao seu metabolismo intrínseco, à atividade microbiana e a de pragas associadas (Caldasso, 1998). As menores perdas de peso de 1000 grãos correspondem aos melhores parâmetros conservativos da massa de grãos durante o armazenamento (Puzzi, 2000).

Na Tabela 6, são apresentados os resultados médios de grãos de milho sem defeitos, submetidos à secagem estacionária com ar natural, GLP e solar, armazenados por nove meses.

TABELA 6. Grãos de milho sem defeitos (%), armazenados no sistema a granel, após a secagem estacionária, e ao longo de nove meses de armazenamento¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Tratamentos	Tempo de Armazenamento (meses)			
	0	3	6	9
GLP ²	A 90,06 a	A 90,13 a	A 90,81 a	B 83,17 a
Solar ³	A 90,92 a	A 90,43 a	A 90,52 a	B 72,49 b
Ar natural ⁴	A 90,78 a	A 90,52 a	A 90,21 a	B 83,23 a

1 – Os valores representam a média aritmética simples de 3 repetições e estão expressos em percentagem, relativos a um total de 250 gramas. Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas, na linha e minúsculas distintas, na coluna, diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. 2 – Secagem com uso de GLP (Gás liquefeito de petróleo). 3 – Secagem com uso da energia solar. 4 – Secagem com uso de ar natural.

Em milho, são considerados defeitos os grãos ardidos, brotados, imaturos, fermentados, mofados, chochos, quebrados e fragmentados. Também são considerados defeitos, passíveis de condenação temporária, os grãos com insetos vivos e/ou sementes tóxicas, até que sejam realizados expurgo ou beneficiamento, conforme o caso (Brasil, 1996).

Os resultados apresentados na Tabela 6 mostram que, até os seis meses de armazenamento, não existiram diferenças significativas entre os tratamentos e nem ao longo do tempo, mantendo-se os resultados de grãos inteiros em relação ao tempo 0. Ocorreu uma redução significativa nos grãos sem defeitos aos 9 meses de armazenamento para todos os tratamentos avaliados. Ao final dos 9 meses de armazenamento, a secagem solar apresentou os piores resultados de grãos sem defeitos. O aumento de grãos carunchados e de grãos ardidos, após seis meses de armazenamento levaram a uma redução nos valores de grãos sem defeitos. O aumento de grãos com defeitos aos 9 meses de armazenamento ocorreu devido a um aumento no metabolismo dos grãos, visto que houve um aumento na sua umidade (Tabela 3) e temperaturas mais altas no armazenamento, o que deve ter favorecido o ataque de insetos e fungos.

A elevação no índice de defeitos ou redução de grãos inteiros pode ser explicada também pelo fato de que, após seis meses de armazenamento, os grãos sofreram um aumento de umidade acima dos 13%, o que favorece o ataque de fungos e insetos, bem como o aumento da taxa respiratória dos grãos, acarretando no aumento da ocorrência de defeitos oriundos de ação biológica (Rombaldi & Elias, 1989; Dionello, 2000).

Segundo as normas de classificação do milho do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA (Brasil, 1996), ao final do armazenamento de 9 meses, os grãos de milho foram classificados como tipo 2 (entre 80 e 87,5% de grãos sem defeitos) para os tratamentos GLP e ar natural e tipo 3 (entre 70 e 80% de grãos sem defeitos) para o tratamento solar. Porém até os seis meses de armazenamento, todos os grãos foram classificados como tipo 1 (acima de 87,5% de grãos sem defeitos), iguais ao momento posterior à secagem.

O índice de defeitos na classificação de grãos de milho é considerado como fator de depreciação da qualidade de um lote, os quais são defeitos de origem mecânica, física ou biológica. Além de reduzir a qualidade dos grãos, a presença de grãos quebrados, por exemplo, influencia em muitas ações de compra e venda entre empresas de alimentos e produtores (Lazzari, 1997).

Os resultados das análises químicas dos grãos “in natura” foram de 11,41% de proteína bruta; 5,07% de extrato etéreo; 1,42% de material mineral; 82,08% de carboidratos e acidez de 0,48% de ácido oléico.

Na Tabela 7, são apresentados os resultados médios de proteína bruta (%) dos grãos de milho submetidos à secagem estacionária com ar natural, GLP e solar, e armazenados por nove meses.

TABELA 7. Proteína bruta (%) em grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem estacionária, e ao longo de nove meses de armazenamento¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Tratamentos	Tempo de Armazenamento (meses)			
	0	3	6	9
GLP ²	A 10,48 b	B 9,75 b	B 9,71 a	C 9,05 b
Solar ³	A 10,83 a	B 9,58 b	B 9,44 a	B 9,34 ab
Ar natural ⁴	A 11,03 a	B 10,23 a	C 9,71 a	C 9,69 a

1 – Os valores representam a média aritmética simples de 3 repetições e estão expressos em percentagem, em base seca. Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas, na linha e minúsculas distintas, na coluna, diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. 2 – Secagem com uso de GLP (Gás liquefeito de petróleo). 3 – Secagem com uso da energia solar. 4 – Secagem com uso de ar natural.

Os resultados na Tabela 7 demonstram que ocorreram diferenças significativas de perdas de proteína ao longo do armazenamento para todos os tratamentos avaliados, sendo que estas perdas, após nove meses de armazenamento, foram de 13,65; 13,76 e 12,15% para secagem com GLP, solar e ar natural, respectivamente. Ao final de nove meses de armazenamento, o tratamento ar natural apresentou o maior valor de proteína bruta, superior estatisticamente ao tratamento GLP. O tratamento Solar teve um valor intermediário, não diferindo estatisticamente entre os extremos. Todos os grãos, de todos tratamentos, sofreram reduções no percentual de proteína dos grãos, durante o armazenamento, em função das características químicas intrínsecas de degradação dos grãos e/ou de requerimento dos seus constituintes, frente aos fatores físico-químicos e biológicos das condições de armazenamento. O aumento da umidade dos grãos ao longo do armazenamento (Tabela 3), principalmente após seis meses, levou a um aumento na taxa respiratória destes grãos, aumentando o consumo de reservas por parte dos grãos e, por consequência, ocasionou maiores perdas qualitativas.

Os grãos, mesmo após serem colhidos, continuam a respirar. O processo respiratório é acompanhado pelo consumo das substâncias de reserva e os principais fatores que alteram a intensidade do processo respiratório são a temperatura, teor de água

das sementes e a presença de fungos na massa de sementes (Puzzi, 2000). Seraphim (2006) observou reduções no teor de proteína de 14,5% em grãos de milho armazenados por doze meses em condições naturais em sacos de papel.

Na Tabela 8, são apresentados os resultados médios de extrato etéreo (%) dos grãos de milho submetidos à secagem estacionária com ar natural, GLP e solar, e armazenados por nove meses.

TABELA 8. Extrato etéreo (%) em grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem estacionária, e ao longo de nove meses de armazenamento¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Tratamentos	Tempo de Armazenamento (meses)			
	0	3	6	9
GLP ²	A 5,79 a	A 5,93 a	B 4,72 a	B 4,63 a
Solar ³	A 5,38 b	A 5,29 b	B 4,52 a	C 4,35 a
Ar natural ⁴	A 4,99 c	B 4,52 c	B 4,48 a	C 3,73 b

1 – Os valores representam a média aritmética simples de 3 repetições e estão expressos em percentagem, em base seca. Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas, na linha e minúsculas distintas, na coluna, diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. 2 – Secagem com uso de GLP (Gás liquefeito de petróleo). 3 – Secagem com uso da energia solar. 4 – Secagem com uso de ar natural.

Os resultados na Tabela 8 indicam que todos os tratamentos apresentaram perdas de extrato etéreo ao final dos nove meses de armazenamento, sendo que estas foram de 20,04; 19,15 e 25,25% para secagem com GLP, solar e ar natural, respectivamente. Ao final de 9 meses de armazenamento, o tratamento secagem com ar natural apresentou o menor valor de gordura bruta, enquanto que os tratamentos GLP e solar não diferiram entre si. Também pode-se visualizar que as maiores perdas ocorreram entre três e seis meses para os tratamentos secagem com GLP e secagem solar e entre seis e nove meses para o tratamento secagem com ar natural, períodos estes em que ocorreram variações significativas de umidade (Tabela 3), levando a uma maior taxa respiratória destes grãos e, por consequência, um maior consumo de reservas e perdas de gordura bruta. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Alencar *et al.*, (2009). Este autor observou

que há uma redução do teor de lipídeos em grãos de soja a medida que aumentaram a temperatura de armazenamento e a umidade dos grãos ao longo de seis meses de armazenagem.

Conforme Pomeranz (1974), os lipídeos caracterizam a fração constituinte mais suscetível à deterioração dos grãos de milho durante o armazenamento, devido à redução do seu conteúdo total e/ou pela suscetibilidade a alterações estruturais, e também influenciam diretamente na secagem e conservabilidade do produto armazenado. A velocidade das alterações dos lipídios depende da umidade, da temperatura e do tempo de armazenamento (Rupollo *et al.*, 2006).

Christensen & Kaufman (1965), citados por Krabbe (1995), relatam que os fungos produzem lipases, que degradam a gordura dos cereais a ácidos graxos livres, os quais são usados como fonte de energia para o seu próprio metabolismo. Freitas *et al.* (1998) verificaram redução do conteúdo de gordura em grãos de trigo armazenados, em consequência de intenso processo respiratório.

Aos seis meses de estocagem, foi constatada a presença de insetos da espécie *Sitophilus zeamais*. A presença desses insetos leva a uma redução nos teores de proteína bruta e extrato etéreo dos grãos, pois o inseto ataca diretamente o embrião do grão, e consome esses nutrientes.

Na Tabela 9, são apresentados os resultados médios de cinzas (%) dos grãos de milho, submetidos à secagem estacionária com ar natural, GLP e solar, e armazenados por nove meses.

TABELA 9. Cinzas (%) em grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem estacionária, e ao longo de nove meses de armazenamento¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Tratamentos	Tempo de Armazenamento (meses)			
	0	3	6	9
GLP ²	C 1,51 a	C 1,66 a	B 1,80 a	A 1,99 b
Solar ³	C 1,51 a	C 1,50 b	B 1,70 b	A 1,93 b
Ar natural ⁴	C 1,46 a	C 1,47 b	B 1,58 c	A 2,14 a

1 – Os valores representam a média aritmética simples de 3 repetições e estão expressos em percentagem, em base seca. Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas, na linha e minúsculas distintas, na coluna, diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. 2 – Secagem com uso de GLP (Gás liquefeito de petróleo). 3 – Secagem com uso da energia solar. 4 – Secagem com uso de ar natural.

Os resultados na Tabela 9 mostram que todos os tratamentos apresentaram aumento no teor de cinzas ao final dos nove meses de armazenamento. O tratamento ar natural apresentou o maior valor de cinzas ao final do armazenamento, enquanto os tratamentos GLP e solar não apresentaram diferenças significativas entre si, aos nove meses de armazenamento.

Segundo Salunkhe *et al.* (1985), o conteúdo mineral, representado pelo 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. A atividade metabólica dos grãos e dos microrganismos associados consome a matéria orgânica, oxidando-a completamente até CO₂ e água ou oxidando parcialmente em esqueletos de carbono para síntese de novas moléculas. Em ambos os processos há liberação de calor, e com transformação estrutural da 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.

Tendo-se em vista as características de conservabilidade dos constituintes minerais dos grãos, que sofrem somente transformações na sua estrutura durante a armazenagem, as variações em incrementos aparentes observadas refletem a intensidade da degradação dos compostos orgânicos nas diferentes condições de armazenamento estudadas. A exemplo do

que se verifica com a fração orgânica dos carboidratos, aos menores incrementos proporcionais aparentes de minerais correspondem os melhores efeitos conservativos relativos (Forlin, 1991).

Na Tabela 10, são apresentados os resultados médios de carboidratos (%) dos grãos de milho, submetidos à secagem estacionária com ar natural, GLP e solar, e armazenados por nove meses.

TABELA 10. Carboidratos (%) em grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem estacionária, e ao longo de nove meses de armazenamento¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Tratamentos	Tempo de Armazenamento (meses)			
	0	3	6	9
GLP ²	D 80,65 b	C 82,81 b	B 83,90 a	A 84,52 a
Solar ³	C 80,69 b	B 83,62 a	A 84,54 a	A 84,61 a
Ar natural ⁴	C 81,66 a	B 83,32 a	A 84,29 a	A 84,25 a

1 – Os valores representam a média aritmética simples de 3 repetições e estão expressos em percentagem, em base seca. Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas, na linha e minúsculas distintas, na coluna, diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. 2 – Secagem com uso de GLP (Gás liquefeito de petróleo). 3 – Secagem com uso da energia solar. 4 – Secagem com uso de ar natural.

Através dos resultados mostrados da Tabela 10, pode-se observar que o teor de carboidratos aumentou ao longo do tempo de armazenamento. Trata-se de um aumento virtual, aparente ou relativo, uma vez que decorre da diminuição das frações proteína e extrato etéreo durante o armazenamento. Essa variação em incrementos aparentes da fração carboidratos reflete uma relação proporcional, em consequência do requerimento de constituintes dessa fração no metabolismo intrínseco dos grãos, de microrganismos e pragas associados, além do fato de serem esses constituintes bastante suscetíveis a transformações químicas enzimáticas e não enzimáticas durante o armazenamento. Também pode-se notar na Tabela 10 que a variação de carboidratos ao final dos nove meses de estocagem foi de 4,79; 4,86 e 3,17%, para a secagem dos grãos de milho com GLP; solar e ar natural, respectivamente.

Os carboidratos são constituintes dos grãos diretamente consumidos pelo próprio metabolismo e por microrganismos associados, refletindo-se em decréscimo real do seu conteúdo total durante o armazenamento (Salunkhe *et al.*, 1985). A maior proporção relativa de carboidratos dos grãos de milho, as maiores perdas das frações proteína e extrato etéreo, a forma de expressão percentual e o critério de determinação proximal conduzem ao comportamento observado, onde as menores variações estão associadas aos melhores efeitos conservativos desses compostos nos grãos durante o armazenamento (Caldasso, 1998; Dionello, 2000; Elias, 2002; Elias & Oliveira 2009). Baseado nisto, o tratamento com ar natural apresentou os melhores valores finais de carboidratos, visto que a variação no conteúdo deste nutriente foi a menor entre os tratamentos ao longo do armazenamento.

Na Tabela 11, são apresentados os resultados médios de acidez do extrato etéreo em ácido oléico (%) dos grãos de milho, submetidos à secagem estacionária com ar natural, GLP e solar, e armazenados por nove meses.

TABELA 11. Acidez do extrato etéreo em ácido oléico (%) em grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem estacionária, e ao longo de nove meses de armazenamento¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Tratamentos	Tempo de Armazenamento (meses)			
	0	3	6	9
GLP ²	B 0,39 b	B 0,35 a	B 0,26 a	A 0,67 b
Solar ³	B 0,53 a	C 0,39 a	C 0,28 a	A 0,96 a
Ar natural ⁴	B 0,42 ab	B 0,38 a	B 0,29 a	A 1,00 a

1 – Os valores representam a média aritmética simples de 3 repetições e estão expressos em percentagem. Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas, na linha e minúsculas distintas, na coluna, diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. 2 – Secagem com uso de GLP (Gás liquefeito de petróleo). 3 – Secagem com uso da energia solar. 4 – Secagem com uso de ar natural.

Pode-se notar na Tabela 11 que, em todos os tratamentos ao longo do armazenamento, o valor de acidez aumentou até os nove meses de armazenamento. Até os seis meses de armazenamento as variações não foram significativas para os tratamentos

GLP e ar natural. Após seis meses de armazenamento, a acidez aumentou significativamente para todos os tratamentos. Ao final do armazenamento, os tratamentos solar e ar natural tiveram os maiores valores de acidez e não diferiram entre si. Isso ocorreu devido ao maior tempo de secagem destes tratamentos. Conforme Elias & Oliveira (2009), o melhor parâmetro químico para avaliação da conservabilidade dos grãos durante o armazenamento é a acidez. Conforme estes mesmos autores, quanto maior for o tempo de secagem, maiores serão os efeitos negativos latentes ao metabolismo dos grãos, acarretando em maior aumento da acidez. Neste trabalho, estes efeitos se manifestaram ao final do armazenamento, em maior grau nos tratamentos que tiveram uma secagem mais lenta.

Segundo Pomeranz (1974), o aumento dos valores de acidez está relacionado diretamente com a atividade catalítica das lipases produzidas por microorganismos e/ou pelo próprio grão, ocasionando o desenvolvimento da rancidez durante a estocagem. A acidez do óleo aumenta com a deterioração dos grãos no armazenamento, sendo o aumento utilizado como parâmetro de conservabilidade.

A ocorrência de ácidos graxos livres, ou mesmo constituintes de triglicerídeos e fosfolipídios, predispõe à deterioração da matéria graxa, por via hidrolítica oxidativa ou cetônica. As lipoxidases constituem o grupo de enzimas mais ativas no processo de oxidação de lipídeos, podendo ter origem nos próprios grãos ou serem produzidas por microorganismos, ácaros e/ou insetos associados. A redução do teor de extrato etéreo e o aumento do teor de ácidos graxos livres estão diretamente correlacionados com a velocidade e a intensidade do processo deteriorativo dos grãos. A avaliação desses índices constitui-se em um eficiente parâmetro para o controle da conservabilidade durante o armazenamento (Pomeranz, 1974; Salunkhe *et al.*, 1985; Elias, 2008).

Aosani (2007), estudando a acidez do óleo em grãos de soja secos em diferentes temperaturas e armazenados por 180 dias em temperaturas de 17 e 27 °C, observou um

aumento na acidez do óleo com o aumento do tempo e temperatura de armazenamento. Este mesmo autor também observou que esta variação foi maior após os três meses de armazenamento.

Os resultados apresentados na avaliação da composição química e de suas variações estão de acordo com outros estudos realizados com milho (Caldasso, 1998; Elias *et al.*, 1999; Dionello, 2000) e outras espécies (Rombaldi, 1988; Forlin, 1991; Deliberali, 1998; Elias, 1998; Lopes, 1999; Aosani, 2007).

Na Tabela 12, são apresentados os resultados da análise de fungos dos gêneros *Fusarium*, de três em três meses, para os grãos secos em silos secadores estacionários, com uso de GLP, energia solar e ar natural ao longo de nove meses de armazenamento.

TABELA 12. Incidência de fungos (%) do gênero *Fusarium* em grãos de milho submetidos à secagem estacionária com uso de GLP, energia solar e ar natural, em intervalos de três meses, durante nove meses de armazenamento¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Tempo de Armazenamento (meses)	Tratamentos		
	GLP	Solar	Ar natural
3	A 70 b	C 24 b	B 48 c
6	A 75 b	A 85 a	A 78 b
9	A 88 a	A 85 a	A 87 a

¹ – Os valores representam a média aritmética simples de 8 repetições e estão expressos em percentagem de incidência. Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas, na linha, e minúsculas distintas, na coluna, diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Pode-se visualizar na Tabela 12 que houve um acréscimo significativo de fungos do gênero *Fusarium* em todos os tratamentos ao longo do tempo de armazenamento. Este aumento da quantidade de *Fusarium* tem relação direta com o aumento da umidade dos grãos durante o armazenamento (Tabela 3), favorecendo o desenvolvimento do fungo. Após seis meses de armazenamento, não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos.

Na Tabela 13, são apresentados os resultados da análise de fungos dos gêneros *Aspergillus*, de três em três meses, para os grãos secos em silos secadores estacionários, com uso de GLP, energia solar e ar natural ao longo de nove meses de armazenamento.

TABELA 13. Incidência de fungos (%) do gênero *Aspergillus* em grãos de milho submetidos à secagem estacionária com uso de GLP, energia solar e ar natural, em intervalos de três meses, durante nove meses de armazenamento¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Tempo de Armazenamento (meses)	Tratamentos		
	GLP	Solar	Ar natural
3	A 48 a	AB 37 a	B 30 a
6	A 12 b	A 9 b	A 17 b
9	A 9 b	A 14 b	A 23 b

¹ – Os valores representam a média aritmética simples de 8 repetições e estão expressos em percentagem de incidência. Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas, na linha, e minúsculas distintas, na coluna, diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

De acordo com os resultados obtidos na Tabela 13, pode-se perceber que ocorreu uma variação significativa ao longo do tempo de armazenamento, tendendo a uma redução da ocorrência de fungos do gênero *Aspergillus*, para todos os tratamentos. A partir dos seis meses de armazenamento até o final, os tratamentos não diferiram entre si. Isto pode ser explicado pelo fato de fungos do gênero *Aspergillus* terem uma maior facilidade de se desenvolver em grãos com umidade inferior a 14%, conforme pode ser verificado na Tabela 3, concordando com as afirmações de Miller (1995), que cita que os fungos de armazenamento, como os do gênero *Aspergillus* e *Penicillium*, contaminam os grãos após a colheita e têm a capacidade de viver associados a grãos com teor de umidade mais baixo (13 a 13,5%) e temperaturas mais elevadas (25°C). Rupollo *et al.* (2006) também observaram maior contaminação de *Aspergillus* em grãos de aveia quando estes estavam mais secos.

Na Tabela 14, são apresentados os resultados da análise de fungos dos gêneros *Penicillium*, de três em três meses, para os grãos secos em silos secadores estacionários, com uso de GLP, energia solar e ar natural ao longo de nove meses de armazenamento.

TABELA 14. Incidência de fungos (%) do gênero *Penicillium* em grãos de milho submetidos à secagem estacionária com uso de GLP, energia solar e ar natural, em intervalos de três meses, durante nove meses de armazenamento¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Tempo de Armazenamento (meses)	Tratamentos		
	GLP	Solar	Ar natural
3	B 45 c	A 97 a	A 97 a
6	A 95 a	A 91 a	A 95 a
9	A 80 b	A 69 b	A 69 b

¹ – Os valores representam a média aritmética simples de 8 repetições e estão expressos em percentagem de incidência. Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas, na linha, e minúsculas distintas, na coluna, diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Pode-se notar, a partir dos resultados mostrados na Tabela 14, que ocorreu uma variação significativa ao longo do tempo de armazenamento, com tendência à redução da quantidade de fungos *Penicillium*, entre o início (3 meses) e o final do período de armazenamento (9 meses). Entre os tratamentos, a partir dos 6 meses de armazenamento, não houve diferença entre eles. Os resultados demonstram que o gênero *Penicillium* é um fungo que prefere condições de baixa umidade para se desenvolver no armazenamento, como também condições de alta umidade no campo. Estes resultados concordam com os observados por outros autores, que citam que o gênero *Penicillium* tem uma maior preferência por teores de umidade menores (13 a 13,5%) (Miller, 1995; Marin *et al.*, 1998).

Na Tabela 15, são apresentados os valores médios da análise de fungos dos três gêneros estudados para cada tratamento, para os grãos secos em silos secadores estacionários, com uso de GLP, energia solar e ar natural ao longo de nove meses de armazenamento.

TABELA 15. Valores médios de Fungos (%) do gênero *Fusarium*, *Aspergillus* e *Penicillium* em grãos de milho submetidos à secagem estacionária com uso de GLP, energia solar e ar natural, durante nove meses de armazenamento¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Gênero	Tratamentos		
	GLP	Solar	Ar natural
<i>Fusarium</i>	A 78 a	A 65 a	A 72 a
<i>Aspergillus</i>	A 23 b	A 20 b	A 23 b
<i>Penicillium</i>	A 73 a	A 84 a	A 86 a

¹ – Os valores representam a média aritmética simples de 8 repetições e estão expressos em percentagem de incidência. Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas, na linha, e minúsculas distintas, na coluna, diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

A Tabela 15 demonstra que, entre os métodos de secagem, não existiram diferenças estatísticas para cada gênero de fungo analisado. Também pode-se perceber que houve uma maior predominância de fungos dos gêneros *Fusarium* e *Penicillium* do que do gênero *Aspergillus*, dentro de cada tratamento.

Na Tabela 16, são apresentados os resultados de detecção de micotoxinas em grão de milho, de três em três meses, secos em silos secadores estacionários, com uso de GLP, energia solar e ar natural ao longo de nove meses de armazenamento.

TABELA 16. Detecção de aflatoxina, fumonisina e tricoteceno em grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem estacionária, e ao longo de nove meses de armazenamento¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Tratamentos	Tempo	Micotoxina		
		aflatoxina	fumonisina	tricoteceno
GLP ²	0	Detectado	Detectado	Detectado
	3	Detectado	Detectado	Detectado
	6	Detectado	Detectado	Detectado
	9	Detectado	Detectado	Detectado
Solar ³	0	Detectado	Detectado	Não detectado
	3	Detectado	Detectado	Detectado
	6	Detectado	Detectado	Detectado
	9	Detectado	Detectado	Detectado
Ar natural ⁴	0	Detectado	Detectado	Detectado
	3	Detectado	Detectado	Detectado
	6	Detectado	Detectado	Detectado
	9	Detectado	Detectado	Detectado

¹ – Os valores representam a média aritmética simples de 3 repetições. 2 – Secagem com uso de GLP (Gás liquefeito de petróleo). 3 – Secagem com uso da energia solar. 4 – Secagem com uso de ar natural.

Como se pode notar na Tabela 16, em todos os tratamentos, ao longo de todo o armazenamento, foram detectados os três tipos de micotoxinas. A única exceção ocorreu no tratamento solar no início da armazenagem (logo após a secagem), quando não houve detecção de tricoteceno. Isso se deve ao fato de que a umidade dos grãos estava muito baixa, sendo de 10,34% (Tabela 3), e o fungo produtor de Tricoteceno (gênero *Fusarium* spp.) tem preferência por altas umidades (Marques *et al.*, 2009). Os fungos detectados, provavelmente, não entraram em condição de estresse, não produzindo a toxina.

A Tabela 17 mostra os resultados para o consumo de eletricidade e custos de eletricidade, combustível (GLP) e total (R\$/saco de 60 kg), obtidos na secagem de grãos de milho em silos secadores, com diferentes fontes de aquecimento do ar.

TABELA 17. Consumo total e custo de energia elétrica, custo do combustível (GLP) e custo energético total da secagem estacionária de grãos de milho, utilizando como fonte de aquecimento do ar de secagem, gás liquefeito de petróleo, sol e ar natural¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Tratamento	Consumo de Eletricidade (kWh)		Custo (R\$/saco de 60 kg)	
	Total	Eletricidade ²	Combustível ³	Total
Ar natural	23,40 A	0,28 A	-	0,28 B
GLP	9,36 B	0,14 AB	0,71	0,85 A
Solar	6,89 C	0,08 B	-	0,08 B

1 – Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas na coluna diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

2 – R\$ 0,37/kW de energia elétrica, janeiro/2011.

3 – R\$ 2,50/kg de gás, janeiro/2011.

Pode-se observar na Tabela 17 que o consumo total de eletricidade diferiu significativamente entre os tratamentos, sendo maior na secagem com ar natural e menor na secagem solar. Esses valores foram consequência do consumo horário de eletricidade de cada motor e do tempo total de cada secagem. Na secagem S₁ (ar natural), utilizou-se um motor elétrico de potência de 2 cv (consumo horário de 1,56 kW/hora) com maior tempo de secagem (15 horas). Na secagem S₂ (GLP), utilizou-se um motor de mesma potência e consumo horário, mas com um menor tempo de secagem (6 horas). Já na secagem S₃ (solar), foi utilizado um motor de apenas 1 cv de potência (consumo horário de 0,53 kW/hora) e tempo total de secagem de 13 horas.

Quanto ao custo de eletricidade por saco, o tratamento que utilizou ar natural alcançou o maior valor, enquanto a secagem solar obteve o menor valor. A secagem com GLP obteve resultado intermediário, não diferindo estatisticamente com os extremos. Isto ocorre pois, quanto menor a temperatura alcançada pelo ar de secagem, maior será o custo por saco e o consumo total de eletricidade, devido ao maior período de funcionamento do motor elétrico, gerador do ar de secagem. Essa determinação no presente experimento é corroborada pela afirmação de Portella & Eichelberger (2001). Os autores trabalharam com secagem estacionária de grãos de milho em três diferentes níveis de umidade inicial (35, 25

e 18%) e três diferentes temperaturas do ar de secagem (40, 70 e 100 °C) e verificaram que, quanto menor a temperatura do ar, maior o tempo total de secagem e, por consequência, maior o consumo total de eletricidade e o custo de secagem.

Os resultados referentes ao consumo de GLP na secagem S_2 foram os seguintes: consumo total (kg/t seca) = 4,73; consumo horário (kg/hora) = 1,16; consumo unitário (kg/%/t seca) = 1,17.

Os resultados referentes aos custos de GLP na secagem S_2 foram: custo total (R\$/ t seca) = 11,83; custo horário (R\$/hora) = 2,91; custo unitário (R\$/ saco 60 kg) = 0,71.

Portella & Eichelberger (2002), estudando a secagem estacionária de grãos de milho com uso de GLP, colhidos com umidade de 19,5% e secos até 15,62%, em temperatura do ar de secagem de 40 °C, avaliando consumo e custo de GLP, obtiveram como resultados para consumo total de GLP de 4,28 kg/t seca, consumo horário de 0,73 kg/hora e consumo unitário de 0,86 kg/%/t seca, valores estes inferiores aos obtidos neste trabalho.

Ribeiro & Vicari (2005), estudando a secagem em grãos de milho com GLP, obtiveram custos de secagem por tonelada de milho de R\$ 10,97 e por saco de R\$ 0,67, valores semelhantes aos encontrados neste estudo para a secagem com GLP.

O custo total de secagem foi maior quando da utilização da secagem com uso de GLP, comparada às secagens solar e com ar natural, que não diferiram estatisticamente. O preço do GLP, atualmente, de R\$ 2,50/kg, torna a secagem de grãos mais cara e dificulta sua comparação em termos de custos com secagens que utilizam apenas o ar ambiente ou a energia solar. Porém, em termos qualitativos, a secagem com uso de GLP apresenta excelentes resultados. Conforme Portella & Martins (2000), ela permite um eficiente e preciso controle sobre a estabilidade da temperatura, de forma que o processo é mais homogêneo, sem variações e, conseqüentemente, que todos os grãos apresentem exatamente o mesmo percentual de umidade em base úmida. Segundo estes mesmos

autores, apenas o custo do GLP constitui uma barreira à sua utilização frente à lenha e outros combustíveis para a secagem de grãos.

4.4 Estudo 2

Os resultados médios da temperatura da massa de grãos nas secagens S₄ a S₆ foram respectivamente de 26, 28 e 31 °C. O valor médio da temperatura do ar de secagem nas secagens S₄ a S₆ foi de 59, 70 e 80 °C. O tempo de secagem foi de 15; 13 e 12 horas, e as taxas de secagem foram 0,28; 0,36 e 0,43 pph⁻¹, respectivamente para a secagem S₄ a S₆.

Portella & Martins (2001), estudando a secagem de milho em condições estacionárias, utilizando GLP como combustível, com umidade inicial de 18%, em temperatura do ar de secagem de 40, 70 e 100 °C, obtiveram como resultados de taxa de secagem, respectivamente, 1,25; 1,62 e 3,65 pph⁻¹, para as temperaturas de 40, 70 e 100 °C, valores superiores aos encontrados neste trabalho para a secagem com GLP, porém em processo de secagem estacionária.

Os resultados das análises físicas, fisiológica e tecnológica dos grãos “in natura”, ou seja, após a colheita e pré-limpeza e antes da secagem foram de umidade de 18%; peso volumétrico de 707,5 kg.m³; peso de 1000 grãos de 298,4 g e porcentagem de grãos sem defeitos de 87,9%.

Na Tabela 18, são apresentados os resultados médios de umidade dos grãos de milho, submetidos à secagem intermitente com temperatura do ar de secagem de 60, 70 e 80 °C, e armazenados por nove meses.

TABELA 18. Umidade (%) em grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem intermitente em diferentes temperaturas, e ao longo de nove meses de armazenamento¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Tratamentos	Tempo de Armazenamento (meses)			
	0	3	6	9
60 °C ²	B 13,65 a	B 13,94 a	B 14,10 a	A 14,46 a
70 °C ³	B 13,47 a	B 13,77 a	B 13,71 a	A 14,23 a
80 °C ⁴	A 12,85 b	A 13,47 a	A 12,98 b	B 12,11 b

1 – Os valores representam a média aritmética simples de 4 repetições e estão expressos em porcentagem, em base úmida. Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas, na linha e minúsculas distintas, na coluna, diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. 2 – Secagem Intermitente a 60 °C. 3 – Secagem Intermitente a 70 °C. 4 – Secagem Intermitente a 80 °C.

Os resultados apresentados na Tabela 18 demonstram que os grãos foram secos até umidades de 13,65; 13,47 e 12,85% nas secagens intermitentes com 60 °C, 70 °C e 80 °C, respectivamente. Houve um aumento significativo da umidade dos grãos de milho, ao longo do armazenamento, tendendo ao equilíbrio higroscópico, com exceção do tratamento 80 °C. A umidade média mensal do ar durante o armazenamento foi sempre superior a 80% (Figura 5), tendendo a um equilíbrio higroscópico em umidades maiores. Nos três últimos meses de armazenamento, ocorreu um aumento da umidade relativa média e da temperatura, o que pode ter favorecido o maior ganho de umidade nos grãos com maior teor inicial de água. Os tratamentos secagem em temperatura de 60 e 70 °C apresentaram os maiores valores e não diferiram entre si, aos nove meses de armazenamento. Estes maiores teores de umidade provavelmente tenham ocorrido pela maior capacidade de adsorção que apresentaram estes grãos durante o armazenamento, visto que os mesmos apresentaram umidade inicial superior aos grãos secos em temperatura do ar de 80 °C. A capacidade de adsorção, ou seja, de ganho de umidade, é maior para grãos quanto maior for o teor de umidade inicial (Silva *et al.*, 1995).

Os resultados apresentados na Tabela 18, também podem ser explicados pelos autores (Muir, 1973; Multon, 1980), já mencionados e discutidos nos resultados da Tabela 3.

Condições de elevada temperatura e umidade dos grãos e do ar que os circunda aumentam o metabolismo dos grãos, favorecendo o crescimento de microrganismos, principalmente fungos e pragas, acelerando a sua atividade (Elias & Oliveira, 2009).

Na Tabela 19, são apresentados os resultados médios do peso volumétrico dos grãos de milho, submetidos à secagem intermitente com temperatura do ar de secagem de 60, 70 e 80 °C, e armazenados por nove meses.

TABELA 19. Peso Volumétrico (kg.m^{-3}) em grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem intermitente em diferentes temperaturas, e ao longo de nove meses de armazenamento¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Tratamentos	Tempo de Armazenamento (meses)			
	0	3	6	9
60 °C ²	A 732,39 b	A 723,46 b	B 668,60 c	C 651,55 b
70 °C ³	A 773,40 a	B 729,71 b	C 693,96 b	C 706,60 a
80 °C ⁴	A 768,48 a	AB 753,60 a	B 737,63 a	C 710,31 a

1 – Os valores representam a média aritmética simples de 3 repetições e estão expressos em kg/m^3 . Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas, na linha e minúsculas distintas, na coluna, diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. 2 – Secagem Intermitente a 60 °C. 3 – Secagem Intermitente a 70 °C. 4 – Secagem Intermitente a 80 °C.

Os resultados apresentados na Tabela 19 mostram que ocorreram perdas significativas ao longo dos nove meses de armazenamento para todos os tratamentos. Após seis meses de armazenamento houve redução significativa no peso volumétrico dos grãos de milho, secos em temperatura do ar de 60 e 80 °C. O tratamento secagem em temperatura do ar de 70 °C apresentou perda significativa aos três e seis meses de armazenamento e, a partir deste momento, manteve seu peso volumétrico até o final do trabalho. Os resultados mostram que houve uma perda de 11,04; 8,64 e 7,57% respectivamente para a secagem com 60, 70 e 80 °C, entre o início do armazenamento e o final. Ao final dos nove meses de

armazenamento, o tratamento secagem a 60 °C apresentou peso volumétrico estatisticamente inferior aos tratamentos de 70 e 80 °C.

Os tratamentos 60 e 80 °C apresentaram maiores perdas para o peso volumétrico após os seis meses, período onde as temperaturas de armazenamento foram maiores (Figura 5), levando a um aumento no ataque de insetos e na respiração dos grãos e, por consequência, maior perda quantitativa. Este fato pode ser observado nos grãos secos em temperatura do ar de 60 °C, onde ocorreram as maiores perdas de peso volumétrico.

Os resultados apresentados na Tabela 19, também podem ser explicados pelos autores (Brooker *et al.*, 1992; Alencar *et al.*, 2009), já mencionados e discutidos nos resultados da Tabela 4.

Aosani (2007), avaliando o peso volumétrico em grãos de soja, secos em temperaturas de 15, 30, 45 e 60 °C, verificou que a temperatura do ar de secagem não influenciou a perda de peso. Porém a partir dos 90 dias de armazenamento, observou perdas significativas no peso volumétrico deste produto.

Dionello (2000) também observou perdas significativas no peso volumétrico após 90 dias de armazenamento em grãos de milho secos em secador intermitente adaptado, com temperatura do ar de secagem de 80 ± 5 °C.

Na Tabela 20, são apresentados os resultados médios do peso de 1000 grãos de milho, submetidos à secagem intermitente com temperatura do ar de secagem de 60, 70 e 80 °C, e armazenados por nove meses.

TABELA 20. Peso de 1000 grãos (g) em grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem intermitente em diferentes temperaturas, e ao longo de nove meses de armazenamento¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Tratamentos	Tempo de Armazenamento (meses)			
	0	3	6	9
60 °C ²	A 283,80 a	A 287,28 a	B 271,95 b	C 257,99 a
70 °C ³	A 279,05 a	A 278,31 b	B 269,88 b	C 259,30 a
80 °C ⁴	A 278,35 a	A 277,45 b	B 268,50 b	C 255,17 a

1 – Os valores representam a média aritmética simples de 3 repetições e estão expressos em gramas. Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas, na linha e minúsculas distintas, na coluna, diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. 2 – Secagem Intermitente a 60 °C. 3 – Secagem Intermitente a 70 °C. 4 – Secagem Intermitente a 80 °C.

Pode-se observar na Tabela 20 que existiram perdas significativas ao longo do armazenamento para todos os tratamentos. As perdas entre o início e o final do armazenamento foram de 9,11; 7,08 e 8,33% para secagem intermitente com temperatura do ar de secagem de 60, 70 e 80 °C, respectivamente. As menores perdas foram para a secagem com temperatura do ar de 70 e 80 °C, mostrando similaridade com os resultados das análises de peso volumétrico, onde a secagem nas duas temperaturas apresentou os melhores resultados. Também se pode notar na Tabela 20, que as maiores perdas significativas ocorreram após seis meses de armazenamento, para todos os tratamentos.

Assim como o peso volumétrico, o peso de mil grãos está diretamente relacionado com a integridade biológica dos grãos. Sua redução, durante o armazenamento, significa consumo de nutrientes, geralmente em consequência do metabolismo de organismos associados e dos próprios grãos (Rombaldi, 1988; Dionello, 2000; Elias, 2002; 2008). A presença de insetos da espécie *Sitophilus zeamais* também contribuiu para a redução de peso dos grãos de milho, principalmente após seis meses de armazenamento. O aumento da umidade dos grãos durante o armazenamento, como foi o caso da secagem em temperatura de 60 °C provavelmente levou a um maior consumo de reservas, devido à maior taxa respiratória que estes grãos tiveram, levando a maiores perdas de peso.

Na Tabela 21, são apresentados os resultados de grãos de milho sem defeitos, submetidos à secagem intermitente com temperatura do ar de secagem de 60, 70 e 80 °C, e armazenados por nove meses.

TABELA 21. Grãos de milho sem defeitos (%), armazenados no sistema a granel, após a secagem intermitente em diferentes temperaturas, e ao longo de nove meses de armazenamento¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Tratamentos	Tempo de Armazenamento (meses)			
	0	3	6	9
60 °C ²	A 90,24 a	A 92,38 a	A 87,36 a	B 69,45 b
70 °C ³	A 87,64 a	A 91,41 a	A 88,81 a	A 83,17 a
80 °C ⁴	A 85,77 a	A 89,93 a	A 86,27 a	B 77,40 a

1 – Os valores representam a média aritmética simples de 3 repetições e estão expressos em percentagem, relativos a um total de 250 gramas. Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas, na linha e minúsculas distintas, na coluna, diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. 2 – Secagem Intermitente a 60 °C. 3 – Secagem Intermitente a 70 °C. 4 – Secagem Intermitente a 80 °C.

Pode-se perceber na Tabela 21 que até os seis meses de armazenamento não existiram diferenças significativas entre os tratamentos e nem ao longo do tempo. Houve uma redução significativa nos grãos sem defeitos aos nove meses de armazenamento para os grãos secos em temperatura do ar de 60 e 80 °C. O aumento de grãos com defeitos e redução de inteiros, aos nove meses, ocorreu devido a um aumento no metabolismo dos grãos, devido ao aumento na sua umidade e ocorrência de temperaturas mais altas no armazenamento, favorecendo o ataque de insetos e fungos. Quando se constatou essa situação, foi realizado o tratamento de expurgo. Porém, a presença de pragas é um problema sério e de difícil controle em unidades de armazenamento de grãos no Brasil. Os grãos secos em temperatura do ar de 70 °C não variaram estatisticamente ao longo do armazenamento. Ao final dos nove meses de armazenamento os grãos que apresentaram melhor qualidade foram os secos em temperatura do ar de 70 °C e 80 °C, apresentando-se superior estatisticamente ao tratamento de 60 °C.

A presença de insetos contribuiu para a redução da porcentagem de grãos inteiros, principalmente nos grãos armazenados que foram secos em temperaturas do ar de 60 °C, no final do armazenamento. Houve também aumento no percentual de grãos carunchados após seis meses de armazenamento para todos os tratamentos. Não ocorreu efeito visível da secagem intermitente no aumento de grãos quebrados e fragmentados no tempo zero, visto que, a soma de fragmentados e quebrados antes da secagem e após a pré-limpeza (“in natura”) foi de 11,4% e após a secagem intermitente (tempo 0) estes valores foram de 8,9; 10,9 e 11,8%, para secagem em temperatura de 60, 70 e 80 °C, respectivamente, não aumentando após a secagem.

Conforme Rombaldi & Elias (1989), citado por Dionello (2000), o aumento da umidade dos grãos após os seis meses de armazenamento, tendendo ao equilíbrio higroscópico, favorece o ataque de fungos e insetos, bem como o aumento da taxa respiratória dos grãos, o que acarretou no aumento na ocorrência de defeitos oriundos de ação biológica e microbiológica.

Os resultados das análises químicas dos grãos “in natura” foram de 10,33% de proteína bruta; 5,11% de extrato etéreo; 1,45% de material mineral; 83,11% de carboidratos e acidez de 0,44% de ácido oléico.

Na Tabela 22, são apresentados os resultados médios de proteína bruta dos grãos de milho, submetidos à secagem intermitente com temperatura do ar de secagem de 60, 70 e 80 °C, e armazenados por nove meses.

TABELA 22. Proteína bruta (%) em grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem intermitente em diferentes temperaturas, e ao longo de nove meses de armazenamento¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Tratamentos	Tempo de Armazenamento (meses)			
	0	3	6	9
60 °C ²	A 10,35 b	A 10,53 a	B 9,63 a	B 9,78 a
70 °C ³	A 10,34 b	AB 9,99 b	B 9,83 a	B 9,85 a
80 °C ⁴	A 10,84 a	A 10,56 a	B 9,58 a	B 9,78 a

1 – Os valores representam a média aritmética simples de 3 repetições e estão expressos em porcentagem, em base seca. Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas, na linha e minúsculas distintas, na coluna, diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. 2 – Secagem Intermitente a 60 °C. 3 – Secagem Intermitente a 70 °C. 4 – Secagem Intermitente a 80 °C.

Os resultados apresentados na Tabela 22 permitem visualizar que ocorreram diferenças significativas de perdas de proteína ao longo do armazenamento para todos os tratamentos, sendo que estas foram de 5,51; 4,74 e 9,78% para secagem com temperatura do ar de 60, 70 e 80 °C, respectivamente. As variações de perdas de proteínas ocorreram entre três e seis meses de armazenamento e após se mantiveram até os nove meses. Ao final do armazenamento, os tratamentos não diferiram estatisticamente entre si.

A temperatura de secagem não influenciou os valores iniciais de proteína, pois a temperatura da massa de grãos não ultrapassou 40 °C em nenhum momento durante a secagem. Estudos têm mostrado que o milho seco em temperaturas acima de 60 °C tem seu valor energético diminuído, além de sofrer perdas de palatabilidade (Silva *et al.*, 1995; 2000). Ainda, segundo os mesmos autores, na secagem em altas temperaturas, quando a temperatura da massa de grãos estiver acima de 60 °C, o endosperma dos grãos sofre alterações químicas. Dionello (2000), observou perdas de proteína de aproximadamente 20%, durante seis meses de armazenamento em grãos de milho submetidos à secagem intermitente em temperatura do ar de 80± 5 °C, o dobro da perda observada neste trabalho, em nove meses de armazenamento na maior temperatura de secagem estudada (80 °C).

Na Tabela 23, são apresentados os resultados médios de extrato etéreo dos grãos de milho, submetidos à secagem intermitente com temperatura do ar de secagem de 60, 70 e 80 °C, e armazenados por nove meses.

TABELA 23. Extrato etéreo (%) em grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem intermitente em diferentes temperaturas, e ao longo de nove meses de armazenamento¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Tratamentos	Tempo de Armazenamento (meses)			
	0	3	6	9
60 °C ²	A 5,32 a	A 5,80 a	A 5,26 a	B 4,55 a
70 °C ³	A 5,74 a	A 5,63 a	B 5,29 b	C 4,48 a
80 °C ⁴	A 5,63 a	A 5,31 a	B 4,75 ab	B 4,73 a

1 – Os valores representam a média aritmética simples de 3 repetições e estão expressos em percentagem, em base seca. Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas, na linha e minúsculas distintas, na coluna, diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. 2 – Secagem Intermitente a 60 °C. 3 – Secagem Intermitente a 70 °C. 4 – Secagem Intermitente a 80 °C.

Observa-se, a partir dos resultados da Tabela 23, que todos os tratamentos apresentaram perdas de extrato etéreo entre o início e o final dos nove meses de armazenamento, sendo que estas foram de 14,47; 22,01 e 16,02% para secagem com ar em temperatura de 60, 70 e 80 °C, respectivamente. Percebe-se também que a maior degradação de gordura bruta ocorreu, de forma geral, a partir dos seis meses de armazenamento para todos os tratamentos, período em que ocorreu uma maior variação de umidade, principalmente nos grãos secos em temperaturas de 70 e 80 °C, levando a um aumento na taxa respiratória, maior necessidade de consumo de reservas por parte dos grãos e maiores perdas qualitativas.

Os resultados apresentados na Tabela 23, também podem ser explicados pelos autores (Pomeranz, 1974; Krabbe, 1995; Rupollo *et al.*, 2006), já mencionados e discutidos nos resultados da Tabela 8.

Dionello (2000) observou perda de gordura bruta de aproximadamente 30% durante seis meses de armazenamento de milho, após secagem intermitente em temperatura do ar de 80 ± 5 °C.

Na Tabela 24, são apresentados os resultados médios de cinzas dos grãos de milho, submetidos à secagem intermitente com temperatura do ar de secagem de 60, 70 e 80 °C, e armazenados por nove meses.

TABELA 24. Cinzas (%) em grãos de milho, armazenados secos no sistema a granel, após a secagem intermitente em diferentes temperaturas, e ao longo de nove meses de armazenamento¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Tratamentos	Tempo de Armazenamento (meses)			
	0	3	6	9
60 °C ²	D 1,27 b	C 1,38 b	B 1,54 b	A 1,96 a
70 °C ³	B 1,36 a	B 1,43 ab	A 1,62 a	A 1,69 b
80 °C ⁴	A 1,42 a	A 1,46 a	A 1,46 c	A 1,52 c

1 – Os valores representam a média aritmética simples de 3 repetições e estão expressos em percentagem, em base seca. Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas, na linha e minúsculas distintas, na coluna, diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. 2 – Secagem Intermitente a 60 °C. 3 – Secagem Intermitente a 70 °C. 4 – Secagem Intermitente a 80 °C.

Os resultados na Tabela 24 demonstram que os tratamentos 60 e 70 °C apresentaram aumento no teor de cinzas ao final dos nove meses de armazenamento, sendo que estes foram de 35,21 e 19,53%, respectivamente. O tratamento 80 °C não demonstrou variação significativa ao longo do armazenamento. Ao final dos nove meses de armazenamento, o tratamento 60 °C apresentou os maiores valores de cinzas, enquanto o tratamento 80 °C apresentou os menores valores. Caldasso (1998), avaliando o teor de cinzas em grãos de milho armazenados a granel secos, observou aumentos do teor de cinzas em 10 meses de armazenamento de 31,7%.

Os resultados apresentados na Tabela 24, também podem ser explicados pelos autores (Salunkhe et al., 1985; Forlin, 1991), já mencionados e discutidos nos resultados da Tabela 9.

Na Tabela 25, são apresentados os resultados médios de carboidratos dos grãos de milho, submetidos à secagem intermitente com temperatura do ar de secagem de 60, 70 e 80 °C, e armazenados por nove meses.

TABELA 25. Carboidratos (%) em grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem intermitente em diferentes temperaturas, e ao longo de nove meses de armazenamento¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Tratamentos	Tempo de Armazenamento (meses)			
	0	3	6	9
60 °C ²	B 83,03 a	A 83,77 a	A 83,77 a	A 83,14 b
70 °C ³	B 83,74 a	B 83,43 a	C 81,10 b	A 84,33 a
80 °C ⁴	C 81,41 b	B 82,35 b	A 84,01 a	A 84,27 a

1 – Os valores representam a média aritmética simples de 3 repetições e estão expressos em porcentagem, em base seca. Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas, na linha e minúsculas distintas, na coluna, diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. 2 – Secagem Intermitente a 60 °C. 3 – Secagem Intermitente a 70 °C. 4 – Secagem Intermitente a 80 °C.

Através dos resultados mostrados na Tabela 25, pode-se observar que o teor de carboidratos aumentou ao longo do tempo para todos os tratamentos. Trata-se de aumento virtual, aparente ou relativo, uma vez que decorre da diminuição das frações proteína e extrato etéreo durante o armazenamento. Essa variação em incrementos aparentes da fração carboidratos reflete uma relação proporcional, em consequência do requerimento de constituintes dessa fração no metabolismo intrínseco dos grãos, de microrganismos e pragas associados, além do fato de serem esses constituintes bastante suscetíveis a transformações químicas enzimáticas e não enzimáticas durante o armazenamento (Elias, 2008).

Os resultados apresentados na Tabela 25, também podem ser explicados pelos autores (Salunkhe *et al.*, 1985; Caldasso, 1998; Dionello, 2000; Elias, 2002; Elias & Oliveira 2009), já mencionados e discutidos nos resultados da Tabela 10.

Na Tabela 26, são apresentados os resultados médios de acidez do extrato etéreo em ácido oléico dos grãos de milho, submetidos à secagem intermitente com temperatura do ar de secagem de 60, 70 e 80 °C, e armazenados por nove meses.

TABELA 26. Acidez do extrato etéreo em ácido oléico (%) em grãos de milho, armazenados secos no sistema a granel, após a secagem intermitente em diferentes temperaturas, e ao longo de nove meses de armazenamento¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Tratamentos	Tempo de Armazenamento (meses)			
	0	3	6	9
60 °C ²	B 0,40 a	B 0,33 a	B 0,32 b	A 0,86 a
70 °C ³	B 0,39 a	B 0,43 a	B 0,47 a	A 0,86 a
80 °C ⁴	B 0,41 a	C 0,30 a	B 0,47 a	A 0,82 a

1 – Os valores representam a média aritmética simples de 3 repetições e estão expressos em percentagem. Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas, na linha e minúsculas distintas, na coluna, diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. 2 – Secagem Intermitente a 60 °C. 3 – Secagem Intermitente a 70 °C. 4 – Secagem Intermitente a 80 °C.

Pelos resultados apresentados na Tabela 26, pode-se observar que, até os seis meses de armazenamento, o valor de acidez não variou significativamente para nenhum dos tratamentos. A partir dos seis meses de armazenamento, este valor variou significativamente para todos os tratamentos. Ao longo do armazenamento, os tratamentos não diferiram entre si, com exceção aos 6 meses de armazenamento.

Os resultados apresentados na Tabela 26, também podem ser explicados pelos autores (Pomeranz, 1974; Salunkhe *et al.*, 1985; Elias, 2008), já mencionados e discutidos nos resultados da Tabela 11.

A acidez do óleo aumenta com a deterioração dos grãos no armazenamento, sendo o seu aumento utilizado como parâmetro de conservabilidade (Elias, 2008).

Na Tabela 27, são apresentados os resultados da análise de fungos dos gêneros *Fusarium*, de três em três meses, para os grãos secos em secador intermitente, com uso de GLP, em diferentes temperaturas de secagem, ao longo de nove meses de armazenamento.

TABELA 27. Incidência de fungos (%) do gênero *Fusarium* em grãos de milho submetidos à secagem intermitente com uso de GLP, em diferentes temperaturas de secagem, durante nove meses de armazenamento¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Tempo de Armazenamento (meses)	Gênero	Tratamentos		
		60 °C	70 °C	80 °C
3	<i>Fusarium</i>	A 75 b	A 72 b	A 71 a
6		A 85 a	A 91 a	B 58 b
9		A 81 a	A 87 a	A 77 a

¹ – Os valores representam a média aritmética simples de 8 repetições e estão expressos em percentagem de incidência. Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas, na linha, e minúsculas distintas, na coluna, diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Pode-se visualizar na Tabela 27, que houve um acréscimo significativo de fungos do gênero *Fusarium* em todos os tratamentos ao longo do tempo de armazenamento. Este aumento da quantidade de *Fusarium* tem relação direta com o valor de umidade (Tabela 19) dos grãos, acima do recomendado para o armazenamento de milho, favorecendo o desenvolvimento do fungo. Segundo Silva (1995), para armazenamento de milho por um período de até um ano, recomenda-se umidade de até 12%. Ao final do armazenamento não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos.

A presença de espécies de *Fusarium* em grãos explica-se pelo fato de que este fungo pode infectar extensivamente certas porções do grão de milho, como a ponta de contato com o sabugo e o embrião ainda no campo (Scussel, 1998, Lazzari 1997).

Geralmente, o processo de infecção pelos fungos nas sementes e grãos começa já no campo, durante a fase de maturação dos grãos, e prossegue nas etapas seguintes, quando da colheita, secagem, armazenamento, transporte e processamento (Lazzari, 1997).

Na Tabela 28, são apresentados os resultados da análise de fungos dos gêneros *Aspergillus*, de três em três meses, para os grãos secos em secador intermitente, com uso de GLP, ao longo de nove meses de armazenamento.

TABELA 28. Incidência de fungos (%) do gênero *Aspergillus* em grãos de milho submetidos à secagem intermitente com uso de GLP, em diferentes temperaturas de secagem, durante nove meses de armazenamento¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Tempo de Armazenamento (meses)	Gênero	Tratamentos		
		60 °C	70 °C	80 °C
3		B 31 b	B 19 b	A 55 b
6	<i>Aspergillus</i>	A 25 b	A 33 b	A 21 c
9		A 76 a	A 75 a	A 83 a

¹ – Os valores representam a média aritmética simples de 8 repetições e estão expressos em percentagem de incidência. Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas, na linha, e minúsculas distintas, na coluna, diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

De acordo com os resultados obtidos na Tabela 28, pode-se observar que ocorreu uma variação significativa ao longo do tempo de armazenamento, com tendência à elevação da ocorrência de fungos do gênero *Aspergillus*. A partir dos seis meses de armazenamento, todos os tratamentos foram iguais estatisticamente entre si até o final do experimento. Fungos *Aspergillus* tiveram maior preferência a uma maior umidade, conforme pode ser verificado na Tabela 18 onde, ao final do armazenamento nos tratamentos 60 e 70 °C, a umidade foi superior a 14%. Isto contraria as afirmações de Miller (1995), que cita que os fungos de armazenamento, como o *Aspergillus* e o *Penicillium*, contaminam os grãos após a colheita e têm a capacidade de viver associados a grãos com teor de umidade mais baixo (13 a 13,5%) e temperaturas mais elevadas (25°C).

Espécies de *Aspergillus* são consideradas iniciadoras da deterioração das sementes e grãos, causando danos ao embrião, descoloração e alterações nutricionais, conforme mencionado por Meronuck (1987). Conforme o mesmo autor, espécies de *Aspergillus* podem crescer com menor teor de água, seguindo-se, após a contaminação, por *Penicillium*, com uma umidade

mais elevada, inclusive, desenvolvida em função da atividade metabólica dos primeiros invasores.

Na Tabela 29, são apresentados os resultados da análise de fungos dos gêneros *Penicillium*, de três em três meses, para os grãos secos em secador intermitente, com uso de GLP, ao longo de nove meses de armazenamento.

TABELA 29. Incidência de fungos (%) do gênero *Penicillium* em grãos de milho submetidos à secagem intermitente com uso de GLP, em diferentes temperaturas de secagem, durante nove meses de armazenamento¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Tempo de Armazenamento (meses)	Gênero	Tratamentos		
		60 °C	70 °C	80 °C
3	<i>Penicillium</i>	A 99 a	A 100 a	A 100 a
6		A 83 b	A 79 b	A 86 b
9		A 100 a	A 97 a	A 99 a

¹ – Os valores representam a média aritmética simples de 8 repetições e estão expressos em porcentagem de incidência. Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas, na linha, e minúsculas distintas, na coluna, diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Pode-se visualizar na Tabela 29 que, do início ao final do tempo de armazenagem, e entre os tratamentos, não ocorreram diferenças significativas, sendo que o gênero *Penicillium* manteve-se praticamente com valores constantes e bastante elevados, apenas sofrendo uma redução aos seis meses em todos os tratamentos.

Os resultados demonstram que o gênero *Penicillium* é um fungo que se desenvolve tanto em condições de baixa umidade quanto de alta durante o armazenamento, e também em condições de alta umidade no campo. Estes resultados diferem aos observados por autores, que citam que o gênero *Penicillium* tem uma maior preferência por umidades menores (13 a 13,5%) (Miller, 1995; Marin *et al.*, 1998).

Na Tabela 30, são apresentados os valores médios da análise de fungos dos três gêneros estudados para cada tratamento, para os grãos secos em secador intermitente, com uso de GLP, ao longo de nove meses de armazenamento.

TABELA 30. Valores médios de Fungos (%) do gênero *Fusarium*, *Aspergillus* e *Penicillium* em grãos de milho submetidos à secagem intermitente com uso de GLP, em diferentes temperaturas, em intervalos de três meses, durante nove meses de armazenamento¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Gênero	Tratamentos		
	60 °C	70 °C	80 °C
<i>Fusarium</i>	A 80 a	A 83 a	A 69 b
<i>Aspergillus</i>	A 44 b	A 42 b	A 53 b
<i>Penicillium</i>	A 94 a	A 92 a	A 95 a

¹ – Os valores representam a média aritmética simples de 8 repetições e estão expressos em percentagem de incidência. Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas, na linha, e minúsculas distintas, na coluna, diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

A Tabela 30 mostra que, entre os métodos de secagem, não existiram diferenças estatísticas para cada gênero de fungo analisado. Também pode-se perceber que houve uma maior predominância de fungos dos gêneros *Fusarium* e *Penicillium* do que do gênero *Aspergillus*, principalmente nos tratamentos de 60 e 70 °C.

Os resultados obtidos neste trabalho concordam com vários autores que estudaram grãos de milho e outros produtos armazenados, sendo os principais fungos detectados pertencentes aos gêneros *Penicillium*, *Aspergillus* e *Fusarium*, os quais atuam na deterioração de diversos alimentos e produtos armazenados (Caldasso, 1998; Forlin, 1991; González *et al.* 1995; Silva *et al.*, 1995; Dionello, 2000; Elias 2008).

Na Tabela 31, são apresentados os resultados de detecção de micotoxinas em grão de milho, submetidos à secagem intermitente com temperatura do ar de secagem de 60, 70 e 80 °C, e armazenados por nove meses.

TABELA 31. Detecção de aflatoxina, fumonisina e tricoteceno em grãos de milho, armazenados no sistema a granel, após a secagem intermitente, e ao longo de nove meses de armazenamento¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Tratamentos	Tempo	Micotoxina		
		aflatoxina	fumonisina	tricoteceno
60 °C ²	0	Não detectado	Detectado	Detectado
	3	Não detectado	Detectado	Detectado
	6	Não detectado	Detectado	Detectado
	9	Não detectado	Detectado	Detectado
70 °C ³	0	Detectado	Detectado	Detectado
	3	Não detectado	Detectado	Detectado
	6	Detectado	Detectado	Detectado
	9	Detectado	Detectado	Detectado
80 °C ⁴	0	Detectado	Detectado	Detectado
	3	Não detectado	Detectado	Detectado
	6	Detectado	Detectado	Detectado
	9	Detectado	Detectado	Detectado

¹ – Os valores representam a média aritmética simples de 3 repetições. 2 – Secagem Intermitente a 60 °C. 3 – Secagem Intermitente a 70 °C. 4 – Secagem Intermitente a 80 °C.

Pode-se verificar na Tabela 31, que no tratamento 60 °C não houve detecção de aflatoxina ao longo do armazenamento. Isso ocorreu pois a umidade neste tratamento ao longo de todo armazenamento foi elevada, sendo próxima ou acima de 14%, inibindo o desenvolvimento do fungo *Aspergillus* spp., produtor desta micotoxina, enquanto que os fungos detectados, provavelmente, não entraram em uma condição de estresse para produzir a toxina. A produção de aflatoxina por *Aspergillus* spp., não depende somente da umidade dos grãos, mas também de condições específicas de temperatura e URA ambiente. Azevedo *et al.* (1993), citados por Nordin (1995), ao pesquisarem a influência da temperatura e da umidade relativa na produção de aflatoxina em amostras de milho contaminado com *Aspergillus flavus*, concluem que a toxina é produzida pelo fungo, a

15°C, em umidade relativa de 86,5%, a 25°C, em todas as umidade relativas testadas (64%, 85% e 98%) e a 40°C, nas umidade relativas de 61,5% e 96%. Aos três meses de armazenamento, nos tratamentos 70 e 80 °C também não se detectou aflatoxina, por este motivo acima citado. No restante dos tratamentos, ocorreu à detecção das três micotoxinas durante o período de armazenamento.

Conforme Mills (1989), as espécies do gênero *Fusarium* spp. são as principais contaminantes de grãos de milho no campo, causando inclusive várias doenças, como a podridão de sementes e colmo. O autor alerta para o fato de que estas espécies, que invadem a planta no campo, também podem ser encontradas no armazenamento, caso as condições de temperatura e umidade sejam adequadas.

Na Tabela 32 são apresentados os resultados de consumo e custo total, horário e unitário de GLP, obtidos na secagem intermitente de grãos de milho, com diferentes temperaturas do ar de secagem (60, 70 e 80 °C).

TABELA 32. Consumo e custo total, horário e unitário de gás liquefeito de petróleo (GLP) na secagem intermitente de grãos de milho, em três temperaturas do ar (60, 70 e 80 °C)¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Tratamento	Consumo de GLP			Custo de GLP ²		
	Total (kg/t seca)	Horário (kg/hora)	Unitário (kg%/t seca)	Total (R\$/t seca)	Horário (R\$/hora)	Unitário (R\$/saco 60 kg)
60 °C	14,29 A	5,29 B	3,37 A	35,72 A	13,22 B	2,14 A
70 °C	11,62 C	4,96 C	2,62 B	29,05 C	12,40 C	1,74 C
80 °C	12,82 B	5,92 A	2,54 C	32,04 B	14,80 A	1,92 B

1 – Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas na coluna diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

2 – R\$ 2,50/ kg de GLP, agosto/2010.

Pode-se perceber na Tabela 32, que o consumo e custo totais de GLP, além do custo unitário, alcançaram o maior valor na secagem com temperatura a 60 °C, seguido da temperatura de 80 e de 70 °C. Isso ocorre pois, quando se utilizam temperaturas de secagem mais baixas, maior será o tempo de secagem, resultando em um maior consumo

total de GLP. Já na secagem com maior temperatura (80 °C), em virtude da necessidade de um período menor de tempo para que se completasse a secagem, o consumo de GLP foi menor quando comparado a secagem de 60 °C. Esses resultados concordam com Portella & Eichelberger (2001), que trabalharam com secagem estacionária de grãos de milho em três diferentes níveis de umidade inicial (35, 25 e 18%) e três diferentes temperaturas do ar de secagem (40, 70 e 100 °C).

Quanto ao consumo e custo horários de GLP, o tratamento de 80 °C alcançou os maiores valores, seguido da secagem a 60 e 70 °C, concordando com Portella & Eichelberger (2001), que relataram diferenças no consumo horário de GLP em função da temperatura de secagem, como consequência de maior gasto de combustível para atendimento da necessidade energética para elevação da temperatura do ar de secagem.

O consumo unitário de GLP foi superior no tratamento de secagem a 60 °C, pois a taxa de secagem obtida neste tratamento foi a menor entre os tratamentos, enquanto o tratamento 80 °C, por ter a maior taxa de secagem, apresentou o menor consumo unitário de GLP.

Na Tabela 33, são apresentados os resultados de consumo e custo de energia elétrica, custo de GLP e custo total da secagem, obtidos na secagem intermitente de grãos de milho, com diferentes temperaturas do ar de secagem (60, 70 e 80 °C).

TABELA 33. Consumo e custo de energia elétrica, custo do combustível (GLP) e custo energético total na secagem intermitente de grãos de milho, sob três temperaturas (60, 70 e 80 °C)¹. Eldorado do Sul, RS. 2009.

Tratamento	Consumo de Eletricidade (kWh)		Custo (R\$/saco de 60 kg)	
	Total	Eletricidade ²	Combustível ³	Total
60 °C	66,30 A	0,26 A	2,14 A	2,40 A
70 °C	57,46 B	0,23 AB	1,74 C	1,97 C
80 °C	53,04 C	0,21 B	1,92 B	2,13 B

1 – Médias acompanhadas por letras maiúsculas distintas na coluna diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

2 – R\$ 0,37/kWh de energia elétrica, agosto/2010.

3 – R\$ 2,50/kg de gás, agosto/2010.

Pode-se observar na Tabela 33 que o consumo total de eletricidade diferiu significativamente entre os três tratamentos, sendo maior na secagem a 60 °C, seguido da secagem a 70 e 80 °C. Esses valores foram consequência do tempo total de cada secagem e, conseqüentemente, do tempo de funcionamento dos motores elétricos. O tempo total de secagem foi inversamente proporcional ao aumento da temperatura do ar de secagem.

Quanto ao custo de eletricidade por saco, este também foi influenciado pelo tempo total de secagem, sendo que o tratamento 60 °C alcançou o maior valor, o tratamento 80 °C resultou no menor valor e o tratamento 70 °C obteve um valor intermediário, não diferindo estatisticamente dos extremos. Pode-se observar que foi o custo de combustível que influenciou a diferença entre os custos totais da secagem, onde o tratamento de 60 °C apresentou o maior custo total, diferindo estatisticamente do tratamento a 80 °C, que apresentou um valor intermediário, e do tratamento a 70 °C, que apresentou o menor custo total de secagem.

Young & Dickens (1975) discutiram um método para a análise do custo de secagem do milho e os efeitos que vários parâmetros de secagem têm sobre este custo. Os autores estabeleceram vários parâmetros a serem considerados e verificaram que o tempo de secagem é um parâmetro que poderia ser estimado através de modelos matemáticos ou simulação matemática. Os autores concluíram que o fluxo de ar que resulta em um mínimo custo total de secagem, depende de diversos fatores, como a temperatura do ar de secagem e o teor inicial de água contida no grão, e que o custo total de secagem é geralmente menor para as temperaturas do ar de secagem maiores.

5 CONCLUSÕES

As maiores perdas quantitativas e qualitativas dos grãos durante o armazenamento ocorrem a partir dos seis meses, para todos os métodos de secagem estudados.

Quanto maior for o tempo de secagem, maior é o aumento da acidez dos grãos durante o armazenamento. O extrato etéreo é o constituinte químico que mais se degrada durante o armazenamento de grãos de milho por nove meses.

A secagem intermitente em temperaturas do ar de secagem de 60, 70 e 80 °C não causa danos mecânicos visíveis e qualitativos imediatos aos grãos de milho.

Os fungos do gênero *Fusarium* e *Penicillium* predominam tanto no campo como no armazém em relação ao fungo *Aspergillus*.

O custo total da secagem estacionária de grãos de milho por saco (60 kg) é mais do que três vezes superior quando se utiliza GLP, em comparação ao ar natural, e mais que dez vezes superior, quando se utiliza GLP, comparado à secagem solar.

A secagem intermitente, em temperatura do ar de 80 °C, apresenta maior eficiência de trabalho, maior taxa de secagem e o menor tempo total de secagem, enquanto em temperatura do ar de 70 °C apresenta maior eficiência econômica.

A contaminação de grãos de milho com as micotoxinas fumonisinas e tricotecenos ocorre no campo e durante todo o armazenamento, enquanto a produção de aflatoxinas começa durante o armazenamento em grãos com umidade mais baixa.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o elevado crescimento populacional mundial e a crescente demanda por alimentos, é inadmissível e insustentável a manutenção dos atuais níveis elevados de perdas quantitativas e qualitativas em pós-colheita de grãos, principalmente nos países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento.

A busca por uma redução nestas perdas é fator essencial para garantia da segurança alimentar, sustentabilidade das atividades e do desenvolvimento sócio-econômico das pessoas envolvidas na agricultura.

Torna-se necessário a adoção de medidas que visem contribuir para a melhoria dos processos em pós-colheita, como maiores pesquisas e aprofundamento de conhecimento sobre secagem e armazenamento de grãos, capacitação e treinamento de profissionais, disponibilidade de novas tecnologias aos produtores, melhoria na infraestrutura e investimentos governamentais.

Também é essencial a realização de novos trabalhos voltados aos pequenos e médios produtores, principalmente com uso de energia solar e ar natural, que se mostraram métodos promissores e perfeitamente aplicáveis, pois apresentam baixos custos e uma boa alternativa frente à ampla utilização da lenha como combustível.

Necessitam-se maiores estudos voltados à secagem e armazenamento na propriedade rural, que apresentam inúmeras vantagens aos produtores, englobando custos de implantação e manutenção, qualidade dos grãos e lucratividade.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods AACC**, 10th Ed. St. Paul: MN, 2000.

AHRENS, D. C.; VILLELA, F. A.; DONI FILHO, L. Qualidade fisiológica e industrial de sementes de aveia-branca (*Avena sativa*) na secagem intermitente. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 22, n. 2, p. 12-20, 2000.

ALENCAR, E. R. DE; FARONI, L. R. D.; FILHO, A. F. L.; PETERNELLI, L. A.; COSTA, A. R. 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.

ALI, N.; YAMASHITA, A.; YOSHIZAWA, T. Natural co-occurrence of aflatoxins and *Fusarium* mycotoxins (fumonisins, deoxynivalenol, nivalenol and zearalenone) in corn from Indonesia. **Food Additives and Contaminants**, London, v. 15, n. 4, p. 377-384, 1998.

ALMEIDA, A. P.; CORRÊA, B.; MALLOZZI, M. A. B.; SAWAZAKI, E.; VALENTE SOARES, L. M. Mycoflora and aflatoxin/fumonisin production by fungal isolates from freshly harvested corn hybrids. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v. 31, n. 4, p. 321-326, 2000.

ANDRADE, A. N. de. Produção mundial de grãos e a situação atual e perspectivas do milho e soja no mercado brasileiro. In: SIMPÓSIO SOBRE INGREDIENTES NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL, 2001, Campinas, SP. **Anais...** Campinas, SP: CBNA, 2001. p. 1-9.

A.O.A.C. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 16 ed. Arlington: Washington, v. 2, 1997.

A.O.C.S. **Official and Tentatives Methods of American Oil Chemistry Society**. New York, D.C., 1996.

AOSANI, E. **Temperatura de secagem estacionária e de armazenamento na qualidade de grãos de soja [*Glycine max* (L.) Merrill]**. 2007. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2007.

ATHIÉ, I.; CASTRO, M. F. P. M. de.; GOMES, R. A .R.; VALENTINI, S. R .T. **Conservação de Grãos**. Campinas: Fundação Cargill, 1998. p. 15-191.

AYRES, M.; AYRES, J. M.; SANTOS, A. A. Aplicações Estatísticas em Ciências Bio-Médicas - BioEstat 5.0. Ong Mamimarua, Universidade Federal do Pará, Belém, PA. 2007.

BAKKER-ARKEMA, F. W. Grain quality and management of grain quality standards. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF GRAIN CONSERVATION, 1993, Canela, RS. **Anais...** Porto Alegre, RS: Plus Comunicações, 1994. p. 3-11.

BIAGI, J. D. Implicações na granulometria de ingredientes na qualidade de peletes e na economia da produção de rações. In: SIMPÓSIO SOBRE GRANULOMETRIA DE INGREDIENTES E RAÇÕES PARA AVES E SUÍNOS, 1998, Concórdia, SC. **Anais...** Porto Alegre, RS, 1998. p. 57.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Portaria Nº 11, de 12 de abril de 1996. Comissão Técnica de Normas e Padrões. **Normas de identidade, qualidade, embalagem e apresentação do milho**. Brasília, 1996. 13 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA/SDA/ACS). **Regras para Análise de Sementes**. Brasília, 2009. 399 p.

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

CALDASSO, L. H. **Ácidos orgânicos e sistemas de armazenamento na conservação de milho em pequena escala**. 1998. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1998.

CARLESSO, V. O. **Secagem e Qualidade Fisiológica de Sementes de Maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Degener)**. 2005. 69 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2005.

CARNEIRO, A. A.; CARNEIRO, N. P.; CARVALHO, C. H. S.; VASCONCELOS, M. J. V.; PAIVA, E.; LOPES, M. A. Milho Transgênico. **Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento**, Viçosa, n.15, p. 42-45, 2000.

CAVARIANI, C. **Secagem estacionária de sementes de milho com Distribuição radial do fluxo de ar**. 1996. 85 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Indicadores da agropecuária**. Brasília: Conab [on line]. Disponível em: <<http://www.conab.org.br>>. Acesso em: 22 jan. 2011.

DALPASQUALE, V. A. **Secagem em altas temperaturas**. Viçosa, MG: CENTREINAR, 1984, 29 p.

DELIBERALI, J. **Umidade de colheita, condições de secagem e armazenamento na qualidade industrial de trigo**. 1998. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia

Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1998.

DILKIN, P.; MALLMANN, C. A.; SANTURIO, J. M.; HICKMANN, J. L. Classificação macroscópica, identificação da microbiota fúngica e produção de aflatoxinas em híbridos de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 137-141, 2000.

DIONELLO, R. G. **Método de secagem e sistema de armazenamento na qualidade dos grãos e na ocorrência de micotoxinas em milho**. 2000. 42 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2000.

DOYLE, J. J.; DOYLE, J. L. Isolation of plant DNA from fresh tissue. **Focus**, Gaithersburg, n. 1, v. 12, p. 13-15, 1990.

ELIAS, M. C.; ROMBALDI, C. V.; BUTOW, J.; MORAES, M. L. B.; DIAS, A. R. G.; FORLIN, F. J.; SILVA, J. A.; NORA, L.; LUZ, M. L. G. S.; PETER, M. Z. **Secagem, armazenamento e conservação de grãos na propriedade rural**. In: Curso de Tecnologia Agroindustrial em Pequena Escala para Agricultores. Pelotas, DCTA/FAEM/UFPEL, 1990. p. 86-125.

ELIAS, M. C.; ROMBALDI, C. V.; DIAS, A. R. G.; SILVA, J. A.; NORA, L. **Secagem e armazenamento de grãos: Sistemas, Métodos e Processos**. Pólo de Modernização Tecnológica em Alimentos da Região Sul do Rio Grande do Sul. UFPEL-FAEM-DCTA. Pelotas, 1997. 52 p.

ELIAS, M. C. **Tempo de espera para secagem e qualidade de arroz para semente e uso industrial**. 1998. 132 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Sementes) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1998.

ELIAS, M. C.; SILVA, L. H.; CALDASSO, L. H. S.; GHESTI, C. J. Armazenamento hermético de milho em pequena escala. In: REUNIÃO ANUAL DE PESQUISA DA CULTURA DO MILHO, 45, 1999, Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre, RS: FEPAGRO-EMBRAPA-EMATER, 1999. 6 p.

ELIAS, M. C. **Armazenamento e conservação de grãos, em médias e pequenas escalas. 3ª Edição**. Pólo de Modernização Tecnológica em Alimentos da Região Sul. Pelotas: Ed. UFPEL, 2002. 218 p.

ELIAS, M. C. **Pós-Colheita de Arroz: Secagem, Armazenamento e Qualidade**. Pelotas: Ed. UFPEL, 2007. 422 p.

ELIAS, M. C. **Manejo tecnológico da secagem e do armazenamento de grãos**. Pelotas: Ed. Santa Cruz, 2008. 457 p.

ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M. de. **Aspectos Tecnológicos e Legais na Formação de Auditores Técnicos do Sistema Nacional de Certificação de Unidades Armazenadoras**. Pelotas: Ed. Santa Cruz, 2009. 430 p.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, 2004. Disponível em: <<http://www.cpa.embrapa.br/publicações/sistemas>>. Acesso em 22 jan. 2011.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations Better information sharing could reduce post-harvest food losses – **New database launched 2006**. FAO. Rome. Disponível em: <www.fao.org/es>. Acesso em 21 jan. 2011.

FEPAGRO, EMATER/RS, FECOTRIGO. Recomendações técnicas para a cultura do milho no Rio Grande do Sul. **Programa mult institucional de difusão de tecnologia em milho**. Porto Alegre, 1998, 194 p. (Boletim técnico, 3).

FILHO, A. F. de L.; SILVA, J. S.; REZENDE, R. C. Estruturas para Armazenagem de Grãos. In: Silva, J.S., **Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas**. Viçosa: Ed. Aprenda Fácil, 2000. p.107-138.

FORLIN, F. J. **Efeito da hermeticidade e da aplicação de ácidos orgânicos no armazenamento de grãos de sorgo (*Sorghum bicolor*, L.)**. 1991. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1991.

FRANCESCHINI, A. S. **Danos mecânicos, qualidade fisiológica e desenvolvimento populacional de *Tribolium* spp. em milho híbrido BR 201, submetido a diferentes condições de secagem**. 1997. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia Tropical) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

FREITAS, T. S.; KRABBE, E. L.; PENZ JÚNIOR, A. M.; KESSLER, A. M. Efeito do nível de umidade sobre a deterioração de trigo durante o armazenamento. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35, 1998, Botucatu, SP. **Anais...**, Botucatu, SP, v.1, 1998. p. 264-266.

GONZÁLEZ, H. H. L.; RESNIK, S. L.; BOCA, R. T.; MARASAS, W. F. O. Mycoflora of Argentinian corn harvested in the main production area in 1990. **Mycopathologia**, Dordrecht, v. 130, p. 29-36, 1995.

HALSTENSEN, A. S.; NORDBY, K. C.; WIJNAND, E.; KLEMSDAL, S. S. Real time PCR detection of toxigenic *Fusarium* in airborne and settled grains dust and associations with trichothecene mycotoxins. **Journal of Environmental Monitoring**, Saint Paul, v. 8, p. 1235-1241, 2006.

HENDERSON, S. M.; PERRY, R. L.; YOUNG, J. H. **Principles of process engineering**. 4.ed. St. Joseph, Mic.: ASAE, 1997. 353 p.

HERMANN, G.; PINTO, F. T.; KITAZAWA, S. E.; NOLL, I. B. Fungos e Fumonisinas no período pré-colheita do milho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 1, p. 7-10, 2006.

HESELTINE, C. W. Introduction, definition, and history of mycotoxins of importance to animal production. In: Interactions of mycotoxins in animal production. [Michigan], **Proceedings...** Washington: National Academy of Science, 1978. p. 3-17.

HUTT, W.; MEIERING, A.; OELSCHLAGER, W. Grain contamination in drying with

direct heating. **Canadian Agricultural Engineering**, Canadá, v. 20, n. 2, p. 103-107, 1978.

JANARDHANA, G. R.; RAVEESHA, K. A.; SHEKAR SHETTY, H. Mycotoxin Contamination of Maize Grains Grown in Karnataka (India). **Food and Chemical Toxicology**, Oxford, v. 37, p. 863-868, 1999.

KAAYA, A. N.; KYAMUHANGIRE, W. The effect of storage time and agroecological zone on mould incidence and aflatoxin contamination of maize from traders in Uganda. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 110, p. 217-223, 2006.

KAWASHIMA, L. M.; SOARES, L. M. V. Incidência de Fumonisina B₁, Aflatoxinas B₁, B₂, G₁ e G₂, Ocratoxina A e Zearalenona em produtos de Milho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 3, p. 516-521, 2006.

KRABBE, E. L. **Efeitos do desenvolvimento fúngico em grãos de milho durante o armazenamento e do uso de ácido propiônico sobre as características nutricionais e o desempenho de frangos de corte**. 1995. 176 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

KRABBE, E. L.; FREITAS, T. S. de; PENZ JÚNIOR A. M.; Quanto pode ser perdido em função da atividade fúngica em milho mal armazenado? In: XXXIV REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA – SBZ, 34., 1997, Juiz de Fora, MG. **Anais...** Juiz de Fora, MG, 1997. 8 p.

KUMAR, V.; BASU, M. S.; RAJENDRAN, T. P. Mycotoxin research and mycoflora in some commercially important agricultural commodities. **Crop Protection**, Guildford, v. 27, n. 6, p. 891-905, 2008.

LAZZARI, F. A. **Umidade, fungos e micotoxinas na qualidade de sementes, grãos e rações**. 2ª ed. Curitiba: Ed. do Autor, 1997. 148 p.

LIMA, G. J. M. M. de; Milho e Subprodutos na alimentação animal. In: SIMPÓSIO SOBRE INGREDIENTES NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL, 2001, Campinas, SP. **Anais...** Campinas, SP: CBNA, 2001. p.13, 14, 15, 16, 18, 19, 24, 27 e 28.

LIU, Z.; GAO, J.; YU, J. Aflatoxins in stored maize and rice grains in Liaoning Province, China. **Journal of Stored Products Research**, Amsterdam, v. 42, p. 468-479, 2006.

LOPES, V. **Condições de secagem e tempo de armazenamento na qualidade do trigo**. 1999. 35 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1999.

LOPES, R. P., SOBRINHO, J. C., SILVA, J. S., SILVA, J. N. Fontes de energia para secagem de café. **Engenharia na Agricultura**. Viçosa, 2001, 26 p. (Boletim técnico, 3).

LORINI, I.; MIIKE, L. H.; SCUSSEL, V. M. **Armazenagem de Grãos**. Campinas: Instituto Biogeneziz, 2002. v. 1. 1000 p.

MACHINSKI JR, M.; VALENTE SOARES, L. M.; SAWAZAKI, E.; BOLONHEZI, D.; CASTRO, J. L.; BORTOLLETO, N. Aflatoxins, ochratoxin A and zearalenone in

Brazilian corn cultivars. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 81, n. 10, p. 1001-1007, 2001.

MALLMANN, C. A.; SANTURIO, J. M.; ALMEIDA, C. A. A.; Dilkin, P. Fumonisin B₁ levels in cereals and feeds from southern Brazil. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 68, n. 1, p. 41-45, 2001.

MANO, J.; SHIGEMITSU, N.; FUTO, S.; AKIYAMA, H.; TESHIMA, R. Real time PCR array as a universal platform for the detection of genetically modified crops and its application in identifying unapproved genetically modified crops in Japan. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Saint Paul, v. 51, n. 1, p. 26-37, 2009.

MARIN, S.; SANCHIS, V.; SAENZ, R.; RAMOS, A. J.; VINAS, I.; MAGAN, N. Environmental-factors, in-vitro interactions, and niche overlap between *Fusariummoniliforme*, *F. proliferatum*, and *F. graminearum*, *Aspergillus* and *Penicillium* species from maize grain. **Mycological Research**, Cambridge, v. 102, n. 7, p. 831-837, 1998.

MARQUES, O.; VIDIGAL FILHO, P.; DALPASQUALE, V.; SCAPIM, C.; PRICINOTTO, L.; MACHINSKI JÚNIOR, M. Incidência fúngica e contaminações por micotoxinas em grãos de híbridos comerciais de milho em função da umidade de colheita. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 667-675, 2009.

MATA, A. C. da; FARONI, L. R. D.; BERBERT, P. A.; DHINGRA, O. D. Utilização da fosfina no controle de *Aspergillus flavus* em milho armazenado. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 3 – 8, 1999.

MAYER, Z.; BAGNARA, A.; FARBER, P.; GEISEN, R. Quantification of the copy number of nor-1, a gene of the aflatoxin biosynthetic pathway by real-time PCR, and its correlation to the cfu of *Aspergillus flavus* in foods. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 82, p. 143-151, 2003.

MERONUCK, R. A. The significance of fungi in cereal grains. **Plant Disease**, St. Paul, v. 71, p. 287-291, 1987.

MILLER, J. D. Fungi and mycotoxins in grain: implications for stored product research. **Journal of Stored Products Research**, Amsterdam, v. 31, p. 1-16, 1995.

MILLS, J. T. Ecology of mycotoxigenic *Fusarium* Species on cereal seeds. **Journal of Food Protection**, Des Moines, v. 52, n. 10, p. 737-742, 1989.

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

MONTROSS, J. E.; MONTROSS, M. D.; BAKKER-ARKEMA, F. W. **Grain storage**. In: Bakker-Arkema, F. W. (ed.). **CIGR handbook of agricultural engineering**. St. Joseph: ASAE, v. 4, p. 46-59, 1999.

MUIR, W. E. Temperature and moisture in grain storages. In: SINHA, R.N. & MUIR, W.E. **Grain storage part of a system**. Washington, AVI Publishing, 1973. p. 49-70.

MULTON, J. Water vapour and heat transfers in grains silos and their consequences on storage. In: SHEJBAL, J. **Controlled atmosphere storage of grains**. Amsterdam, Elseiver, 1980. p. 399-408.

NORDIN, N. S. D. **Deteção de aflatoxinas e zearalenona em milho destinado à alimentação animal**. 1995. 82 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

NOGUEIRA JUNIOR, S.; VEIGA FILHO, A. A.; TSUNECHIRO, A.; DONZELLI, P. L.; ALFONSI, R. R.. Produção potencial de grãos e armazenagem a granel no Estado de São Paulo. In: GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO. **Agricultura em São Paulo**. São Paulo, Governo do Estado de São Paulo, v. 36, n. 2, p. 1-16, 1989.

OLIVEIRA, A. Q.; SOARES, L. M. V.; SAWAZAKI, E. Survey of deoxynivalenol, diacetoxyscirpenol, and T2 toxin in popcorn hybrids planted in the state of São Paulo and in popcorn commercialized in the city of Campinas, SP. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 3, p. 330-333, 2001.

OLIVEIRA, A. U.; MARTINS, J. S. **Agricultura Brasileira: tendências, perspectivas e correlação de forças sociais**. Brasília: Via Campesina, 2004. 82 p.

PASIN, N. H. Secagem estática de sementes de soja. **Informativo Abrates**, Londrina, v. 2, n. 1, p. 33-39, 1991.

PEPLINSKI, A. J.; PAULIS, J. W.; BIETZ, J. A.; PRATT, R. C. Drying of high-moisture corn: Changes in properties and physical quality. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 71, n. 2, p. 129-133, 1994.

PEZZINI, V.; VALDUGA, E.; CANSIAN, R. L. Incidência de fungos e micotoxinas em grãos de milho armazenados sob diferentes condições. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 64, n. 1, p. 6-91, 2005.

PITT, J. I. Toxigenic fungi and mycotoxins. **British Medical Bulletin**, Oxford, v. 56, p. 184-192, 2000.

POMERANZ, Y. Biochemical, functional and nutritive changes during storage. In: CRISTENSEM, C.M. **Storage of cereal grains and their products**. St. Paul. p. 56-114, 1974.

PORTELLA, J. A.; MARTINS, R. R. **Uso de GLP na secagem de milho em secador de leito fixo**. Passo Fundo: Embrapa, 2000, 11 p. (Circular técnica, 7).

PORTELLA, J. A.; MARTINS, R. R. **Gás na Secagem de grãos**. Revista Cultivar. p.36-37. 2001. Disponível em: <http://www.grupocultivar.com.br/arquivos/gc31_secagem.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2011.

PORTELLA, J. A.; EICHELBERGER, L. **Secagem de grãos**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 194 p.

PORTELLA, J. A.; EICHELBERGER, L. **Parâmetros para Secagem de Trigo em Secador Estacionário, usando Gás Liquefeito de Petróleo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2002. 8 p. (Embrapa Trigo. Circular Técnica On-line, 10). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_ci10.htm>. Acesso em: 20 jan. 2011.

POZZI, C. R.; ARCARO, J. R. P.; ARCARO Júnior, I.; FAGUNDES, H.; CORRÊA, B. Aspectos relacionados à ocorrência e mecanismo de ação de fumonisin. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 5, p. 901-907, 2002.

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

REHMAN, Z. U. Storage effects on nutritional quality of commonly consumed cereals. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Saint Paul, v. 96, p. 53-57, 2006.

RIBEIRO, I.; VICARI, C. C. Análise de Viabilidade Econômica para secagem de milho com Gás Liquefeito de Petróleo. In: IV SEMINÁRIO DO CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS DE CASCAVEL, 4., 2005, Cascavel, PR. **Anais...** Cascavel, PR: 2005. p. 9.

ROMBALDI, C. V. **Condições de secagem e tempo de armazenamento na qualidade industrial do arroz**. 1988. 124 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1988.

ROMBALDI, C. V. & ELIAS, M. C. Defeitos gerais de classificação comercial em grãos de arroz irrigado, submetidos a duas condições de secagem intermitente e armazenados durante cinco meses no sistema convencional. In: REUNIÃO TÉCNICA DO ARROZ IRRIGADO, 18., 1989, Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre, RS: IRGA, 1989. p. 587-592.

ROSKENS, B. Annual meeting - industry comments. **Grain Quality Newsletter**, Wisconsin, v. 16, n. 2, p. 3-4, 1995.

RUPOLLO, G.; GUTKOSKI, L. C.; MARTINS, I. R.; 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, 1985 p. 127-146.

SANTOS, D. Armazenamento de grãos e cereais a nível de fazenda. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE ARMAZENAGEM, 2, 1977, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: CIBRAZEN, 1977. p. 55-61.

SARTORI, J. A. **Qualidade dos Grãos de Milho após o Processo de Secagem**. 2001. 54 f. Dissertação (Mestrado 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. 615 p.

SCOTT, P. M. Assesment of Quantitative methods for determination of trichothecenes in grains products. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, Maryland, v. 65, n. 4, p. 876-883, 1982.

SCUSSEL, V. M. **Micotoxinas em alimentos**. Florianópolis: Insular, 1998. 144 p.

SERAPHIM, L. S. B. H. **Qualidade e quebra técnica de milho armazenado em diferentes ambientes**. 2006. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical). Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2006.

SILVA, J. S.; AFONSO, A. D. L.; GUIMARÃES, A. C. Estudos dos métodos de Secagem. In: Silva, J.S., **Pré-processamento de Produtos Agrícolas**. Juiz de Fora: Instituto Maria, 1995, p. 105-143.

SILVA, J. S.; AFONSO, A. D. L.; DONZELLES, S. M. L. Secagem e Secadores. In: Silva, J.S., **Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2000, p. 107-138.

SUPERGASBRAS, Características do gás LP. Disponível em: <www.supergasbras.com.br>. Acesso em: 21 jan. 2011.

SWEENEY, M. J.; DOBSON, A. D. W. Mycotoxin production by *Aspergillus*, *Fusarium* and *Penicillium* species. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 43, p. 141-158, 1998.

VERGARA, F.; AMÉZAGA, E.; BÁRCENAS, M.E.; WELTI, J. Analysis of the drying processes of osmotically dehydrated apple using the characteristic curve model. **Drying Technology**, London, v. 15, n. 3, p. 949-963, 1997.

VILELA, F. A.; SILVA, W. R. Curvas de secagem de sementes de milho utilizando o método intermitente. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 49, n. 1, p. 45-153, 1992.

WAALWIJK, C.; KOCH, S. H.; NCUBE, E.; ALLWOOD, J.; FLETT, B.; VRIES, I.; KEMA, G. H. J. Quantitative detection of *Fusarium* spp. and its correlation with fumonisin content in maize from South African subsistence Farmers. **World Mycotoxin Journal**, Wageningen, v. 1, n. 1, p. 39-47, 2008.

WANG, E.; ROSS, F. P.; WILSON, T. M. Increases in serum sphingosine and sphinganine and decreases in complex sphingolipids in ponies given feed containing fumonisins, mycotoxins produced by *Fusarium moniliforme*. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 122, n. 8, p. 1706-1716, 1992.

WARFIELD, C.; GILCHRIST, D. G. Influence of Kernel Age on fumonisina B₁ production in mayze by *Fusarium moniliforme*. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 65, n. 7, p. 2853-2856. 1999.

WEBER, E. A. "Armazenagem Agrícola". Porto Alegre, 1995. Kepler Weber Industrial.
WEBER, E. A. Secadores. In: Weber, E. A., **Armazenagem e conservação dos grãos**, Livraria e editora Agropecuária Ltda. Guaíba - RS, 2001, p. 93-186.

WETZEL, M. V. S. **Patologia de sementes: Fungos do armazenamento**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 480 p.

YOUNG, J. H.; DICKENS, J. W. Evaluation of costs for drying grain in batch of cross-flow systems. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, v.18, n. 4, p.734-738, 1975.