

MARILSON GONÇALVES CAMPOS

**AVALIAÇÃO DA QUEBRA TÉCNICA E QUALIDADE DO MILHO A GRANEL,
EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DE SECAGEM E DO TEMPO DE
ARMAZENAMENTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2001

MARILSON GONÇALVES CAMPOS

**AVALIAÇÃO DA QUEBRA TÉCNICA E QUALIDADE DO MILHO A GRANEL,
EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DE SECAGEM E DO TEMPO DE
ARMAZENAMENTO**

Tese apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola, para obtenção
do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA EM: 18 de dezembro de 2001.

Prof. Adílio Flauzino de Lacerda Filho
(Conselheiro)

Prof. Augusto César de Queiroz
(Conselheiro)

Prof^a. Denise Cunha F. dos Santos Dias

Prof. Flávio Meira Borém

Prof. Jadir Nogueira da Silva
(Orientador)

Aos meus pais Maria José e Manoel (*in memoriam*),
Aos meus irmãos Hedelson, José Maria,
Fábio e Ana Paula,

DEDICO.

À minha querida esposa Silvia,
Aos meus queridos filhos Amanda e Caio,

OFEREÇO.

AGRADECIMENTO

A Deus, por permitir-me alcançar mais este objetivo.

Aos meus pais Maria José e Manoel (*in memoriam*), por terem-me permitido, através de muito sacrifício, este momento.

À Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, pela oportunidade concedida e pela liberação de parte das instalações da unidade armazenadora de Rio Verde, GO, pelo suporte financeiro e pela disponibilização do milho para realização desta pesquisa.

À Universidade Federal de Viçosa, por intermédio do Departamento de Engenharia Agrícola, pela acolhida.

Aos meus amigos e colegas de trabalho na CONAB Ana Lucia de F. Fernandes, Denise Deckers do Amaral, Eurípedes Malaquias de Souza, Jônio de Oliveira, Lafaiete Fernandes de Oliveira, Maria de Lourdes Marinho, Pedro Beskow e Sidney de Souza e Silva, pelo apoio e pela especial colaboração para a aprovação e viabilização desta tese.

Ao Professor Jadir Nogueira da Silva, pelo encorajamento e apoio irrestrito, como meu douto orientador para a realização deste trabalho, e, principalmente, pela amizade.

Aos Professores conselheiros Adílio Flauzino de Lacerda Filho, Augusto César de Queiroz e Juarez de Souza e Silva, pela amizade, pelos ensinamentos e pela valiosa colaboração na elaboração desta tese.

Aos Professores Denise Cunha F. dos Santos Dias, Flávio Meira Borém e Luiz Fernando Teixeira Albino, pelas contribuições e sugestões.

Ao Professor Tetuo Hara, meu orientador e amigo desde o início do Curso de Graduação em Engenharia Agrícola nesta Universidade, pela amizade e pelas valiosas críticas e sugestões apresentadas no decorrer deste trabalho.

Aos meus amigos e colegas da Pós-Graduação José Cardoso Sobrinho, Luiz César da Silva, Paulo César Afonso Junior, Roberto Precci Lopes e Sérgio Maurício Lopes Donzeles, pelo convívio alegre e saudável, contribuindo, de maneira muito especial, para a conclusão desta tese.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, pela prestimosa colaboração.

Aos funcionários e colegas de trabalho da CONAB – Superintendência Regional de Goiás e Unidade Armazenadora de Rio Verde, GO, pela valiosa colaboração durante a realização dos testes experimentais.

Aos meus queridos irmãos e demais familiares, por sempre me apoiarem e me incentivarem durante todos os momentos de minha vida.

À minha querida esposa Silvia e aos meus queridos filhos Amanda e Caio, pelo amor e compreensão em todos os momentos, em especial durante a realização deste Curso.

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram neste trabalho.

BIOGRAFIA

MARILSON GONÇALVES CAMPOS, filho de Maria José Campos de Souza e Manoel Gonçalves de Souza, nasceu em Abaeté, Estado de Minas Gerais, em 14 de abril de 1957.

Em 1976, iniciou o Curso de Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, graduando-se em dezembro de 1979.

Em março de 1980, foi contratado pela Companhia Brasileira de Armazenamento – CIBRAZEM, atual Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, onde iniciou suas atividades profissionais como responsável técnico.

Em março de 1986, iniciou o Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola na UFV, na área de Pré-Processamento e Armazenagem de Produtos Agrícolas, defendendo tese em dezembro de 1989. Durante esse período, atuou como pesquisador, instrutor e consultor técnico do Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem – CENTREINAR, localizado no *Campus* da UFV.

Em março de 1998, iniciou o Curso de Doutorado em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, na área de Pré-Processamento e Armazenagem de Produtos Agrícolas, submetendo-se à defesa de tese em dezembro de 2001.

CONTEÚDO

RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1. Aspectos físicos relacionados a secagem e deterioração do milho	5
2.1.1. Umidade dos grãos	7
2.1.2. Massa específica	8
2.1.3. Suscetibilidade a trincas e quebras	9
2.1.4. Respiração	13
2.1.5. Dióxido de carbono (CO ₂) como índice de deterioração dos grãos armazenados	14
2.1.5.1. Efeito dos danos mecânicos na perda de matéria seca e produção de dióxido de carbono (CO ₂) pelos grãos armazenados	17
2.1.5.2. Influência dos fungos na perda de matéria seca e produção de dióxido de carbono (CO ₂) pelos grãos armazenados	21
2.1.6. Perda de valor nutritivo dos grãos armazenados	27
3. MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1. Procedimento experimental	33
3.1.1. Recepção	33

3.1.1.1. Pesagem, amostragem e pré-limpeza	33
3.1.1.2. Determinação do teor de água e impurezas	34
3.1.2. Secagem	34
3.1.3. Pesagem e armazenagem	38
3.1.3.1. Temperatura dos grãos armazenados	41
3.1.4. Parâmetros para avaliação da qualidade dos grãos	42
3.1.4.1. Teor de água	42
3.1.4.2. Massa específica	42
3.1.4.3. Classificação oficial	43
3.1.4.4. Concentração de dióxido de carbono (CO ₂)	43
3.1.4.5. Suscetibilidade à quebra	45
3.1.4.6. Avaliação de trincas internas	45
3.1.4.7. Germinação	46
3.1.4.8. Atividade de água	46
3.1.4.9. Análise de aflatoxinas e zearalenona	46
3.1.4.10. Análise de fumonisina B ₁	47
3.1.5. Análise estatística	47
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1. Avaliação da qualidade dos grãos	48
4.1.1. Teor de água	48
4.1.2. Massa específica	50
4.1.3. Susceptibilidade à quebra	51
4.1.4. Avaliação de trincas	53
4.1.5. Classificação Oficial	57
4.1.6. Teste-padrão de germinação	59
4.1.6.1. Plântulas anormais – Segunda contagem	61
4.1.6.2. Sementes mortas – Segunda contagem	62
4.1.7. Concentração de dióxido de carbono (CO ₂)	63
4.1.8. Análise da atividade de água	69
4.1.9. Análise de fumonisina B ₁	70
4.2. Perda de peso do milho durante o armazenamento a granel	70
5. RESUMO E CONCLUSÕES	74
REFÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

APÊNDICES	81
APÊNDICE A	82
APÊNDICE B	91
APÊNDICE C	100

RESUMO

CAMPOS, Marilson Gonçalves, D.S., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2001. **Avaliação da quebra técnica e qualidade do milho a granel, em função da temperatura de secagem e do tempo de armazenamento.** Orientador: Jadir Nogueira da Silva. Conselheiros: Adílio Flauzino de Lacerda Filho, Augusto César de Queiroz e Juarez de Souza e Silva.

Durante o armazenamento de grãos de cereais em ambiente natural, pode ocorrer perda de peso resultante da secagem natural, da quebra técnica e da infestação de pragas. As unidades armazenadoras do Brasil adotaram descontos devido à secagem natural e quebra técnica de até 0,3% da massa armazenada, ao mês, independentemente de tipo, características físicas, grau de infestação e condições climáticas locais. A Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, como órgão normativo federal, propôs nova sistemática, adotando, a partir de 1º.07.92, o pagamento de uma SOBRETAXA, além das tarifas de armazenagem. Mediante o recebimento dessa sobretaxa (0,15% sobre o preço de mercado do produto armazenado por quinzena-calendário), o armazenador se obriga a indenizar ao depositante perdas de qualquer natureza, inclusive quebras técnica e de umidade. Não existem dúvidas de que ocorrem significativas perdas de peso durante o

armazenamento de grãos. Entretanto, percebe-se uma lacuna a ser preenchida por pesquisas científicas, objetivando a identificação e quantificação dessas perdas, principalmente ao se considerar a extensão continental do Brasil, com regiões de climas diferenciados, bem como a diversidade da rede armazenadora brasileira. Diante disso, o presente trabalho teve por objetivos quantificar, em uma unidade armazenadora representativa da rede oficial, o índice de quebra técnica; e analisar a qualidade comercial do milho a granel, considerando-se a temperatura de secagem e o tempo de armazenagem. O experimento foi realizado em escala comercial na unidade armazenadora da CONAB, em Rio Verde, GO, durante o período de março a outubro de 2001. No início de abril, houve o recebimento de 795 toneladas de milho a granel, híbrido Pioneer 30F80, para limpeza, secagem e armazenagem. Após limpeza e secagem de sete cargas do secador, com temperaturas no ar de secagem de 80, 100 e 120 °C, o milho foi novamente pesado antes de ser colocado em três silos metálicos para armazenamento durante 180 dias. Como testemunha, amostras foram coletadas por ocasião do enchimento de cada carga do secador e, após a secagem natural (ar ambiente), também foram armazenadas a granel no mesmo período. Amostragens foram realizadas aos 1, 60, 120 e 180 dias. Para avaliação da qualidade do milho, foram conduzidas as seguintes análises: de umidade, massa específica, classificação oficial, nível de concentração de CO₂, suscetibilidade a quebras e avaliação de trincas internas, teste-padrão de germinação, atividade de água, aflatoxinas, zearalenona e fumonisina B₁. Após análise dos resultados, pôde-se concluir que: a) a quantidade de milho obtido por pesagens realizadas após a secagem foi superior à estimada após a aplicação dos descontos, conforme normas vigentes; b) aumentando a temperatura do ar de secagem, obteve-se maior perda de peso do milho destinado à armazenagem; c) o milho secado a 80 °C apresentou menor perda de peso após 180 dias de armazenagem do que o secado a 100 e 120 °C; d) a quantidade total de perda de peso apurada após 180 dias de armazenagem foi equivalente a 2,03% do total armazenado; e) a perda de peso devido à secagem natural foi superior à decorrente da quebra técnica; e f) ocorreram efeitos significativos da temperatura do ar de secagem sobre a quebra técnica e a qualidade do milho armazenado a granel.

ABSTRACT

CAMPOS, Marilson Gonçalves, D.S., Universidade Federal de Viçosa, December 2001. **Evaluation of corn grain weight and quality loss in relation to drying temperature and storage period.** Advisor: Jadir Nogueira da Silva. Committee members: Adílio Flauzino de Lacerda Filho, Augusto César de Queiroz and Juarez de Souza e Silva.

During the cereal grain storage in natural atmosphere, it can occur the weight loss resulting due to the natural drying effect, breakage, and pest infestation. The Brazilian storage system adopted a discount up to 0,3% in weight, per month, due to the natural drying, independently of type, physical characteristics, pest infestation degree, and local climate conditions. The National Supply Company (Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB), as the federal governmental normative institution, proposed a new systematic, adopting, starting since July 1st, 1992, the payment of a Surcharge, besides the storage tariffs. By the payment of this supplementary charge (0.15% per fortnight of the stored product's market price), depositaries are obliged to compensate the depositant for losses of any kind, including weight, quality and moisture loss. There are no doubts as to the occurrence of significant grain weight loss during the storage period. There is, however, a great lack of scientific studies that could identify and quantify these losses, especially in view of the continental dimensions of Brazil with its most differentiated climate regions and the great diversity of Brazilian storage warehouses. The aims of our study have, therefore, been defined as quantification of the weight loss index

and analysis of the commercial quality of the corn grain, considering drying temperature and storage period in a representative storekeeping unit of the official warehouse net. The experiment was carried out on a commercial scale in the period from March to October 2001 in the CONAB warehouse unit in Rio Verde, State of Goiás, Brazil. In the beginning of April, 795 tons of hybrid Pioneer 30F80 corn grain were delivered for cleaning, drying and storage. After cleaning and drying of seven dryer charges at air temperatures of 80, 100 and 120 °C, the corn was weighed again before being filled into three metallic storage silos for 180 days. Samples were collected as evidence from every dryer charge and, after natural drying (at environmental temperature), these were also stored in grain form for the same period. Samples were taken after 1, 60, 120 and 180 days. For an evaluation of the corn quality, the following analyses were done: moisture, specific mass, official classification, CO₂ concentration level, breakage susceptibility, stress-cracking, standard germination test, water activity, aflatoxins, zearalenon and fumonisins B₁. The following conclusions were drawn by the result analysis: a) the corn quantity found by weighing after drying was superior to the estimated one after the deduction of the effective norm; b) higher drying temperatures lead to higher weight loss of the corn to be stored; c) corn dried at 80 °C presented a lower weight loss after 180 storage days than corn dried at 100 and 120 °C; d) after 180 storage days the total verified weight loss quantity was 2.03% of the total stored grain; e) among all losses, weight loss by natural drying was the greatest; f) a significant effect of the drying air temperature on weight and quality loss of the stored corn grain was stated.

1. INTRODUÇÃO

Durante o armazenamento em ambiente natural, os grãos de cereais podem sofrer perda de peso resultante de secagem natural, quebra técnica e infestação de pragas. A quebra por secagem natural é a perda causada pela redução do teor de água dos grãos durante a armazenagem. Podem ocorrer acréscimos ou decréscimos na massa de grãos, em relação à massa inicial, em razão de variações de sua umidade, que tende sempre ao valor de equilíbrio, que dependerá das propriedades físicas e químicas do produto e da temperatura e umidade relativa do ar que o circundam. Trata-se de uma variação de peso que pode ser determinada pela variação entre as umidades inicial e final. Denomina-se quebra técnica a uma quebra não-mensurável causada pelos seguintes fatores, dentre outros: perda de peso resultante da atividade respiratória dos grãos, que conduz ao consumo de matéria seca constituinte, movimentação dos grãos, captação de pó e substituição de embalagem (sacaria). A infestação por pragas também poderá ser responsável por significativa redução no peso e valor comercial do produto, dependendo das condições ambientes e estruturais de armazenagem.

As perdas que ocorrem nos grãos após a colheita possuem significativa importância para o abastecimento alimentar mundial e podem representar entre 5% e 10% da produção global de grãos de cereais e sementes oleaginosas, conforme Richard-Molard, citado por TIPPLES (1995). Enquanto as maiores perdas resultam de infestações por insetos, microrganismos, roedores e

pássaros, uma pequena, mas importante, parte do total de perdas resulta da respiração dos grãos e conseqüente deterioração gradual da viabilidade, da qualidade nutritiva e das propriedades para uso final, durante a armazenagem, em condições comerciais (POMERANZ, 1992).

Os grãos armazenados a granel fazem parte de um sistema ecológico, no qual a deterioração é resultante da interação entre variáveis físicas, químicas e biológicas. São variáveis importantes: temperatura, umidade, teor de oxigênio, localização geográfica, estrutura granária, propriedades físicas, químicas e biológicas dos grãos a granel, microrganismos, insetos, fungos, roedores e pássaros (SINHA, 1973).

O principal objetivo da armazenagem de grãos é propiciar meios de manutenção, durante o período de estocagem, das características biológicas, químicas e físicas que os mesmos possuíam imediatamente após a colheita. Um dos fatores fisiológicos críticos e que determinam o sucesso do processo de armazenagem nos trópicos é a umidade dos grãos. Alta umidade dos grãos ocasiona problemas durante a armazenagem, porque cria condições favoráveis ao desenvolvimento de insetos e fungos, aumenta a taxa de respiração e pode levar à germinação. Além dos compostos produzidos, a respiração dos grãos armazenados libera calor. A redução de temperatura pode ajudar a reduzir a taxa de respiração e prolongar a vida do produto armazenado: em menor temperatura, a atividade de insetos e fungos é reduzida e, conseqüentemente, decresce a taxa de redução de matéria seca na massa de grãos. O desenvolvimento de insetos e fungos é reconhecido como agentes veiculadores dos maiores problemas para o sucesso da armazenagem de grãos nos trópicos (SILVA et al., 2000).

Para prevenir-se de possíveis faltas de mercadorias ao final do processo de armazenagem, que normalmente incluem mais de um depositante, algumas unidades armazenadoras do Brasil adotaram, a título de retenção devido à quebra técnica, a aplicação de descontos de até 0,1% da massa armazenada para cada 10 dias de armazenamento ou fração, ou seja, o equivalente a até 0,3% ao mês, independentemente do tipo, das características físicas e do grau de infestação do produto, bem como das condições climáticas locais. Considerando-se que aproximadamente 100 milhões de toneladas de grãos são produzidos anualmente no Brasil e consumidos uniformemente

durante o ano, a aplicação da taxa de desconto de até 0,3% ao mês implica perda de peso superior a três milhões de toneladas anuais.

No Brasil, tornou-se prática comum a aplicação de elevados índices para dedução da massa dos produtos agrícolas durante o período de armazenagem, devido à quebra técnica. A CONAB, como órgão normativo federal, propôs nova sistemática, extinguindo o AD-VALOREM – tarifa complementar da taxa de armazenagem aplicada sobre o valor das mercadorias em depósito – e adotando, a partir de 1º.07.92, uma SOBRETAXA, prevista no parágrafo único do artigo 37 do Decreto n.º 1.102, de 1903: “... podem os armazéns gerais se obrigarem, por convenção com os depositantes e mediante a especificação prévia de uma taxa, indenizar os prejuízos acontecidos à mercadoria por avarias, vícios intrínsecos, falta de acondicionamento e, mesmo, casos de força maior”. Essa indenização diz respeito somente às perdas ocorridas durante o período de armazenagem.

Conforme normas operacionais estabelecidas pela CONAB e vigentes atualmente, além das despesas relativas aos serviços de armazenagem, o depositante paga um valor adicional, denominado SOBRETAXA, para se obter a garantia quanti-qualitativa do seu estoque armazenado. Mediante o recebimento dessa SOBRETAXA, o agente armazenador se obriga a indenizar o depositante pelas perdas de qualquer natureza (inclusive as quebras técnicas e as de peso por redução de umidade), avarias, depreciações ocorridas ao produto e os eventos não-acobertados pela apólice de seguro do depositante. A SOBRETAXA, cobrada por quinzena-calendário, é calculada, aplicando-se o percentual de 0,15% (zero vírgula quinze por cento) sobre o preço de mercado do produto armazenado.

Não existem dúvidas de que ocorrem significativas perdas de peso durante o armazenamento de grãos. Entretanto, percebe-se uma lacuna a ser preenchida por pesquisas e trabalhos técnicos-científicos, objetivando a identificação e quantificação dessas perdas, principalmente ao se considerar a extensão continental do Brasil, com regiões de climas bem diferenciados. Os trabalhos publicados, relativos à redução de massa e qualidade do milho durante o armazenamento, foram, em sua maioria, conduzidos em países de clima frio, como Estados Unidos e Canadá, havendo, portanto, a necessidade de estudos para as condições brasileiras.

Procurando contribuir para minimizar os problemas relativos à identificação e quantificação das reduções de massa que ocorrem durante a armazenagem, o presente trabalho teve por objetivo geral quantificar o índice de quebra técnica de milho armazenado a granel, numa unidade armazenadora representativa da rede oficial, bem como avaliar sua qualidade comercial, considerando-se a temperatura de secagem e o tempo de armazenagem. Os objetivos específicos foram: analisar os efeitos da interação temperatura de secagem e tempo de armazenagem sobre o índice de quebra técnica e estudar as propriedades químicas, físicas e biológicas do milho e sua interação com temperatura de secagem e tempo de armazenagem.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O milho é um dos cereais mais cultivados em todo o mundo e, como outros grãos, freqüentemente é colhido com alta umidade, requerendo, portanto, tratamento imediato para prevenir a deterioração de sua qualidade durante o armazenamento. Como método de preservação dos grãos de milho, a secagem mecânica é a prática mais usual. Com a secagem, a umidade dos grãos é reduzida a um nível em que são menores os riscos de desenvolvimento de microrganismos. A umidade mínima até a qual os grãos podem ser secados, em certas condições, é função da umidade de equilíbrio para determinada temperatura (UE). Considerando a armazenagem potencial, o conceito de umidade relativa de equilíbrio (URE) é freqüentemente utilizado como um medidor da disponibilidade de água para microrganismos e, assim, fornece uma indicação da atividade biológica dos grãos de milho. As relações entre a umidade de equilíbrio (UE) e a umidade relativa de equilíbrio (URE) são descritas pelas equações isotérmicas de sorção (SUN, 1998).

2.1. Aspectos físicos relacionados a secagem e deterioração do milho

Qualidade de grãos pode ser interpretado diferentemente, conforme a finalidade. Para o criador de animais, o valor nutritivo dos grãos é importante; para o cerealista, algumas propriedades físicas dos grãos, como

suscetibilidade à quebra, são significativas; ao produtor de sementes interessam, principalmente, a viabilidade e o vigor. No entanto, independentemente do critério particular para definir a qualidade dos grãos, são as operações de pós-colheita, às quais os grãos são submetidos, que determinam seu valor. A propriedade que determina o valor comercial de um lote de grãos pode ser física, como grãos danificados, massa específica ou valor nutritivo, tal como teor de proteína bruta ou de aflatoxina (BAKKER-ARKEMA, 1999).

O suprimento adequado de grãos de qualidade é essencial para as indústrias de processamento de milho via úmida ou seca. A secagem com ar aquecido é prática comum. Condições inadequadas de secagem podem danificar e reduzir a qualidade dos grãos: alta temperatura pode ressecá-los ou descolori-los, e a secagem rápida tem sido responsável pelo aparecimento de fissuras ou trincas. A secagem lenta, quando inadequadamente projetada, pode possibilitar condições para o desenvolvimento de fungos antes da conclusão da operação.

Os principais agentes causadores de redução na quantidade e qualidade dos grãos armazenados são insetos, fungos, pássaros e roedores, bem como a respiração, que, em menor escala, pode contribuir para a perda de matéria seca durante a armazenagem (SILVA et al., 1992).

Em condições climáticas tropicais, os insetos assumem particular importância como pragas dos grãos armazenados, pelo fato de a massa de grãos constituir-se de ambiente ideal para seu desenvolvimento. Causam redução de peso, desvalorização e poluição do produto e promovem o aquecimento da massa de grãos no local da infestação. Isso pode contribuir para aumento da atividade respiratória dos grãos, proporcionando maior consumo de matéria seca e, conseqüentemente, rápida deterioração do produto (FARONI, 1992).

Quando se refere aos danos que ocorrem durante o armazenamento, é importante considerar o sistema ecológico como um todo. Dentre os fatores que governam as condições dos grãos, incluem-se seu tipo e composição (especialmente o teor de óleo), o teor de água, a temperatura no armazenamento e suas condições físicas. A presença de grãos quebrados ou fragmentados facilita o acesso de microrganismos nas partes internas e

promove atividade enzimática autolítica. Sementes danificadas e imaturas promovem aumento na taxa de respiração no interior da massa de grãos, enquanto impurezas e matérias estranhas possibilitam o desenvolvimento de fungos e bactérias, em condições adversas (JAYAS et al., 1995).

2.1.1. Umidade dos grãos

Dentre os fatores que influem na deterioração dos grãos armazenados, a umidade é o mais importante. Se mantida em níveis suficientemente baixos, os grãos podem ser armazenados durante longo período, com pequenos efeitos adversos, mesmo em condições desfavoráveis. Umidade dos grãos, atividade de água e umidade relativa da atmosfera intergranular afetam a taxa de respiração dos grãos e propiciam o desenvolvimento de insetos e fungos. A microflora e os insetos requerem uma taxa mínima de umidade relativa para sobreviver e desenvolver, ao passo que, nessas condições, enzimas são inibidas ou até mesmo destruídas. A influência da temperatura sobre a taxa de deterioração é tão importante quanto à do teor de água. De modo geral, insetos não se desenvolvem em grãos de cereais em temperatura inferior a 15 °C ou teor de água inferior a 10% b.u. Ácaros são inibidos quando a umidade é inferior a 13% b.u., ou a temperatura é inferior a 5 °C. Bactérias desenvolvem-se em condições anaeróbias e com teores de água superiores a 20% b.u. (TIPPLES, 1995).

A umidade dos grãos é umas das variáveis limitantes de desenvolvimento de bactérias, leveduras, fungos, ácaros e insetos, que ocasionam perdas de grãos armazenados. A quantidade de “água livre” contida no cereal, no momento da colheita ou durante o armazenamento, em muitos casos, indiretamente, determinará o estado qualitativo do grão (SINHA, 1973).

A umidade pode causar danos substanciais aos grãos armazenados, se é possibilitada a migração na massa de grãos. O excesso de umidade em área localizada da massa de grãos proporciona o aparecimento e desenvolvimento de fungos e insetos. As atividades desses agentes produzem calor e mais umidade, liberada pela respiração. O aumento de calor e umidade possibilita o início da perda da massa de grãos; iniciada, ela se auto-acelera. OBALDO et

al. (1991) desenvolveram um modelo para prever as variações de umidade em milho armazenado, com base na Lei de Fick, para descrever o fenômeno de difusão de umidade. O modelo foi validado com dados obtidos em um silo metálico de chapas corrugadas com 5,49 m de diâmetro e cheio com 58,46 t de milho Dekalb 636/656, com 14,1% b.u., armazenado no período entre janeiro e outubro de 1989, nas condições norte-americanas. Os resultados mostraram-se satisfatórios para a aproximação entre os dados preditos e os de umidade observados durante o período de armazenagem não ventilada.

As relações entre a umidade relativa de equilíbrio e a deterioração de grãos de milho foram estudadas por NG et al. (1995). Para grãos de milho, foram medidos os efeitos de híbridos e dos danos mecânicos na umidade relativa de equilíbrio e no tempo admissível de armazenagem, determinados pela produção de CO₂ e pela perda de matéria seca causada por fungos. Os resultados foram usados para estudar as relações entre a umidade relativa de equilíbrio e o tempo admissível de armazenagem. Grãos de milho com 16% de danos mecânicos tiveram um ponto percentual de umidade relativa de equilíbrio menor do que grãos com 2% de danos mecânicos. As diferenças na umidade relativa de equilíbrio foram maiores para os baixos teores de água. As diferenças de umidade relativa de equilíbrio entre híbridos podem ser explicadas pela diferença na composição química. Milho colhido mecanicamente (16% de danos mecânicos) resultou em taxa de perda de matéria seca maior que a de milho colhido manualmente (2% de danos mecânicos), para 18% e 22% b.u. Normalmente, os fungos desenvolvem-se mais lentamente, com menor umidade relativa de equilíbrio.

2.1.2. Massa específica

A massa específica dos grãos geralmente aumenta durante o processo de secagem até um valor máximo, que é alcançado com teores de água entre 12,3% e 13,8% b.u. O incremento depende da percentagem de grãos danificados, dos teores de água inicial e final, da temperatura alcançada durante a secagem e da variedade do grão. O padrão norte-americano estabelece 617 kg.m⁻³ como valor mínimo de massa específica do milho e 747 kg.m⁻³ como valor máximo (BROOKER et al., 1992).

HALL (1972) estudou as variações da massa específica durante a secagem de grãos de milho. Os objetivos deste estudo foram: determinar a variação da massa específica durante a secagem, bem como o efeito da temperatura do ar de secagem, das variedades de milho e da umidade inicial e final desses grãos sobre a massa específica, durante o processo. Trabalhou-se com temperaturas iguais a 21,1 °C, 48,9 °C, 76,7 °C e 104,4 °C, e observou-se que o aumento da temperatura implicou redução no valor da massa específica. Verificou-se nos grãos selecionados, isentos de danos, maior valor de massa específica durante a secagem, comparados com os grãos com algum dano.

Embora ainda não seja adotada pelos padrões de classificação e comercialização de milho no Brasil e na Argentina, a massa específica é um parâmetro de qualidade adotado pelos Estados Unidos e pelo Canadá. Perda excessiva de matéria seca devido a invasões de insetos e fungos, no campo ou no armazenamento, provoca, também, queda nos valores de massa específica.

2.1.3. Suscetibilidade a trincas e quebras

As normas norte-americanas para classificação de milho consideram os grãos quebrados e a matéria estranha como os principais fatores de qualidade. Os percentuais de grãos quebrados e matéria estranha de um lote de milho têm influências em todas as etapas da comercialização. O percentual de grãos quebrados é dependente do número e tipo de fissuras dos grãos. A quebra pode ser predita pela determinação da suscetibilidade à quebra, pelo índice de trincas ou fissuras ou pela porcentagem de grãos quebrados de um lote de milho (PAUSEN e HILL, 1985; GUNASEKARAN e MUTHUKUMARAPPAN, 1993).

Os secadores são avaliados com base na média do teor de água, sem considerar a variação do teor de umidade do grão individual. Em estudos realizados por MONTROSS et al. (1999), as variações da umidade observadas em lotes de milho secados em três tipos de secadores comerciais foram medidas, durante a secagem, por meio da qualidade dos grãos (indicada pela porcentagem de grãos trincados e quebrados).

A suscetibilidade à quebra de uma amostra depende do teor médio de água e da temperatura, bem como da variação de umidade dos grãos. O índice

de trincas ou fissuras e a porcentagem de suscetibilidade a quebras são afetados pelo teor de água. Essa pesquisa explorou a variação nos valores do índice de trincas e na porcentagem de suscetibilidade a quebras, durante a secagem de milho, em secadores que operam em alta temperatura. O estudo teve como objetivos medir o teor de água do milho na entrada e na saída do secador de alta temperatura e verificar qual o efeito que o tipo de secador tem sobre a variação da umidade dos grãos e sobre a porcentagem de grãos trincados. As principais conclusões deste trabalho foram: o milho que entrou e saiu do secador não teve teor de água uniforme; o teor de água do grão individual pode variar muito (até 30%); o milho secado com alta temperatura teve variação no desvio-padrão relativo ao teor de água dos grãos entre 3% e 5%, e este valor decresceu, com os dias, para 1% durante a armazenagem e permaneceu constante posteriormente; o efeito do tipo de secador sobre a variação de umidade do milho foi pequeno; o milho secado em secadores de fluxos concorrentes teve menor índice de grãos quebrados e aqueles secados em secadores de fluxos cruzados tiveram maior porcentagem de grãos com trincas ou fissuras. O secador de fluxos mistos, neste estudo, apresentou resultados intermediários em relação aos dos secadores de fluxos concorrentes e de fluxos cruzados, no que se refere a quebras ou fissuras no milho secado; o tipo de secador tem efeito muito maior na porcentagem de grãos quebrados do que o efeito da temperatura do ar de secagem (MONTROSS et al., 1999).

A suscetibilidade à quebra é definida como o potencial de fragmentação ou quebra dos grãos, quando o milho é submetido a uma força de impacto (AACC, 1991). O excesso de grãos quebrados pode reduzir o grau de classificação dos grãos, diminuindo o preço de comercialização para os produtores, a produtividade nos processamentos seco e úmido e a eficiência de secagem; e aumentar o potencial risco de explosões de pó.

SISKA e HURBURGH (1994) desenvolveram equações para prever a suscetibilidade à quebra do milho (B), com base no teor de proteína (P), no teor de óleo (O), no teor de amido (S), na densidade dos grãos (D) e na massa específica (T). Valores de referência da suscetibilidade à quebra foram determinados pelo Wisconsin Breakage Tester. Os dois métodos estatísticos utilizados para desenvolver as equações, Método de Regressão Linear Múltipla (MLR) e Método do Principal Fator (PFM), apresentaram resultados similares.

A equação 1 foi desenvolvida com o uso da técnica de Regressão Linear Múltipla (MLR).

$$B = 41,3559 - 0,5549P + 0,2820S - 10,1402D - 0,4566T \quad (1)$$

$$R^2 = 0,65 \quad \text{e} \quad \text{SEP} = 1,0 \% \text{ (validação)}$$

em que

SEP = erro-padrão da média.

A equação 2 foi desenvolvida com o uso do Método do Principal Fator (PFM).

$$B = 43,0673 - 0,7881Sf_i - 0,4895T \quad (2)$$

$$R^2 = 0,64 \quad \text{e} \quad \text{SEP} = 1,0 \% \text{ (validação)}$$

em que

SEP = erro-padrão da média.

ROSS e WHITE (1972) realizaram estudos com o objetivo de determinar o grau de descoloração e fissuras (trincas) em milho branco secado com ar aquecido, considerando a temperatura do ar de secagem, a umidade de colheita e a supersecagem (secagem dos grãos até teores de água abaixo dos normalmente considerados seguros para armazenagem durante longo período). Observaram que a taxa de secagem, o teor de água, a superfície e o ângulo de impacto, o tamanho e a forma dos grãos de milho tiveram influência significativa sobre os danos observados. Consideráveis escurecimento e amarelamento foram verificados com temperaturas do ar de secagem de 87,8 °C e 104,4 °C, nas amostras secadas com menor teor de água e naquelas com alto teor de água. Com temperaturas do ar de secagem abaixo de 71,1 °C, a descoloração foi desprezível. A descoloração também foi desprezível nas amostras de grãos colhidos com 25% b.u. ou menos e secados com temperatura inferior a 104,4 °C. A formação de fissuras ou trincas foi mais severa (de 70% a 90% dos grãos verificados) nos grãos com umidade entre 10% e 14% b.u., secados com ar à temperatura entre 54,4 °C e 104,4 °C, observando-se, inclusive, ligeiro aumento na intensidade de ocorrência dessas injúrias. Amostras secadas com ar a 37,8 °C tiveram apreciável redução nas fissuras ou trincas (menos de 50% dos grãos verificados). Fissuras ou trincas

decreceram com a redução do teor final de água, bem como quando a secagem foi iniciada com menor valor de umidade.

A qualidade de milho, em termos de formação de trincas ou fissuras, quebras e coloração, após secagem pela técnica de fluidificação, foi estudada por SOPONRONNARIT et al. (1997). As temperaturas do ar de secagem, segundo esses pesquisadores, foram de 150 °C, 170 °C e 200 °C. Resultados experimentais indicaram que a secagem do milho com 43% de umidade inicial (b.s.) para 16% de umidade final (b.s.) durante aproximadamente nove minutos, com temperatura do ar de secagem acima de 170 °C (injetando ar com umidade relativa menor do que 5%), pode ser concluída sem perda significativa de qualidade, isto é, com quebra de grãos de milho, trincas ou fissuras abaixo de 12% e com pequena alteração na coloração da superfície dos grãos. Equações empíricas, descrevendo a formação de múltiplas trincas e alterações na cor da superfície dos grãos, foram desenvolvidas, com resultados satisfatórios, comparados aos resultados experimentais.

BORÉM et al. (1992) determinaram o efeito de quatro níveis de temperatura (30 °C, 40 °C, 50 °C e 55 °C) e quatro níveis de umidade relativa do ar de secagem (30%, 40%, 50% e 60%) sobre trincamento interno, trincamento externo e suscetibilidade à quebra de sementes de milho (Zea mays L.), híbrido AG - 303. O trincamento interno foi avaliado, visualmente, com o auxílio de um diafanoscópio, o trincamento externo pelo teste de Amaranthus e a suscetibilidade à quebra pelo "Stein Breakage Tester". Para os testes de trincamento externo e suscetibilidade à quebra, as respostas médias dos tratamentos de secagem não apresentaram diferenças significativas entre si, a 1% de probabilidade ($P < 0,01$), utilizando o modelo cúbico completo. Para os resultados de trincamento interno, encontraram-se modelos quadráticos que se ajustaram, significativamente ($P < 0,01$), aos dados experimentais. A taxa média de secagem influenciou, significativamente ($P < 0,01$), as respostas médias do arco-seno da raiz quadrada da porcentagem de sementes não-trincadas.

A maioria dos danos físicos que ocorrem nos grãos de milho durante o processamento é devida ao impacto destes contra algum objeto. Por exemplo, alta velocidade de impacto ocorre durante a colheita, em muitos equipamentos

de transporte (elevadores de caçambas, transportadores helicoidais), e durante o despejo em queda livre dos grãos nos silos e graneleiros.

Ao realizar estudos para determinar os danos causados aos grãos de milho pela alta velocidade de impacto, bem como aqueles relacionados ao teor de água dos grãos, velocidade de impacto, características da superfície de impacto e ângulo do impacto do grão em relação à superfície, KELLER et al. (1972) concluíram que a velocidade dos grãos, a umidade, a superfície de impacto, o ângulo do impacto, o tamanho e a forma influenciam significativamente os danos aos grãos de milho; velocidade dos grãos influencia mais intensamente, ao passo que tamanho e forma têm influência menor. Os danos aos grãos aumentam com o incremento da velocidade, sendo este o fator de maior influência em relação aos demais. Quando a umidade dos grãos de milho decresceu de 22,2% para 12,3% b.u., os danos aumentaram. Danos por impactos em superfícies de uretano representaram 1/5 dos causados por impactos em superfícies de aço e 1/6 dos ocorridos em superfícies de concreto; ao reduzir o ângulo de impacto de 90° para 45°, houve redução de 25% no total de danos, em todos os testes realizados, exceto no teste em superfícies de concreto, no qual a diferença foi mínima; as maiores quebras ocorreram no sentido longitudinal dos grãos. As quebras foram mais abundantes nos grãos com alta velocidade e menor teor de umidade.

2.1.4. Respiração

A respiração ocorre em todas as células vivas. A respiração aeróbia envolve a decomposição química das reservas armazenadas, produzindo dióxido de carbono, água e energia. A energia liberada durante a respiração aeróbia é utilizada pelas células para combustão durante os processos metabólicos, quando elas liberam calor, conforme afirmou Mills, citado por TIPPLES (1995).

De acordo com HARRIS e LINDBLAD (1978), perdas por respiração da ordem de 0,3% ao mês ocorrem apenas em produtos com umidade igual a 15% b.u., submetidos à temperatura superior a 38 °C. Temperatura em torno de 26,5 °C, com essa mesma umidade, proporciona redução de 30%.

O processo de respiração envolve a liberação de energia, por oxidação de carboidratos e outros componentes orgânicos. Quando o processo de respiração ocorre rapidamente e produz mais calor do que pode ser dissipado, a temperatura do produto armazenado sobe, e aumentam as chances de desenvolvimento de fungos (SILVA et al., 1992).

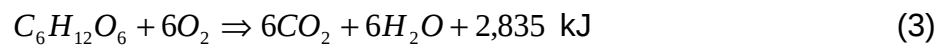
A relação entre o volume de CO₂ produzido e o volume de O₂ consumido é chamada de Quociente Respiratório (Q.R.). Em sistemas fechados, usa-se a técnica estática, na qual o CO₂ produzido é medido após um período fixado. Os principais fatores que controlam a respiração dos grãos são umidade, temperatura, aeração e condições de armazenagem (POMERANZ, 1992).

Nos processos de respiração dos produtos agrícolas e de crescimento de microrganismos, a produção de dióxido de carbono é afetada pelo teor de umidade do produto, temperatura durante o armazenamento, danos mecânicos, atividade de água e histórico dos grãos (STEELE et al., 1969; ANNIS et al., 1997).

2.1.5. Dióxido de carbono (CO₂) como índice de deterioração dos grãos armazenados

A prática da colheita de grãos de milho com alto teor de água tem mostrado a necessidade da manutenção de sua qualidade durante as etapas de colheita, secagem e armazenagem. Cada uma dessas operações representa o período de tempo em que o grão irá deteriorar. A taxa de deterioração granular é determinada principalmente pelas suas condições iniciais e pelo ambiente. Portanto, a deterioração está relacionada com a respiração dos grãos, acrescida da respiração dos microrganismos. O aumento na produção de dióxido de carbono, água e calor está associado com a taxa de respiração ou com a deterioração. Assim, a produção de CO₂ pode ser utilizada como índice de deterioração, e as medições são feitas em pequenas amostras aeradas de grãos de milho, mantidas em condições de umidade e temperatura constantes. A produção de dióxido de carbono expressa a perda de matéria seca dos grãos. Para isso, admite-se respiração aeróbia, com a completa oxidação dos carboidratos em dióxido de carbono e água. Isso é uma simplificação do processo total de respiração, mas permite computar dados

aproximados da perda de matéria seca, com razoável precisão, em determinadas condições de testes. A completa combustão de um carboidrato típico é representada pela equação (3).



Pela equação 3, 1% da perda de matéria seca foi acompanhada pela evolução de 14,7 g de dióxido de carbono por quilo de matéria seca dos grãos. Como reflexo da equação e do pressuposto, o calor resultante da respiração, acompanhado dessa perda de 1%, pode ser estimado pela evolução de 157,24 joules/g de matéria seca de grãos. Equipamentos de laboratório foram utilizados para controlar a temperatura, a aeração e a manutenção do teor de água e possibilitar medições precisas da produção de dióxido de carbono de pequenas amostras. Para controlar a temperatura, as amostras de milho, em recipientes de vidro, foram submersas em banhos de água à temperatura constante. O dióxido de carbono livre no ar – pressupondo-se que sua umidade relativa estivesse em equilíbrio com o teor de umidade e com a temperatura do milho – foi passado pelas amostras. Então, o ar foi secado com sílica-gel e perclorato de magnésio, e o dióxido de carbono produzido pela amostra foi absorvido do ar numa coluna de Ascarite, que foi pesada periodicamente (STEELE et al., 1969).

THOMPSON (1972) desenvolveu um modelo de simulação, para prever variações no teor de água, na temperatura e nas condições dos grãos durante a secagem de milho com elevada umidade, no qual utilizou a produção de CO₂ como medida da deterioração. Ele usou a equação de STEELE et al. (1969) para calcular a quantidade de CO₂ produzida em condições padronizadas de 15,5 °C (59,9 °F), umidade de 25% b.u. de umidade e 30% de danos mecânicos (equação 4).

$$Y = 1,3[\exp(0,006t) - 1] + 0,015t \quad (4)$$

sendo

Y = massa de CO₂ produzido por unidade de massa de matéria seca, g/kg; e
t = tempo, h.

O tempo requerido para produzir determinada quantidade de CO₂ em condições não-padronizadas foi predito pela equação 5 (STEELE et al., 1969):

$$T = T_r . M_t . M_m . M_d \quad (5)$$

sendo

T = tempo estimado, para produzir determinada quantidade de CO₂/h;

T_r = tempo para produzir CO₂ com 15,5 °C, 25% de teor de água e 30% de danos mecânicos; e

M_t, M_m e M_d = fatores de correção de temperatura, umidade e danos calculados pelas equações desenvolvidas por STEELE et al. (1969) e THOMPSON (1972).

O modelo de Thompson e o critério de 0,5% de perda de matéria seca têm sido usados intensivamente em secagens de grãos com baixas temperaturas para prever a deterioração do milho e o tempo admissível de armazenagem. Para fins de testes, pesquisadores têm assumido que não há diferença quanto ao tempo admissível de armazenagem para híbridos. Entretanto, diferenças quanto à suscetibilidade à armazenagem de híbridos com fungos evidenciam que a diferença entre os híbridos tem efeito significativo na produção de CO₂, e esse efeito pode ser quantificado (FRIDAY et al., 1989).

WHITE et al. (1982) realizaram estudos sobre a variação da quantidade de dióxido de carbono intergranular como indicativo da deterioração de sementes armazenadas. A respiração de sementes armazenadas em frascos de 300 ml, com oito teores de água variando entre 6% e 19%, com 10 °C, 20 °C, 30 °C e 40 °C, foi determinada de três a cinco semanas. Foram medidos os níveis de dióxido de carbono e oxigênio, sendo encontrado o quociente respiratório para cada combinação de umidade e temperatura. Equações foram dadas para a taxa de produção de CO₂ predita pela temperatura, teor de água da semente e tempo de armazenagem. A produção de CO₂ acumulada em cada temperatura foi predita pelo teor de água da semente e pelo tempo de armazenagem. Regressão Linear Múltipla, para cada temperatura, após três a cinco semanas, relacionou os níveis de CO₂ acumulado com os teores de

umidade das sementes, níveis de ácidos graxos livres, germinação das sementes e microflora. Períodos de armazenagem segura de sementes, em diferentes temperaturas e teores de umidade, foram determinados com base em 5% de perda de germinação das sementes. Índices de armazenagem, com base em atividade respiratória cumulativa, foram calculados para sementes em várias condições de armazenagem. A proposta do estudo era encontrar a taxa e a quantidade de CO₂ produzido e O₂ consumido em sementes armazenadas, com várias combinações de temperatura e teor de umidade, permitindo atividade biológica, bem como correlacionar a produção de CO₂ com variáveis bióticas e abióticas, indicando estágios da deterioração, sob simulação, em parciais condições aeróbias no laboratório. O quociente respiratório, ou razão entre o volume de CO₂ produzido e o volume de O₂ consumido, foi calculado para cada tratamento umidade-temperatura. A taxa de produção de CO₂, com base nos dados obtidos para quatro temperaturas e oito teores de água das sementes, resultou na equação 6.

$$\text{Log}_{10} (\text{RCO}_2) = - 1,317 + 0,037(T) - 0,037(\text{è}) + 0,001(\text{è})^2 + 0,154(M) \quad (6)$$

em que

RCO₂ = taxa de produção de CO₂ por unidade de matéria seca (mg/kg de sementes em 24 horas);

T = temperatura (°C);

è = tempo de armazenagem (dias); e

M = teor de água das sementes (%).

Todas as variáveis independentes são significativas (P < 0,01); R² = 0,82.

2.1.5.1. Efeito dos danos mecânicos na perda de matéria seca e produção de dióxido de carbono (CO₂) pelos grãos armazenados

O efeito dos danos mecânicos na armazenagem de milho, determinados pela perda de matéria seca e produção de dióxido de carbono, foi estudado por diversos autores. Um programa computacional interativo foi usado por

STROSHINE e YANG (1990) para determinar os efeitos dos danos físicos, dos híbridos e das condições de tempo sobre a perda de matéria seca durante a secagem com ar ambiente de grãos de milho com umidade de 22% b.u. Desconsiderando a localização e o nível de danos físicos, a perda de matéria seca de híbridos resistentes ao desenvolvimento de fungos foi, consistentemente, 30% a 40% menor do que a perda de matéria seca de híbridos suscetíveis. Quando 45% dos grãos tinham danos no pericarpo ou estavam partidos, observaram entre 2 e 2,3 vezes mais perdas de matéria seca no topo da massa de grãos do que quando apenas 15% estavam danificados. O efeito dos danos foi levemente maior em híbridos suscetíveis a invasões de fungos. A armazenagem de híbridos resistentes a fungos teve, aproximadamente, o mesmo efeito quando a percentagem de grãos danificados variou de 45% para 30%. O tempo admissível de armazenagem foi influenciado pela temperatura do milho e pelo tempo de secagem.

O efeito dos danos mecânicos na armazenagem de milho, determinados pela produção de dióxido de carbono e perda de matéria seca causada por fungos, foi estudado por NG et al. (1998). O tempo admissível para armazenagem de milho decresceu à medida que a percentagem de danos mecânicos aumentou de 0% para 40%, mas o tempo admissível de armazenagem foi relativamente constante em níveis de danos de 40% e 50%. Multiplicadores de danos mecânicos foram desenvolvidos para prever o efeito dos danos mecânicos no tempo admissível de armazenagem. Usando o total de grãos danificados, determinado segundo as normas oficiais de grãos, e o critério para classificação americano n.º 2 para milho, verificou-se que o máximo permitido de perda de matéria seca em grãos colhidos mecanicamente (de 25% a 35% de danos mecânicos) deve ser, aproximadamente, de 0,35%. Esse nível de perda de matéria seca é menor do que o valor usualmente aceitável de 0,5%. O tempo admissível de armazenagem do milho foi determinado pela medição da taxa de produção de dióxido de carbono (CO₂) em pequenas amostras de milho.

O sistema de monitoramento de CO₂ (Figura 1) constou de quatro banhos de água (para manter a temperatura constante) e 32 frascos de vidro de 500 ml (oito frascos em cada banho de água). Cada frasco recebeu uma amostra de 150 g de milho. Para a leitura de CO₂, a cada oito horas, frascos

com amostras eram colocados no espectrômetro, e o aumento de CO₂ era anotado em intervalos de 18 minutos. Nesse intervalo, os resultados foram similares, porém mais estáveis do que os obtidos em intervalos menores. A taxa de produção de CO₂ foi integrada todo o tempo, para ser acumulada e convertida em perda de matéria seca, usando-se o modelo de respiração de carboidratos. Entre as medições de CO₂, as amostras foram ventiladas por quatro minutos, com uma taxa de fluxo de ar de 250 mL/min, a cada 20 minutos, para prevenir acúmulo de CO₂ e umidade dentro dos frascos. A umidade relativa do ar de ventilação foi regulada, ajustando-se o teor de glicerol em uma solução de glicerol-água (NG et al., 1998).

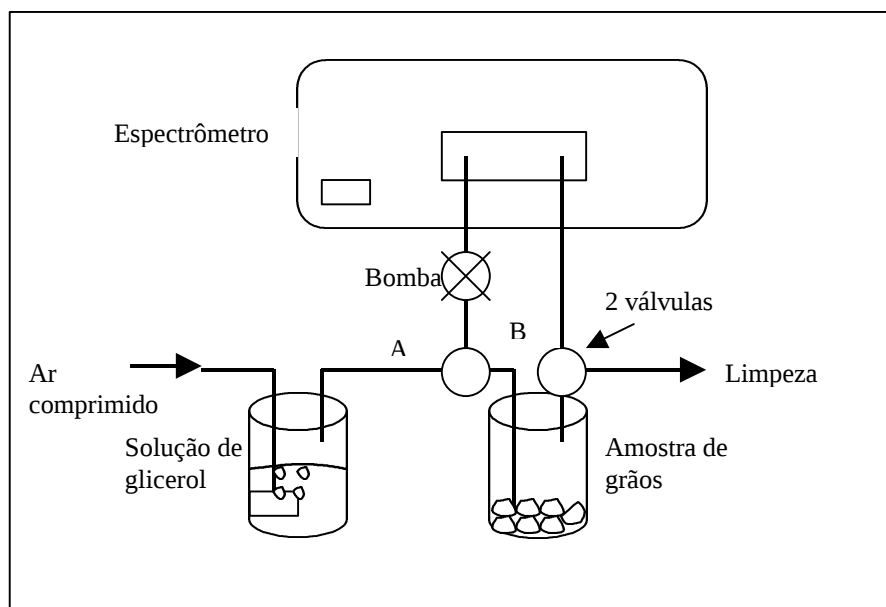


Figura 1 – Sistema para medição de CO₂ usado por NG et al. (1998).

Saul e Steel e Steel e colaboradores, citados por GUPTA et al. (1998), estudaram os efeitos de umidade, temperatura e danos mecânicos na deterioração de grãos de milho, determinados pela produção de dióxido de carbono (CO₂). Foi usado o modelo de combustão de carboidratos (carboidrato + oxigênio = dióxido de carbono + água + energia) para calcular a perda de matéria seca. Eles reportaram que o milho colhido mecanicamente desenvolveu uma quantidade de danos por fungos durante a armazenagem suficiente para alterar sua classificação, de U.S. n.º 2 para U.S. n.º 3, após a produção de 7,4 g de CO₂ por quilo de matéria seca original. Isso correspondeu a 0,5 % de perda de matéria seca. Muitos pesquisadores têm usado 0,5%

como o máximo permissível de perda de matéria seca em modelos de simulações para secagem e armazenagem de milho. No entanto, há dúvida sobre a adoção de 0,5% como critério. Muitos pesquisadores observaram que, com 0,5% de perda de matéria seca, o milho decresce da classificação n.º 1 para a n.º 3.

FRIDAY et al. (1989) encontraram que o milho enquadrou-se nos graus de classificação n.ºs 4 e 5, com 0,5% de perda de matéria seca.

WILCKE et al. (1993) e NG (1995) divulgaram resultados similares, enfatizando a necessidade de haver consistência e objetividade nas análises de danos por fungos para avaliação da qualidade.

SEITZ et al. (1982), medindo produção de aflatoxinas, encontraram níveis inaceitáveis dessa toxina próximos a 0,5% de perda de matéria seca.

NG (1998) desenvolveu uma máquina para quantificar os danos mecânicos e o desenvolvimento de fungos em grãos de milho, por sistema visual. Seus estudos preliminares indicaram que a qualidade do milho após a armazenagem, portanto passível de perda de matéria seca, depende dos danos mecânicos, da umidade e da temperatura. Ele expressou a necessidade de uma completa avaliação da relação entre a perda de matéria seca e a qualidade do milho, bem como a necessidade também de quantificar os danos mecânicos e o ataque de fungos.

GUPTA et al. (1998) estudaram as relações entre a perda de matéria seca e a qualidade de grãos de milho com diferentes níveis de umidade e de danos mecânicos, para determinar o máximo permissível de perda de matéria seca que ainda possibilitasse milho de qualidade aceitável. Foi estudada a relação entre a perda de matéria seca e a qualidade de grãos de milho, conforme indicado pelo total de grãos danificados. Adotaram 5% como o total máximo aceitável de grãos danificados, verificando que, quando ocorria perda de 0,5% de matéria seca, o milho era de qualidade inaceitável em determinadas condições. O total de grãos danificados, para dado nível de perda de matéria seca, variou conforme o teor de água e danos mecânicos. Seus resultados indicaram que a perda de matéria seca permissível para milho com umidade de 18% b.u. foi maior do que 1% para grãos com 0% de danos mecânicos, mas apenas 0,25% para milho com 22% b.u. e igual nível de danos mecânicos.

2.1.5.2. Influência dos fungos na perda de matéria seca e produção de dióxido de carbono (CO₂) pelos grãos armazenados

Os principais fatores que influenciam o desenvolvimento de fungos em produtos armazenados são: teor de água dos grãos, temperatura, tempo de armazenagem, grau de infestação por fungos no campo, presença de material estranho e atividade de insetos e roedores. Alto teor de água é o fator isolado mais importante para o desenvolvimento de fungos. Eles não são diretamente afetados pela umidade do produto, mas pela umidade relativa de equilíbrio do ar intersticial. Durante a colheita, os grãos estão sujeitos a impactos mecânicos que podem levar a rachaduras e quebras, que servem de entrada para fungos e insetos. Em condições desfavoráveis de colheita e armazenagem, a umidade do produto pode ser alta o suficiente para permitir, além do desenvolvimento de fungos, aquecimento e outros danos à massa de grãos armazenados, os quais se caracterizam por descoloração, perda de germinação, aumento do teor de ácidos graxos e deterioração das qualidades nutritivas. A elevação no teor de ácidos graxos em sementes devida, principalmente, ao ataque de fungos é, também, o principal sintoma de sua deterioração, quando a umidade está em torno de 14% b.u. (SILVA et al., 1992).

O controle inicial dos fungos de armazenamento consiste em secar o milho abaixo da umidade em que os fungos se desenvolvem. A prática mais comum é a secagem com alta temperatura, em que o milho colhido com umidade entre 20 e 25% b.u. é rapidamente secado para obter uma umidade entre 13 e 14% b.u. A grande vantagem é que essa secagem pode ser realizada em condições de tempo úmido; a maior desvantagem é que, além de requerer uma quantidade de energia relativamente grande, pode ocorrer a formação de trincas, quando o milho é rapidamente aquecido e resfriado (PINTO, 1996).

Outra alternativa é a secagem com baixa temperatura, porém sua eficiência depende diretamente da condição do ar ambiente. Esse processo requer menos energia e resulta em menor percentagem de trincas ou nenhuma trinca nos grãos. Entretanto, é um processo que pode estender-se por algumas semanas, e o controle do ataque de fungos, nesse período, poderá depender de agentes inibidores do desenvolvimento fúngico, como o ácido propiônico,

que tem sido usado como substância antifúngica em grãos de milho, aumentando o tempo necessário para completar a secagem com baixa temperatura. Porém, o ácido propiônico pode prejudicar a eficiência alimentar em bovinos, ser corrosivo para os silos e equipamentos de transporte e ocasionar a indisponibilidade imediata para o consumo humano. A amônia também tem sido testada como substância protetora dos grãos de milho, mas, embora exerça controle efetivo contra os fungos no armazenamento, pode resultar na descoloração dos grãos e produzir odor residual. O formaldeído, o dióxido de enxofre e os ácidos sórbico, fórmico, acético, butírico e isobutírico também têm sido testados como protetores dos grãos (PINTO, 1996).

O desenvolvimento de fungos e a perda de matéria seca durante a armazenagem de milho com elevados teores de água foram estudados por SEITZ et al. (1982). O dióxido de carbono, o ergosterol, a aflatoxina, a percentagem de grãos com fungos, o teor de água e as temperaturas foram monitorados durante a armazenagem de milho recém-colhido com umidade entre 22,9% e 25,6% b.u. O milho foi armazenado em dois silos de 3,52 m³ e aerados, em sua base, a 0,17-0,66 m³/min/t. A invasão de fungos foi maior no topo e menor na base dos silos. Os testes evidenciaram que a invasão de fungos e o teor de aflatoxinas podem ser inaceitáveis antes que o grão perca 0,5% de matéria seca e, também, que a quantidade inicial de inóculo, particularmente *Aspergillus flavus*, nos grãos afetou significativamente a extensão da invasão de fungos durante a armazenagem. A armazenagem nessas condições, por um período suficiente para ocorrer aproximadamente 1% de perda de matéria seca, definitivamente não deve ser recomendada. Métodos-padrão de inspeção visual podem não ser adequados para revelar a contaminação por fungos de amostras de milho quando a superfície de fungos tiver sido removida por agitação em correntes de ar. Testes de laboratório também evidenciaram que a extensão da invasão de fungos em milho, quando armazenado até a ocorrência de aproximadamente 0,5% de perda de matéria seca, dependerá da quantidade de inóculo de fungos e da quantidade e tipo de danos.

Segundo WHITE (2000), a medição da concentração de dióxido de carbono (CO₂) do ar intergranular tem sido utilizada para detectar a deterioração progressiva causada por quaisquer fungos ou insetos. O processo

usual de deterioração biológica que ocorre em grãos e sementes armazenados consome oxigênio e produz dióxido de carbono. A concentração de CO₂ no ar ambiente é de aproximadamente 0,03% a 0,04% (300 a 400 ppm). Concentrações acima desse nível em silos indica que a atividade biológica (fungos, insetos, ácaros ou respiração dos grãos) está causando deterioração.

Como o CO₂ normalmente se expande no interior da massa de grãos, os pontos para amostragem do gás não precisam ser exatamente nos pontos de deterioração. No entanto, preferencialmente a amostragem deve ser localizada onde em geral ocorre a deterioração, como no centro da massa de grãos a 1 ou 2 m abaixo do topo da superfície. Ocasionalmente, a deterioração irá ocorrer próximo às portas de acesso, devido à má vedação no encaixe das mesmas, e sobre as paredes dos silos, devido à ocorrência de condensação ou à penetração de água através dos ventiladores de teto. Essas áreas localizadas podem produzir elevados níveis de CO₂, que podem ser detectados no interior dos silos. É recomendável a localização de vários pontos de amostragens adicionais para determinar se os níveis elevados são localizados ou distribuídos em toda a massa de grãos. Amostras de ar podem ser retiradas através de tubos plásticos de pequeno diâmetro, temporário ou permanentemente localizados no interior da massa de grãos, usando-se bombas manual ou elétrica e seringa (Figura 2).

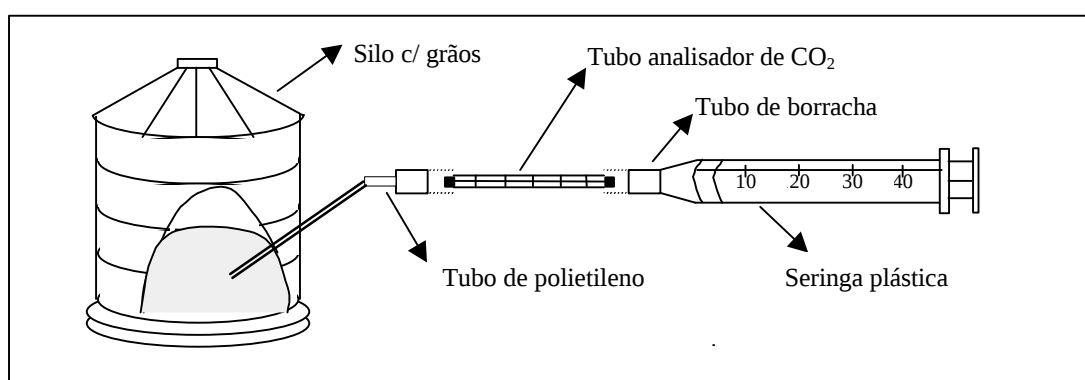


Figura 2 – Desenho esquemático dos equipamentos utilizados para amostragem de dióxido de carbono em silos.

Os fungos são importantes agentes do processo de deterioração dos grãos, podendo descolori-los e degradar proteínas, açúcares e carboidratos,

além de produzirem odores desagradáveis. Com o desenvolvimento do fungo, há produção de calor e umidade metabólica, acelerando a deterioração ou apodrecimento dos grãos. O controle desses fungos requer a integração da prevenção de danos mecânicos durante a colheita e transporte dos grãos, a manutenção da umidade dos grãos abaixo do ótimo para o desenvolvimento fúngico e a manutenção de temperatura baixa durante o armazenamento (PINTO, 1996).

Atualmente, os fungos são reconhecidos como os mais importantes causadores de danos aos grãos. Os fungos toxígenos, em seu processo de colonização dos grãos de milho, são exímios biossintetizadores de micotoxinas, altamente nocivas à saúde animal e humana. Espécies do gênero *Aspergillus* (*A. flavus*, *A. parasiticus* e *A. ochraceus*) são ativas na biossíntese de micotoxinas, principalmente as aflatoxinas (B1, B2, G1 e G2) e a ochratoxina (PINTO, 1996).

As aflatoxinas são metabólitos secundários, produzidos por fungos do gênero *Aspergillus*, que contaminam as culturas no campo, os grãos durante o armazenamento e os produtos alimentícios destinados ao consumo humano. Devido aos efeitos carcinogênicos, mutagênicos e teratogênicos, as aflatoxinas representam um risco à saúde pública, havendo, pois, a necessidade de desenvolver medidas de controle durante o processo de produção de alimentos: cultivo, colheita, armazenamento e transporte. Dieta de suínos, bovinos e aves composta de grãos de milho com elevado nível de micotoxinas significa, ao mesmo tempo, perigo e prejuízos (PRADO et al., 1995).

As micotoxinas causam danos irreversíveis à saúde dos animais e, adicionalmente, comprometem a integridade de quem consome carne, leite e produtos derivados de animais intoxicados (PINTO, 1996).

A zearalenona é uma micotoxina que já foi encontrada no mundo inteiro (FRISVAD, 1995), principalmente afetando milho, trigo, feijão, aveia, centeio, arroz e sorgo. Esta micotoxina já foi encontrada ocorrendo naturalmente em países como: Reino Unido, Alemanha, Polônia, Áustria e Canadá; maior incidência de zearalenona tem sido constatada em países de clima temperado: Itália, Portugal, Espanha, Estados Unidos, Argentina, Austrália, China, Tailândia, Japão, Korea, Índia, Nepal, África do Sul, Zâmbia e Yemen. A zearalenona é primariamente produzida por *F. sporotrichioides* e *F.*

pallidroseum e, secundariamente, por *F. equiseti*, *F. crookwellense*, *F. culmorum* e *F. graminearum*.

Conforme FRISVAD (1995), as fumonisinas B₁ e B₂ são micotoxinas indicadas como causadoras da leucoencefalomalia eqüina, câncer e edema pulmonar em suínos. Essa toxina polar ocorre naturalmente em milho, nos Estados Unidos, na Polônia e na África do Sul. Produtores de fumonisina incluem, principalmente, as espécies maiores, como *Gibberella fujikuroi* (Sawada).

WILCKE et al. (1998) estudaram o efeito da aplicação do fungicida Iprodione na taxa de deterioração de grãos de milho armazenados. Esse fungicida, diluído em água, foi aplicado em duas diferentes concentrações (3,29 ml/kg e 5,48 ml/kg) de milho úmido, para verificar seu efeito no tempo admissível de armazenagem (tempo para perder 0,5% da matéria seca original) de grãos de milho (*Zea mays*) com umidade de 18% e 22% b.u. e 20 °C. O tempo admissível de armazenagem foi determinado pela quantidade de CO₂ produzida pelas amostras de milho e pelo uso do modelo de respiração de carboidratos para calcular a perda de matéria seca. Concluíram que todos os tratamentos com Iprodione permitiram significativo aumento no tempo admissível de armazenagem (tempo para perda de 0,5% de matéria seca), em relação às testemunhas, para grãos de milho com umidade de 18% e 22% b.u.; não houve diferença significativa no tempo admissível de armazenagem, para as concentrações de 3,29 ml/kg e 5,48 ml/kg, do milho tratado com o referido fungicida; o tempo admissível de armazenagem para milho com umidade de 18% b.u. e tratado com Iprodione foi significativamente menor quando o surfactante não-iônico foi adicionado à solução; esse surfactante não teve efeito significativo no tempo de armazenagem para amostras com umidade de 22% b.u.; o Iprodione teve maior efeito no tempo admissível de armazenagem do milho com 18% b.u. do que no milho com 22% b.u.; o tempo admissível de armazenagem para o milho com 22% b.u. foi comparável aos encontrados por STEELE et al. (1969). Entretanto, o tempo admissível de armazenagem do milho com 18% b.u. foi diferente dos encontrados por STEELE et al. (1969) e DUGBA et al. (1996); a quantidade de danos por fungos no final do tempo admissível de armazenagem (como indicado pelo total de grãos danificados) foi maior no milho com 22% b.u. do que no milho com 18% b.u. Com 22% b.u., o

total de grãos danificados encontrados foi comparável àqueles reportados por DUGBA et al. (1996), mas houve grande diferença entre os valores encontrados para o milho com 18% b.u.

No estudo do tempo admissível de armazenagem de grãos de milho tratados com fungicida, WILCKE et al. (1993) usaram a produção de dióxido de carbono para determinar as características de armazenagem de grãos de milho a 20 °C e umidade de 22% b.u., tratados com 0, 15 e 20 ppm de fungicida Iprodione, com e sem o surfactante não-iônico. Novo procedimento foi desenvolvido para medir a produção de dióxido de carbono em fungos e grãos armazenados e determinar o tempo admissível de armazenagem. Foi utilizado o espectrômetro infravermelho, para medir periodicamente a taxa de produção de dióxido de carbono, o que é melhor que a tradicional aproximação de absorver continuamente todo o dióxido de carbono produzido. Isso foi utilizado para estudar a eficácia do fungicida Iprodione em milho com 22% b.u. e armazenado a 20 °C. O milho utilizado com três níveis de danos mecânicos iniciais (3%, 14% e 25%) foi tratado com 0, 15 e 20 ppm de Iprodione e 15 e 20 ppm de iprodione + 0,25% de surfactante. O fungicida Iprodione retardou o desenvolvimento de fungos e aumentou o tempo de armazenagem, em todos os tratamentos, comparados às testemunhas, e foi mais efetivo para o milho com maior índice de danos mecânicos. Para grãos de milho com 25% de danos mecânicos, os tratamentos com o fungicida proporcionaram aumento no tempo admissível de armazenagem de 11,2% a 20%. Não houve diferença significativa entre a quantidade de danos por fungos e a quantidade de fungicida aplicada. Entretanto, a maioria das amostras desenvolveu fungos suficientes para deteriorar do grau de classificação americano n.º 1 para o n.º 4 ou 5, durante o tempo necessário para se verificar a perda de 0,5% de matéria seca.

O efeito da temperatura sobre a deterioração de grãos de milho também foi motivo do estudo realizado por WILCKE et al. (1998), que compararam taxas de deterioração, indicadas pela produção de dióxido de carbono em grãos de milho armazenados em condições de temperaturas variáveis em relação às preditas nas equações desenvolvidas por STEELE (1967) e THOMPSON (1972). Foi utilizado milho com umidade de 18%, 22% e 26% b.u., com alternância de temperaturas de 15 °C para 25 °C e de 25 °C para 15 °C e

temperaturas cíclicas variando entre 15 °C e 25 °C, a cada 24 horas. O monitoramento da deterioração dos grãos de milho envolveu medições do CO₂ produzido por amostras de milho submetidas a condições de umidade e temperatura controladas, usando-se os resultados de produção de dióxido de carbono para calcular a perda de matéria seca. Amostras de milho (250 g) foram colocadas em frascos de vidro de 500 ml, em banhos de água, para resfriar ou aquecer, até atingirem a temperatura desejada. No momento de determinar a perda de matéria seca de uma amostra, o computador ativa a bomba e a válvula apropriada para transportar o ar dos frascos por um tubo de aço inoxidável até o espectrômetro infravermelho. Esse espectrômetro mede o aumento da concentração de CO₂ na corrente de ar durante 18 minutos; a taxa de aumento foi usada para calcular a produção total de CO₂ e a perda de matéria seca desde a última medição realizada. O modelo geral de perda de matéria seca *versus* curva de tempo de armazenagem foi similar aos valores preditos e medidos, os quais indicaram que os métodos correntemente utilizados para predizer taxas de deterioração em condições de temperaturas variáveis são adequados. O maior desvio entre as taxas de deterioração preditas e as taxas medidas ocorreu com baixos níveis de perda de matéria seca. Isso indica a necessidade de avanços para determinar as causas dessas diferenças e a necessidade do desenvolvimento de novas equações para baixos níveis de perda de matéria seca.

2.1.6. Perda de valor nutritivo dos grãos armazenados

O grão de milho pode ser dividido em três partes: endosperma, embrião e pericarpo. O endosperma, que representa aproximadamente 83% do grão, é constituído de 86,4% de amido, 9,4% de proteína, 0,8% de lipídios, 0,6% de açúcares, 0,3% de cinzas e 0,6% de fibras. O embrião representa, aproximadamente, 11,5% do grão e contém 8,2% de amido, 18,8% de proteína, 34,5% de lipídios, 10,8% de açúcares, 10,1% de cinzas e 0,5% de fibras. O pericarpo representa 5,5% do grão e contém 7,3% de amido, 3,7% de proteína, 1% de lipídios, 0,3% de açúcares, 0,8% de cinzas e 8,5% de fibras (ESMINGER e OLENTINE,1978).

As proteínas do milho são divididas em albuminas, globulinas, prolaminas e glutelinas 1, 2 e 3. Estão distribuídas em todas as partes do grão, porém a maior quantidade está no endosperma (75%), embora a concentração da proteína no germe seja aproximadamente o dobro da do endosperma. Nessa porção do grão, as proteínas distribuem-se na matriz do endosperma e em corpúsculos protéicos que contêm principalmente zeína. No milho-comum predomina a zeína, que é uma prolamina e representa cerca de 50% de toda a proteína dos grãos, constituindo parte das proteínas de reserva para a germinação das sementes, além de ser um componente estrutural do endosperma, que, por sua estrutura e composição, forma pontes de hidrogênio e ligações dissulfeto intermoleculares (SGARBIERI, 1966).

A zeína caracteriza-se por níveis baixos de lisina e triptofano e alto teor de prolamina, leucina, alanina e glutamina, que perfazem cerca de 70% do total de aminoácidos da proteína. Como cerca de 50% dos aminoácidos totais dos grãos provêm da zeína, seu desequilíbrio aminoacídico reflete-se na composição global das proteínas do milho, diminuindo seu valor nutritivo. Portanto, a diminuição da fração zeína no grão é uma das formas mais eficientes de elevar o valor nutritivo da proteína do milho (efeito sinérgico), já que o simples aumento do teor de proteína total é acompanhado de aumento proporcional do teor de zeína, diminuindo a proporção das demais frações protéicas dos grãos (SGARBIERI, 1966).

As glutelinas, encontradas principalmente no germe ou no embrião, possuem teores mais elevados de lisina e triptofano, comparadas à zeína, característica favorável dessa proteína. A composição de aminoácidos essenciais do germe e do endosperma apresenta valores significativamente maiores para lisina e triptofano no germe e metionina, cisteína, leucina e tirosina no endosperma do grão de milho (SGARBIERI, 1966).

O valor nutritivo de um lote de grãos pode ser determinado *in vivo*, por ensaios de digestibilidade e de crescimento, ou *in vitro*, pela avaliação da digestibilidade da proteína e de análises químicas (SGARBIERI, 1966).

Os efeitos da secagem artificial de milho e soja na composição, valor nutritivo, viabilidade das sementes e características de processamento industrial não são considerados na classificação comercial dos grãos. Para fins comerciais, os grãos são classificados de acordo com o teor de água, massa

específica e percentagem de grãos quebrados ou danificados e de material estranho presente no lote. Estudiosos afirmam que o calor tem efeito definitivo no valor nutricional do milho. Redução na qualidade comercial, devido à secagem com elevada temperatura, pode não corresponder a um decréscimo no valor nutricional do milho, como ração animal. Também, não houve redução no valor nutritivo do milho para suínos quando o grão foi secado com ar à temperatura entre 60 e 104 °C; a disponibilidade de lisina foi reduzida quando o milho, com 14 e 23% b.u., foi secado a 150 °C e 127 °C, respectivamente. O teor de niacina não foi afetado pela temperatura, mas a disponibilidade de pirodoxina foi significativamente reduzida, quando o milho com umidade de 14% b.u. foi secado a 160 °C. Embora possam não concordar quantitativamente a respeito de alterações no valor nutricional do milho ou da soja, devido à alta temperatura de secagem, os pesquisadores são unânimes em afirmar que características físicas e químicas, como consistência, conteúdo de energia, palatabilidade, dureza, cor, umidade e teor de proteínas e aminoácidos, são afetadas pela temperatura de secagem (SILVA et al., 2000).

Durante o processo de elaboração de alimentos por ação do calor são produzidas radiações ionizantes, oxidação ou atividade de enzimas sobre as proteínas, gorduras, carboidratos e componentes aromáticos voláteis diversos. Exemplos desse fenômeno são as reações de Maillard, que ocorrem entre aminoácidos e açúcares redutores; a reação que se produz entre os grupos carbônicos e os produtos da degradação de lipídios; e a hidrólise de lipídios sobre ácidos graxos e sua posterior transformação em aldeídos, éteres e álcool. Os tratamentos térmicos são a causa principal das alterações nas propriedades nutritivas dos alimentos. Assim, durante os tratamentos, produzem-se a gelatinização dos amidos e a coagulação das proteínas, o que melhora sua digestibilidade, ao mesmo tempo que são destruídos alguns compostos antinutritivos (por exemplo, o inibidor da tripsina das verduras). O calor também destrói algumas vitaminas termossensíveis, reduz o valor biológico das proteínas (devido à destruição de aminoácidos nas reações de escurecimento de Maillard) e favorece a oxidação de lipídios (FELLOWS, 1994).

Os grãos de cereais e seus produtos são importantes fontes de algumas vitaminas. Perdas no teor de vitamina podem ocorrer durante a armazenagem

e são de considerável importância prática. Grãos de cereais são, geralmente, boas fontes de tiamina, niacina, piridoxina, inositol, biotin e vitamina E e contêm significativa quantidade de ácido pantotênico. Há indicações de que significativas perdas de tiamina podem ocorrer durante a armazenagem, e a extensão dessas perdas depende, consideravelmente, do tempo e temperatura de armazenagem e do teor de água. Alta temperatura e elevado teor de água aceleram a taxa de destruição de tiamina (POMERANZ, 1992).

Tem sido mostrado que consideráveis perdas de vitamina A ocorrem em grãos de milho amarelo durante a armazenagem. Estudos realizados na Universidade de Illinois evidenciaram que o milho armazenado em silos metálicos durante quatro anos continha menos de 50% do caroteno bruto em relação ao colhido pouco tempo antes (Jones, citado por POMERANZ, 1992).

De acordo com STEFANOV et al. (1970), intensiva oxidação e hidrólise aconteceram quando grãos de milho com umidade de 14% b.u. foram armazenados. Teores de vitaminas, carboidratos e proteínas decresceram; o teor de gordura do farelo aumentou, e o processamento dos grãos foi ligeiramente mais difícil. Durante a armazenagem em atmosfera de dióxido de carbono, durante três meses a umidade e o teor de gordura do farelo permaneceram inalterados.

O uso inadequado de sistemas de secagens pode comprometer a qualidade protéica do alimento, visto que podem ocorrer destruição de aminoácidos, por oxidação, principalmente dos que contêm enxofre, e modificação das ligações entre aminoácidos, retardando sua liberação durante a digestão e formando ligações não-hidrolisáveis durante a digestão. Alto aquecimento, em alimentos úmidos com baixo teor de carboidratos, tem provocado grave destruição de cistina e cisteína, junto com a diminuição de outros aminoácidos. O aquecimento excessivo tem mostrado isomerização de alguns aminoácidos. Caseína, lisozima e poli L-aminoácidos foram submetidos a calor seco, a 180-300 °C, durante 20 minutos. A decomposição e a isomerização dos resíduos de aminoácidos foram investigadas por cromatografia. Os ácidos aspártico e glutâmico, a alanina e a lisina foram encontrados, em grande parte, isomerizados; outros aminoácidos, com exceção da prolina, quando submetidos a temperatura mais alta, também isomerizaram. A isomerização dos resíduos de aminoácidos pode inibir

parcialmente a digestão proteolítica da proteína. Porém, alguns D-aminoácidos livres podem apresentar algum valor nutricional (SMINGER e OLENTINE, 1978).

A reação de Maillard ocorre entre proteínas e carboidratos, particularmente açúcares redutores, e resulta numa ligação ϵ -amino, grupo de resíduo de lisina, que decorre do aumento exagerado da temperatura, durante longo período de armazenagem. Essa reação diminui a disponibilidade de lisina, a digestibilidade do nitrogênio da proteína e a disponibilidade de outros aminoácidos. Outros resíduos de aminoácidos, primariamente a cistina, podem reagir contra o açúcar redutor, mas em pequenas proporções, quando comparados com a lisina (SGARBIERI, 1966).

Carboidratos são suscetíveis à degradação térmica na presença de aminoácidos e água. Essa reação, chamada de reação de Maillard ou reação de escurecimento não-enzimático, envolve a condensação de resíduos do açúcar e aminoácidos resultantes da polimerização, para formar uma substância acastanhada, constando de aproximadamente 11% de nitrogênio, o qual processa muitas propriedades físicas da lignina. Outras substâncias, incluindo óleos insaturados e fenóis, podem participar da co-polimerização. A mais importante reação é a condensação de aminoácidos, através dos quais as proteínas tornam-se indigestíveis, particularmente as do grupo com nucleofílicos livres, como aminas ou enxofre em lisina, cistina, metionina e, muitas vezes, o grupo fenólico em tirosina (SGARBIERI, 1966).

3. MATERIAL E MÉTODOS

A secagem e a armazenagem dos grãos de milho (*Zea mays* L.) utilizados neste trabalho foram realizadas na unidade armazenadora da Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, localizada no Município de Rio Verde, no Estado de Goiás, durante o período de março a outubro de 2001. Foram utilizados grãos de milho a granel da variedade híbrido Pioneer 30F80, semiduro, procedentes da Fazenda São Tomás, localizada no km-23 da BR-452, em Rio Verde, GO. O milho com teor de água médio de 19% b.u., colhido mecanicamente por duas automotrizes, foi transportado por via rodoviária até o armazém, para limpeza, secagem e armazenagem. O produto foi cedido pela CONAB, durante a fase experimental.

Como testemunha, foram coletadas amostras durante o enchimento de cada carga do secador, que, após secagem sem ventilação forçada, em terreiro, também foram armazenadas a granel (tratamento 1). Para quantificação do índice de quebra técnica e análise da qualidade comercial do milho armazenado a granel, os grãos foram secados com ar aquecido a 80 °C, 100 °C e 120 °C (tratamentos 2, 3 e 4). A seguir, foram pesados e depositados, respectivamente, nos silos metálicos designados como D-05, D-06 e D-07, nos quais permaneceram armazenados durante 180 dias. As condições de temperatura e umidade relativa do ar ambiente foram registradas durante as operações de secagem, conforme Quadros 1A, 2A e 3A (Apêndice A).

3.1. Procedimento experimental

3.1.1. Recepção

Foram recebidos 795.180 kg de milho a granel, safra 2000/2001, variedade híbrido Pioneer 30F80, semiduro, colhidos em uma única propriedade agrícola e com o mesmo padrão de classificação. Esses grãos foram submetidos às operações de pré-limpeza, secagem e armazenagem, de acordo com a rotina operacional da unidade armazenadora.

3.1.1.1. Pesagem, amostragem e pré-limpeza

Após a pesagem inicial em balança rodoviária, os grãos foram descarregados nas moegas. Durante o descarregamento, amostras foram coletadas introduzindo sondas manuais na massa dos grãos de milho, para sua caracterização antes das operações de pré-limpeza e secagem (Figura 1). Uma vez coletadas, foram devidamente homogeneizadas antes das determinações de teor de água

As amostras para determinação da umidade e porcentagem de impurezas, durante a recepção do milho, foram obtidas pela homogeneização de várias amostras simples retiradas durante o carregamento do secador.



Figura 1 – Amostragem realizada durante a recepção dos grãos de milho.

Os grãos de milho foram transportados em um elevador de caçambas das moegas até a máquina de pré-limpeza (Figura 2), dotada de um conjunto de peneiras, cuja peneira da base possuía crivos circulares de 5 mm de diâmetro, para separação dos grãos quebrados, impurezas, fragmentos e matérias estranhas. As impurezas mais leves que os grãos foram removidas pelo sistema de ventilação da respectiva máquina.



Figura 2 – Máquina de pré-limpeza utilizada no experimento.

3.1.1.2. Determinação do teor de água e impurezas

O teor de água dos grãos de milho foi medido nas amostras obtidas durante o descarregamento do milho nas moegas e carregamento do secador, com a utilização de determinador de umidade, pelo método indireto, conforme rotina operacional daquela unidade armazenadora.

A porcentagem de impurezas foi determinada com a utilização de peneiras, também com crivos circulares de 5 mm de diâmetro, para separação das impurezas e grãos quebrados em amostras reduzidas a 250 g.

3.1.2. Secagem

Após a pré-limpeza, utilizando elevadores de caçambas, os grãos foram transportados até o secador de torre, de fluxos mistos, com fornalha à lenha de

fogo indireto e capacidade estática de aproximadamente 35 toneladas, conforme mostrado na Figura 3.

O regime de secagem utilizado foi intermitente com temperaturas do ar de 80 °C, 100 °C e 120 °C. Foram realizadas as secagens de sete cargas do secador para cada temperatura, sem caracterização de repetições, pois foram realizadas em horários e condições climáticas distintas. O sistema de aquecimento do ar foi a fogo indireto, em uma fornalha projetada para a queima de lenha. Foi estabelecido um padrão de umidade e dimensões para o combustível utilizado durante os testes, de forma a propiciar a melhor característica de combustão e a maior eficiência para o sistema. A secagem foi concluída quando a umidade do milho era de aproximadamente 13% b.u.



Figura 3 – Secador utilizado para a secagem dos grãos de milho.

A temperatura do ar de secagem, determinada nas fases inicial, intermediária e final dessas operações, foi monitorada por meio de um potenciômetro digital (precisão de $\pm 0,1$ °C), conectado a cinco termopares instalados nos seguintes pontos, no interior do secador: câmara de secagem (T_1 e T_2), entrada de ar quente (T_3), câmara de resfriamento (T_4) e câmara de exaustão (T_5), conforme mostrado na Figura 4.

As temperaturas e umidades relativas do ar ambiente foram registradas durante a secagem, por meio de um termoigrógrafo e um psicrômetro, instalados no abrigo meteorológico situado a aproximadamente 20 m do local

dos testes, instalado conforme as normas estabelecidas pelo Ministério da Agricultura (Figura 5). Essas leituras foram realizadas em horários coincidentes com as leituras das temperaturas do ar de secagem determinadas pelos termopares instalados no interior do secador. A umidade relativa do ar foi calculada usando-se as equações psicrométricas, inseridas em um programa computacional (GRAPSI), desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa.

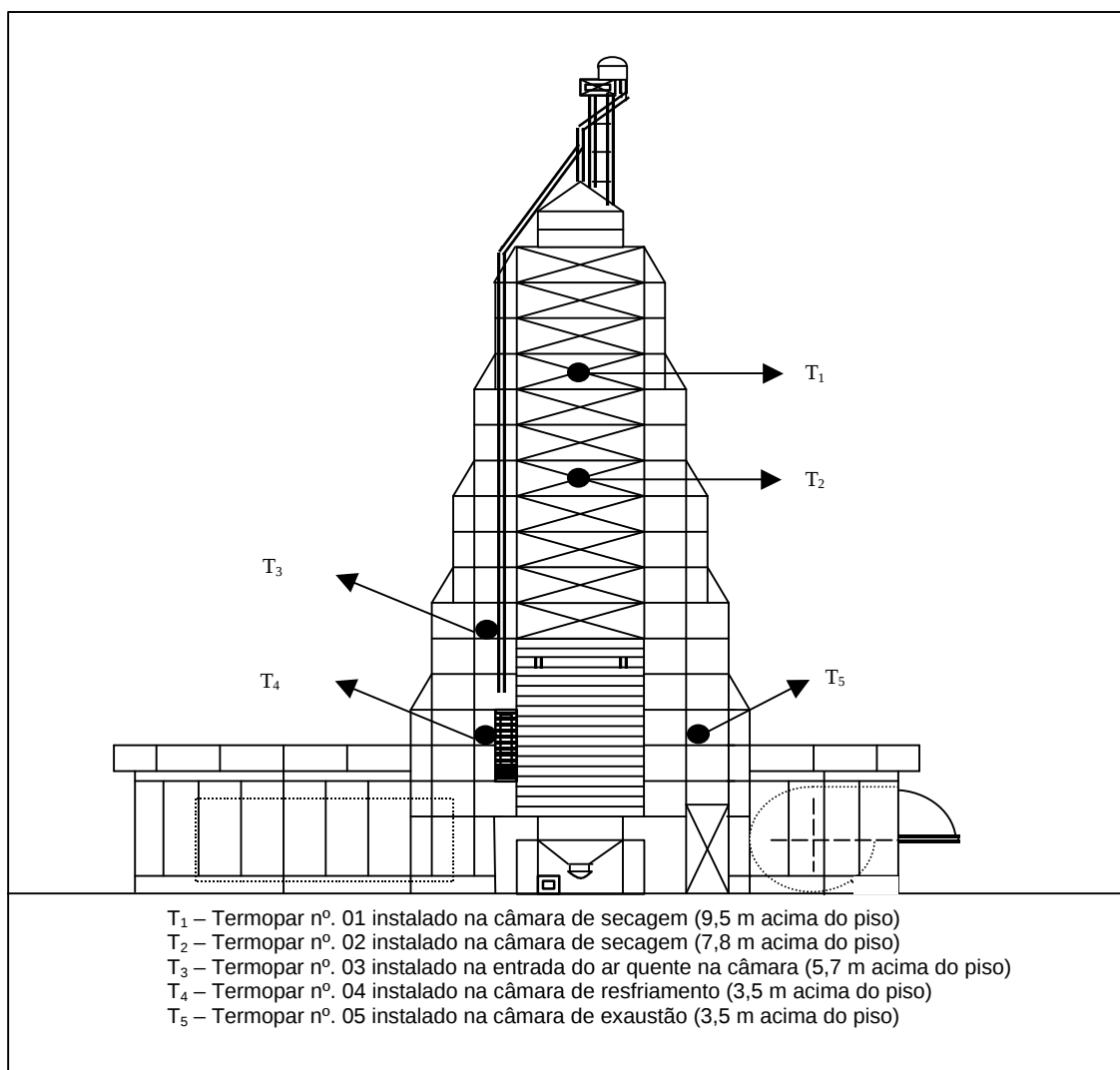


Figura 4 – Termopares instalados no secador para controle da temperatura dos grãos e do ar de secagem.

Na lateral da câmara “plenum” do secador, próximo ao sistema de ventilação, foi instalado um manômetro diferencial de tubo em “U” com precisão de $\pm 0,1$ mmca, para medição da pressão estática, cujas leituras foram realizadas a cada 60 minutos durante as operações de secagem, conforme mostrado na Figura 7.



Figura 5 – Abrigo meteorológico com termoigrógrafo e psicrômetro.



Figura 6 – Manômetro para medição da pressão estática no secador.

Como testemunha (tratamento 1) e visando à comparação com os demais tratamentos, durante o recebimento do milho foram retiradas amostras de cada carga do secador que, após secagem natural ao ambiente (sem ventilação forçada, em terreiro), em local arejado (Figura 7), foram armazenadas nas mesmas condições dos demais grãos, durante 180 dias.



Figura 7 – Secagem ao ambiente das amostras de milho (testemunha).

3.1.3. Pesagem e armazenagem

Após as operações de pré-limpeza e secagem, os grãos foram transportados, através de elevadores de caçambas, correias transportadoras e caminhões, até a balança rodoviária (precisão de ± 10 kg) para a realização de novas pesagens, antes do início da armazenagem. Em seguida, os grãos limpos e secos foram novamente despejados nas moegas (Figura 8), com destino aos silos de armazenagem.



Figura 8 – Descarga de milho nas moegas após secagem e pesagem.

Assim, através de elevadores de caçambas e correia transportadora, foram transportados para os três silos metálicos (D-05, D-06 e D-07) para armazenagem a granel, durante 180 dias (Figuras 9 e 10).



Figura 9 – Silos metálicos utilizados para armazenagem de milho.

Em cada silo metálico, com capacidade estática de aproximadamente 1.200 t, foi armazenado o total resultante de sete cargas do secador, que foram secadas com ar aquecido a 80 °C, 100 °C e 120 °C. Assim, foi depositada em cada silo uma quantidade de milho equivalente a aproximadamente 1/5 da sua capacidade estática, conforme Quadros 2C, 3C e 4C (Apêndice C).

Durante os 180 dias de armazenamento, compreendidos entre 10/04 e 10/10/2001, tratamentos fitossanitários – expurgos e pulverizações com inseticidas líquidos – foram aplicados aos grãos de milho, conforme dosagens e periodicidades dispensados a todos os demais produtos armazenados nessa unidade armazenadora, atendendo à sua rotina operacional.

Nesse período de armazenagem, evitou-se o uso do sistema de aeração, para monitoramento da quantidade de dióxido de carbono (CO₂) presente no ar do interior dos silos.

Concluídas as operações de pré-processamento (pesagem inicial, pré-limpeza, secagem, pesagem após a secagem e transporte até os silos metálicos de armazenagem), amostras de grãos do milho armazenado foram devidamente coletadas com a introdução de sondas manuais, aleatoriamente, em diversos pontos e alturas da massa de grãos. Em seguida, foram

homogeneizadas com a utilização de homogeneizador de grãos do tipo “Borner” e acondicionadas em sacos de polietileno de 20 kg e colocadas em um “freezer” a 5 °C durante 24 horas. Posteriormente, foram transportadas para Viçosa, por via rodoviária, em viagem de aproximadamente 12 horas, para realização de análises nos Laboratórios de Pré-Processamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola - DEA, Nutrição Animal e Análise de Alimentos do Departamento de Zootecnia - DZO da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Também, foram remetidas amostras ao Laboratório de Micotoxinas do Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo (USP).

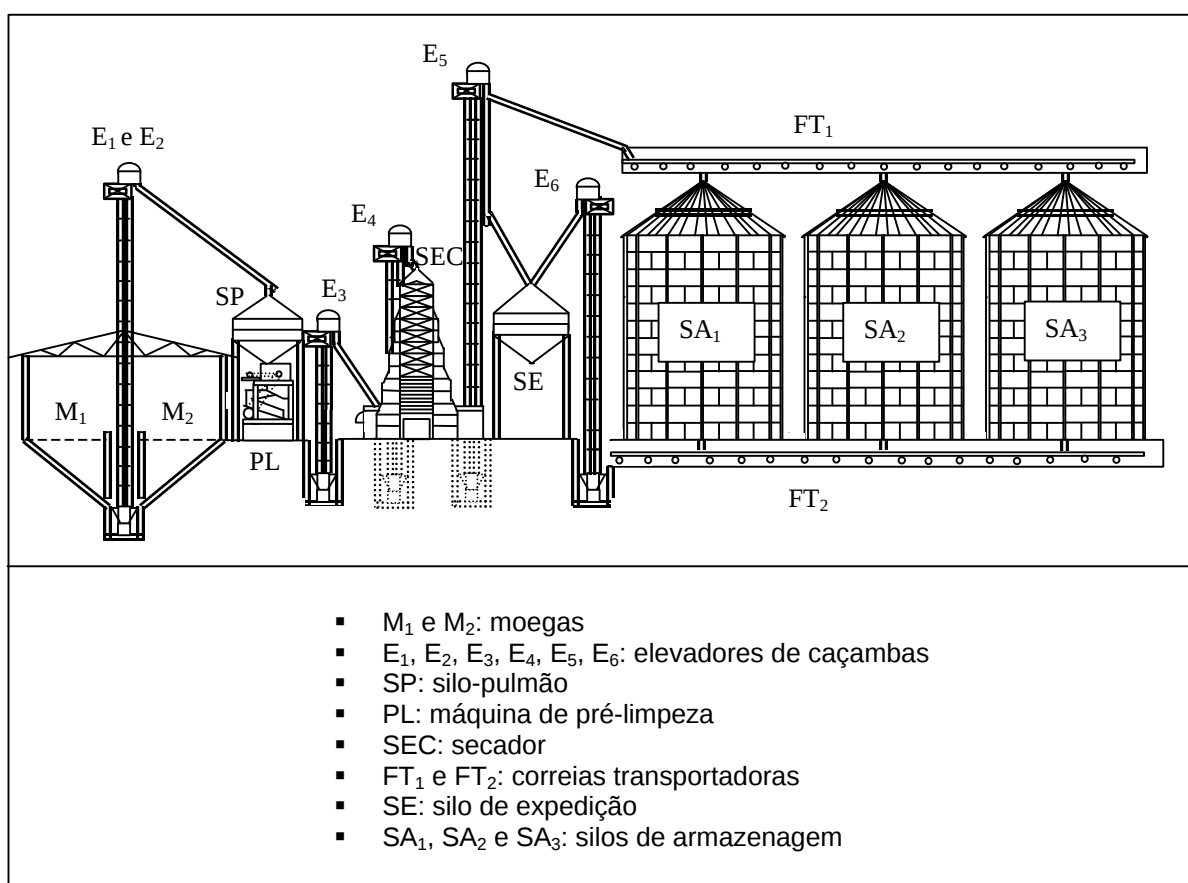


Figura 10 – “Layout” dos equipamentos e silos utilizados nesta pesquisa.

Outras amostragens, também foram realizadas após 60, 120 e 180 dias de armazenamento para realização de análises e testes visando à avaliação da qualidade dos grãos armazenados. Ao término do período de 180 dias de armazenamento, pesagens finais também foram realizadas em balanças rodoviárias, com o objetivo de quantificar as possíveis quebras de peso.

3.1.3.1. Temperatura dos grãos armazenados

O sistema de termometria existente na unidade armazenadora era composto por quatro cabos termométricos, em cada silo de armazenagem, sendo um instalado no centro do silo e os outros, eqüidistantes, a aproximadamente 3,0 m do centro, distribuídos radialmente e formando entre si ângulos de 120°. Cada cabo possui sete sensores distribuídos de forma a permitir o monitoramento da temperatura em toda a altura dos silos (aproximadamente 17,0 m).

Para melhorar o monitoramento da temperatura dos grãos armazenados, outros três cabos, com nove termopares, foram instalados em cada silo metálico utilizado para armazenamento. Para isso, foi montada uma estrutura de sustentação formando um “tripé”, no qual se fixaram os três termopares em cada extremidade, situados a 0,5, 1,5 e 2,5 m acima do piso dos silos (Figura 11). As leituras termométricas foram realizadas com a utilização de um potenciômetro digital (precisão de $\pm 0,1$ °C), conectado aos termopares para leituras das temperaturas da massa de grãos armazenada.

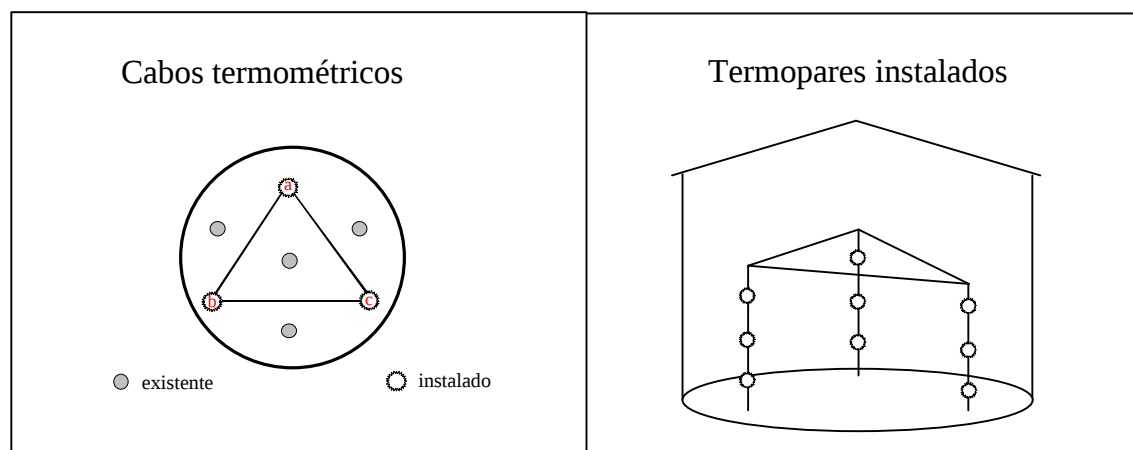


Figura 11 – Cabos termométricos e termopares existentes e instalados nos silos de armazenagem.

3.1.4. Parâmetros para avaliação da qualidade dos grãos

Para avaliação da qualidade dos grãos de milho, amostragens foram realizadas conforme procedimentos preconizados, utilizando-se sondas manuais e caladores, para obter uma porção representativa do lote amostrado que possibilite a avaliação de sua qualidade, conforme a Portaria n.º 845, editada pelo Ministério da Agricultura, que estabelece as normas para classificação de milho. Foram coletadas amostras do milho de cada tratamento, que após a homogeneização foram reduzidas a quantidades equivalentes a 20,0 kg e acondicionadas em sacos de plástico impermeável. Em seguida, foram imediatamente transportadas para os laboratórios, visando à realização dos testes.

A qualidade final do produto, após ser submetido aos processos de pré-limpeza, secagem e armazenagem, foi avaliada, considerando-se suas propriedades físicas e químicas, por intermédio dos seguintes testes e determinações: teor de água, massa específica aparente, classificação oficial (% de grãos quebrados, impurezas, fragmentos e matérias estranhas), concentração de CO₂, suscetibilidade a quebras, avaliação de trincas internas (simples, duplas e múltiplas), germinação, atividade de água, aflatoxinas B₁, B₂, G₁ e G₂, zearalenona e fumonisina B₁.

3.1.4.1. Teor de água

O teor de água dos grãos de milho foi medido nas amostras obtidas no primeiro dia de armazenagem e, posteriormente, após 60, 120 e 180 dias de armazenagem. Foi utilizado o método oficial da estufa, (105 ± 3) °C, durante 24 horas, com três repetições, de acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992), sendo os resultados médios expressos em % (b.u.).

3.1.4.2. Massa específica

A massa específica aparente das amostras dos grãos de milho, submetidas aos diferentes tratamentos (secagem ao ambiente e com temperaturas do ar a 80 °C, 100 °C e 120 °C), foi medida utilizando-se uma

balança de peso hectolítrico, com capacidade para um quarto de litro. Para cada amostra, foram realizadas três repetições, sendo os resultados expressos em kg.m^{-3} .

3.1.4.3. Classificação oficial

As porcentagens de impurezas (inicial e final) foram determinadas por peneiramento manual, conforme a Portaria nº. 845, do Ministério da Agricultura. Os percentuais de grãos quebrados (pedaços de grãos que ficam retidos na peneira de crivos circulares de cinco milímetros de diâmetro), os percentuais de impurezas e fragmentos (detritos do próprio produto, bem como os grãos ou fragmentos que vazam numa peneira de crivos circulares de cinco milímetros de diâmetro) e os percentuais de matérias estranhas (grãos ou sementes de outras espécies, bem como os detritos vegetais, sujidades e corpos estranhos de qualquer natureza, não oriundos do produto) foram determinados em amostras reduzidas a 250 g, após coleta e homogeneização. Foram realizadas três repetições para cada tratamento.

3.1.4.4. Concentração de dióxido de carbono (CO_2)

Por ocasião das amostragens dos grãos de milho, realizadas no primeiro dia de armazenagem e repetidas em intervalos de 60 dias, foram coletadas, também, amostras do ar intergranular no interior dos silos metálicos para monitoramento dos níveis de dióxido de carbono. Em cada silo, foram coletadas quatro amostras do ar, sendo duas na superfície da massa de grãos e duas a uma profundidade de 1,5 m (no centro do silo e no ponto intermediário entre o centro e a lateral), caracterizando o ar intergranular. Para coleta dessas amostras do ar, foram utilizados recipientes tipo “pet” colocados no interior de uma sonda, perfurada o suficiente apenas para a penetração do ar, conforme mostrado na Figura 12. Para homogeneização do ar intergranular no interior do “pet”, a sonda foi introduzida na massa de grãos e retirada após 24 horas.

Realizados o fechamento e a vedação das embalagens “pets” contendo amostras do ar, as mesmas foram colocadas em caixa de isopor com gelo e mantidas assim durante o transporte até o laboratório. As concentrações de

CO₂ foram determinadas em cromatógrafo a gás. Para fins de referência, antes das determinações de cada amostra, realizou-se a determinação da concentração de CO₂ do ar ambiente. Em todos os tratamentos, foram realizadas três determinações em cada amostra com volume de 1,0 ml.

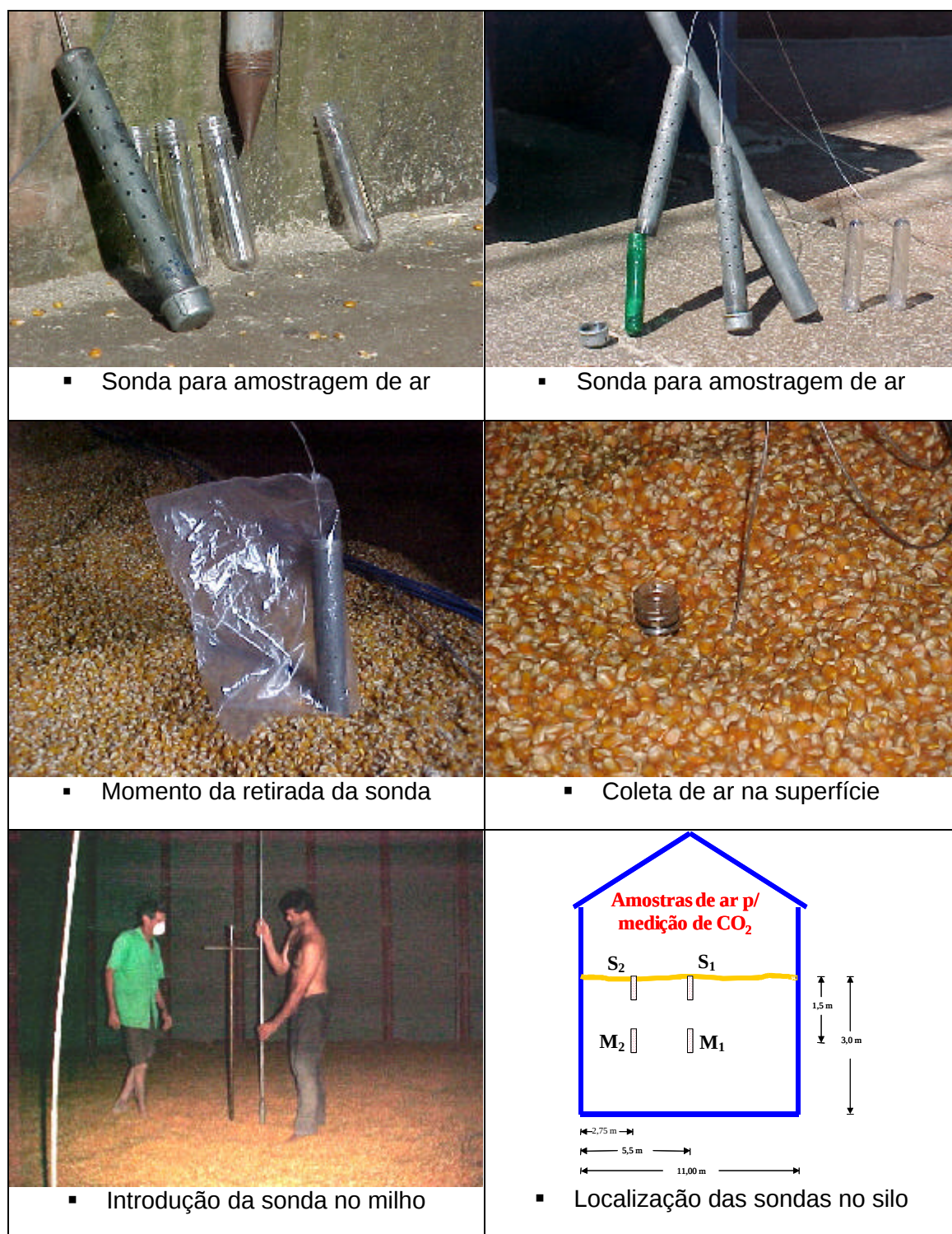


Figura 12 – Sonda utilizada para amostragem do ar intergranular, e croqui indicando a localização aproximada das mesmas.

3.1.4.5. Suscetibilidade à quebra

Para os testes de suscetibilidade à quebra do milho, foi utilizado o “Stein Breakage Tester” (Figura 13). Em cada tratamento, uma amostra de 100 g de grãos que já haviam passados pela peneira de crivos circulares de 4,76 mm de diâmetro foi colocada em um recipiente de aço (9 cm de diâmetro) e submetida, durante quatro minutos, a impactos provocados pela hélice do aparelho (1.800 rpm), que propelia os grãos contra a parede do recipiente. A seguir, cada amostra foi novamente passada em peneira com furos circulares de 4,76 mm de diâmetro, e a massa do produto não retido foi medida, sendo sua quantidade expressa em relação ao peso inicial da amostra. Foram realizadas três repetições de testes para cada amostra.



Figura 13 – “Stein Breakage Tester” utilizado para os testes de suscetibilidade a quebras.

3.1.4.6. Avaliação de trincas internas

Amostras de 100 grãos, retiradas aleatoriamente de cada tratamento, foram inspecionadas visualmente para avaliação das porcentagens de grãos com danos internos (trincas). Para auxiliar na visualização dessas trincas, utilizou-se um diafanoscópio, cuja cobertura, composta por vidro translúcido, permitia a incidência de raios luminosos no produto, evidenciando a presença

de trincas internas. Devido à diversidade nas características das trincas, os grãos foram classificados conforme o tipo de trinca: simples (aqueles que apresentavam uma trinca), duplas (duas trincas) e múltiplas (aqueles que exibiam três ou mais trincas) no endosperma.

3.1.4.7. Germinação

Conforme os procedimentos descritos em BRASIL (1992), o teste de germinação foi conduzido com quatro repetições de 50 sementes por amostra, tendo como substrato o rolo de papel germitest com três folhas cada, umedecidas com quantidade de água equivalente a três vezes o peso dessas folhas. Os rolos foram mantidos em germinador regulado para manter a temperatura em $25 \pm 2,0$ °C. Foram realizadas duas contagens, sendo a primeira após quatro dias e a segunda, aos sete dias. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais (1ª e 2ª contagens) e porcentagem de plântulas anormais e de sementes mortas (2ª contagem).

3.1.4.8. Atividade de água

Foram enviadas amostras ao Laboratório de Fungos Toxigênicos e Micotoxinas do Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo – USP, em São Paulo (SP), para realização de análises de atividade de água nas amostras dos grãos de milho armazenado. O equipamento utilizado para determinação de atividade de água foi o medidor de atividade de água AQUALAB CX2, da Decagon Devices, Inc. Pullman, Whashington, USA.

3.1.4.9. Análise de aflatoxinas e zearalenona

Foram enviadas amostras ao Laboratório de Fungos Toxigênicos e Micotoxinas do Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo – USP, em São Paulo (SP), para realização de análises de aflatoxinas B1, B2, G1 e G2 e zearalenona. Para as análises de aflatoxinas e zearalenona, foi utilizado o método estabelecido por SOARES et al. (1989) (limite do método: aflatoxinas = 2 ng/g e zearalenona = 55 ng/g).

3.1.4.10. Análise de fumonisina B₁

Foram enviadas amostras ao Laboratório de Fungos Toxigênicos e Micotoxinas do Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo – USP, em São Paulo (SP), para realização de análises de fumonisina B₁. Foi utilizado o método descrito por SYDENHAN et al. (1996) (limite do método: 50 ng/g).

3.1.5. Análise estatística

Com os resultados da testemunha (tratamento 1), foram ajustadas as equações de regressão para cada uma das variáveis estudadas, em função do tempo de armazenagem.

Com os resultados dos tratamentos 2, 3 e 4 (secagem a 80 °C, 100 °C e 120 °C), foi utilizada a metodologia de superfície de resposta, sendo os modelos escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t” e adotando o nível de até 5% de probabilidade, e na magnitude do coeficiente de determinação (R^2) do fenômeno em estudo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Avaliação da qualidade dos grãos

4.1.1. Teor de água

A variação média do teor de água dos grãos armazenados nos silos metálicos durante o período experimental é mostrada na Figura 4.1, e os resultados apresentam-se no Quadro 1B (Apêndice B). Verifica-se, nessa figura, que houve pequena redução de umidade durante o período de armazenamento, em todos os tratamentos. Isso indica que o milho foi armazenado inicialmente com teor de água acima da umidade de equilíbrio higroscópico. Para temperaturas específicas de secagem, observou-se ainda que, depois do período de armazenagem de 120 dias, a umidade do milho tende a entrar em equilíbrio com as condições ambientais e que as variações verificadas são próprias da natureza biológica do produto.

Os dados obtidos de teor de água dos grãos de milho armazenados, referentes aos tratamentos 2, 3 e 4 (secagem a 80,100 e 120 °C), foram submetidos à análise de variância, que é apresentada no Quadro 4.1. Os dados obtidos de temperaturas da massa de grãos armazenada, bem como das condições de temperatura ambiente e umidade relativa, encontram-se nos Quadros 8A, 9A e 10A (Apêndice A).

Quadro 4.1 – Análise de variância do teor de água do milho nas diferentes temperaturas de secagem e tempo de armazenagem

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio	F	Probabilidade
Temperatura (T)	2	0,1547	20,243 *	0,0000
Tempo (D)	3	2,6557	347,411 *	0,0000
T x D	6	0,1094	14,315 *	0,0000
Resíduo	24	0,0076		

* Significativo a 1,0%, pelo teste F.

CV (%) = 0,752.

De acordo com a significância dos fatores efetuou-se a análise de regressão múltipla do teor de água, obtendo a seguinte equação:

$$A = 13,4159 - 0,010558T - 0,00215917D + 0,000044D^2 + 0,00007194TD \quad (7)$$

$$R^2 = 89,69$$

em que

A = teor de água, %;

T = temperatura do ar de secagem, °C; e

D = tempo de armazenagem, dias.

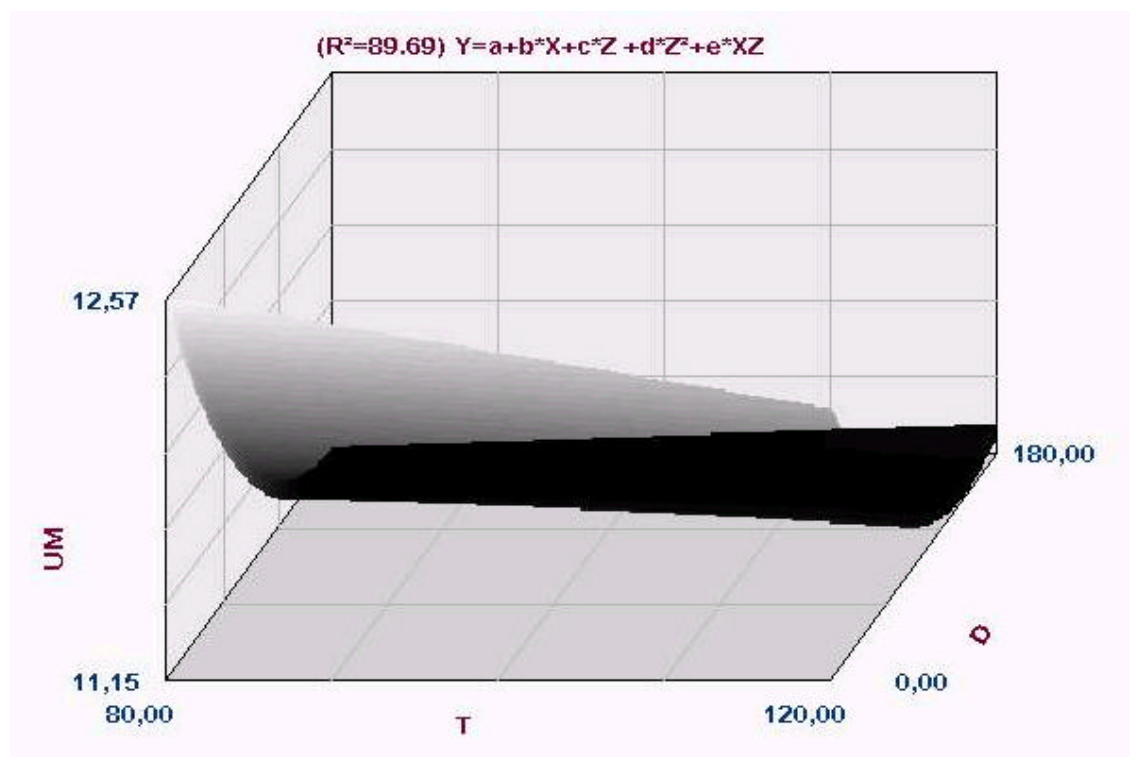


Figura 4.1 – Variação do teor de água dos grãos de milho, em função da temperatura de secagem (T) e do tempo de armazenagem (D).

4.1.2. Massa específica

A variação média da massa específica do milho armazenado nos silos metálicos durante o período experimental é mostrada na Figura 4.2. Observa-se, nessa figura, que o aumento da temperatura do ar de secagem implicou redução no valor da massa específica. Esses resultados são semelhantes aos encontrados por HALL (1992). Durante a armazenagem, em todos os tratamentos, houve aumento da massa específica nos primeiros 60 dias de armazenamento e, a seguir, redução desses valores. Os dados obtidos de massa específica encontram-se no Quadro 2B (Apêndice B), referente aos tratamentos 1, 2, 3 e 4 (secagem ambiente e a 80, 100 e 120 °C). Os resultados de massa específica dos tratamentos 2, 3 e 4 foram submetidos à análise de variância, que é apresentada no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 – Análise de variância da massa específica do milho nas diferentes temperaturas de secagem e tempo de armazenagem

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio	F	Probabilidade
Temperatura (T)	2	165,6945	5,734 *	0,00921
Tempo (D)	3	2737,342	94,729 *	0,00000
T x D	6	9,886237	0,342	*****
Resíduo	24	28,89662		

* Significativo a 1,0%, pelo teste F.

CV (%) = 0,726.

De acordo com a significância dos fatores, efetuou-se a análise de regressão múltipla da massa específica, obtendo a seguinte equação:

$$ME = 745,098 - 0,1849T + 0,7372D - 0,00417D^2 \quad R^2 = 98,68 \quad (8)$$

em que

ME = massa específica, kg.m⁻³;

T = temperatura do ar de secagem, °C; e

D = tempo de armazenagem, dias.

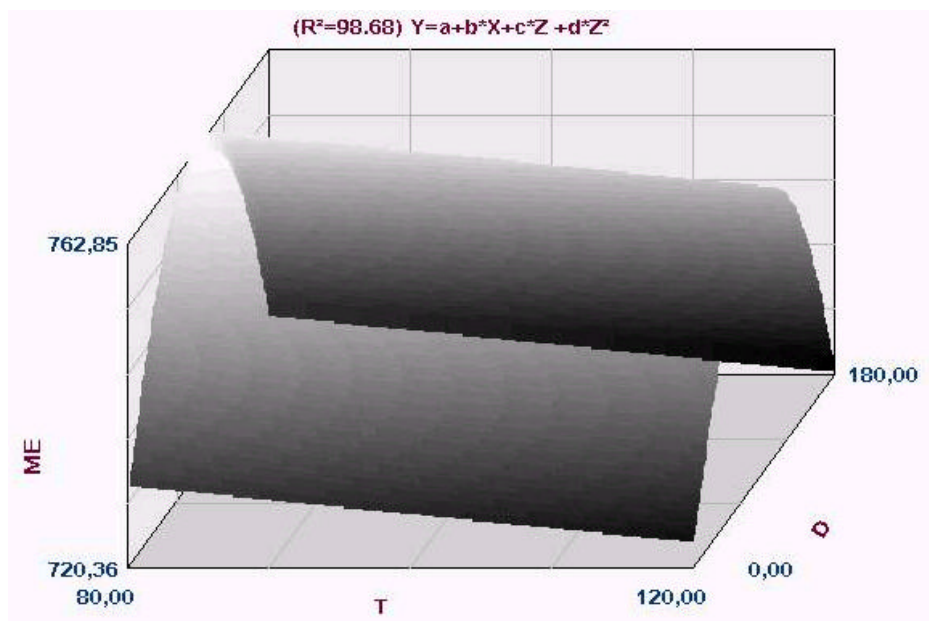


Figura 4.2 – Massa específica do milho, em função da temperatura de secagem (T) e do tempo de armazenagem (D).

4.1.3. Suscetibilidade à quebra

Na Figura 4.3, apresentam-se os valores médios da suscetibilidade à quebra do milho, determinados aos 1, 60, 120 e 180 dias de armazenamento. Os resultados obtidos de suscetibilidade à quebra encontram-se no Quadro 3B (Apêndice B), referente aos tratamentos 1, 2, 3 e 4 (secagem ambiente e a 80, 100 e 120 °C). Os resultados de suscetibilidade à quebra dos tratamentos 2, 3 e 4 foram submetidos à análise de variância, que é apresentada no Quadro 4.3.

Verifica-se, nessa figura, que quanto maior a temperatura do ar de secagem, maior o índice de suscetibilidade à quebra. Efeito crescente também foi verificado no decorrer do período de armazenamento. A suscetibilidade à quebra depende do teor de água e da temperatura de secagem.

Quadro 4.3 – Análise de variância da suscetibilidade à quebra do milho nas diferentes temperaturas de secagem e tempo de armazenagem

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio	F	Probabilidade
Temperatura (T)	2	6,1371	48,667 *	0,00000
Tempo (D)	3	1,7046	13,517 *	0,00002
T x D	6	0,4757	3,772	0,00870
Resíduo	24	0,1261		

* Significativo a 1,0%, pelo teste F.

CV (%) = 23,617.

De acordo com a significância dos fatores, efetuou-se a análise de regressão múltipla da suscetibilidade à quebra, obtendo a seguinte equação:

$$SQ = 9,2717 - 0,1859T + 0,001T^2 - 0,0149D + 0,0002029TD \quad R^2 = 92,30 \quad (9)$$

em que

SQ = suscetibilidade à quebra, %;

T = temperatura do ar de secagem, °C; e

D = tempo de armazenagem, dias.

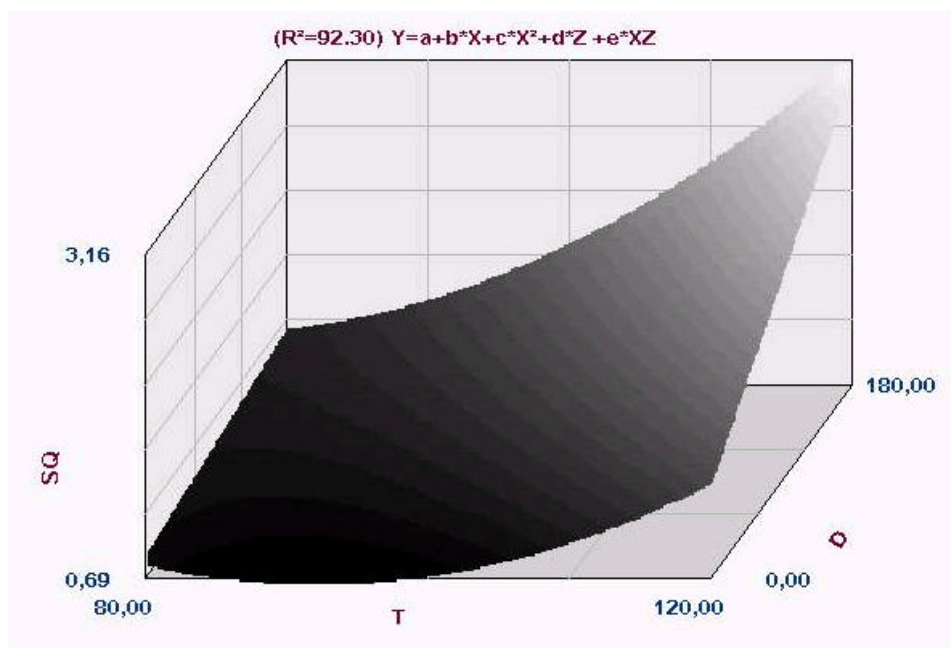


Figura 4.3 – Percentual de suscetibilidade à quebra dos grãos de milho, em função da temperatura de secagem e do tempo de armazenagem.

O maior índice de grãos quebrados, ocorrido nos tratamentos submetidos à alta temperatura, deve-se, provavelmente, à elevada taxa de secagem, que provocou a formação de trincas ou fissuras internas no produto (GUNASEKARAN e MUTHUKUMARAPPAN, 1993).

Vários são os fatores que podem influenciar a suscetibilidade à quebra, como o teor de umidade do produto no momento da colheita, o teor de umidade inicial no processo de secagem, a temperatura do ar de secagem, a taxa de secagem, a dureza e o genótipo do produto e a presença de grãos trincados, dentre outros.

4.1.4. Avaliação de trincas

Para avaliação das trincas internas, os grãos foram classificados conforme o tipo de trinca existente no endosperma: trincas simples (aqueles que apresentam uma única trinca), trincas duplas (apresentam duas trincas) e trincas múltiplas (apresentam três ou mais trincas). Os resultados obtidos de porcentagem de trincas simples encontram-se no Quadro 4B (Apêndice B), referente aos tratamentos 1, 2, 3 e 4 (secagem ambiente e a 80, 100 e 120 °C).

Thompson e Foster, citados por GUNASEKARAN et al. (1993), relataram que a velocidade de secagem, expressa em termos de perda de umidade em pontos percentuais por hora, é o fator mais significativo no desenvolvimento das trincas.

A variação média de trincas simples do milho armazenado nos silos metálicos durante o período experimental é mostrada na Figura 4.4. Verifica-se, nessa figura, que houve aumento do percentual de trincas simples no decorrer do período de armazenamento, em todos os tratamentos (secagem ambiente, 80, 100 e 120 °C). O aumento da temperatura de secagem resultou em crescimento da porcentagem de trincas simples.

Os resultados de trincas simples dos tratamentos 2, 3 e 4 foram submetidos à análise de variância, que é apresentada no Quadro 4.4.

Quadro 4.4 – Análise de variância de trincas simples do milho nas diferentes temperaturas de secagem e tempo de armazenagem

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio	F	Probabilidade
Temperatura (T)	2	443,5833	52,186 *	0,00000
Tempo (D)	3	18,9907	2,234	0,11018
T x D	6	8,4351	0,992	*****
Resíduo	24	8,5000		

* Significativo a 1,0% de probabilidade, pelo teste F.

CV (%) = 24,466.

De acordo com a significância dos fatores efetuou-se a análise de regressão múltipla das trincas simples, obtendo a seguinte equação:

$$TS = 70,1667 - 1,527 \bullet T + 0,009062 \bullet T^2 - 0,01574 \bullet D \quad R^2 = 93,22 \quad (10)$$

em que

TS = trincas simples, %;

T = temperatura do ar de secagem, °C; e

D = tempo de armazenagem, dias.

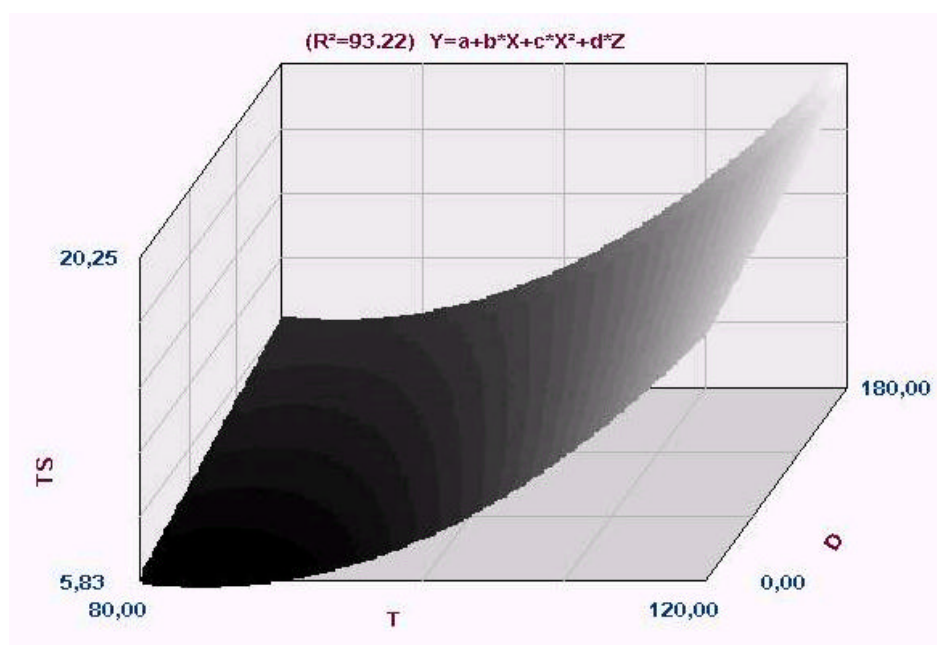


Figura 4.4 – Percentual de trincas simples do milho, em função da temperatura de secagem e do tempo de armazenagem.

A variação média de trincas duplas do milho armazenado nos silos metálicos durante o período experimental é mostrada na Figura 4.5. Os resultados de porcentagem de trincas duplas encontram-se no Quadro 5B (Apêndice B), referente aos tratamentos 1, 2, 3 e 4 (secagem ambiente e a 80, 100 e 120 °C). Verifica-se também, nessa figura, que houve aumento no percentual de trincas duplas no decorrer do período de armazenamento, em todos os tratamentos. O aumento da temperatura do ar de secagem resultou no aparecimento de maior quantidade de trincas duplas.

Os resultados de trincas duplas dos tratamentos 2, 3 e 4 foram submetidos à análise de variância, que é apresentada no Quadro 4.5.

Quadro 4.5 – Análise de variância das trincas duplas do milho nas diferentes temperaturas de secagem e tempo de armazenagem

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio	F	Probabilidade
Temperatura (T)	2	436,8611	50,086 *	0,00000
Tempo (D)	3	37,80556	4,334 **	0,01413
T x D	6	14,75000	1,691	0,16646
Resíduo	24	8,72222		

* e ** Significativos a 1,0 e 5,0% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

CV (%) = 45,243.

De acordo com a significância dos fatores, efetuou-se a análise de regressão múltipla das trincas duplas, obtendo a seguinte equação:

$$TD = 52,6889 - 1,2958T + 0,0079T^2 + 0,0703D - 0,0003D^2 \quad R^2 = 87,68 \quad (11)$$

em que

TD = trincas simples, %;

T = temperatura do ar de secagem, °C; e

D = tempo de armazenagem, dias.

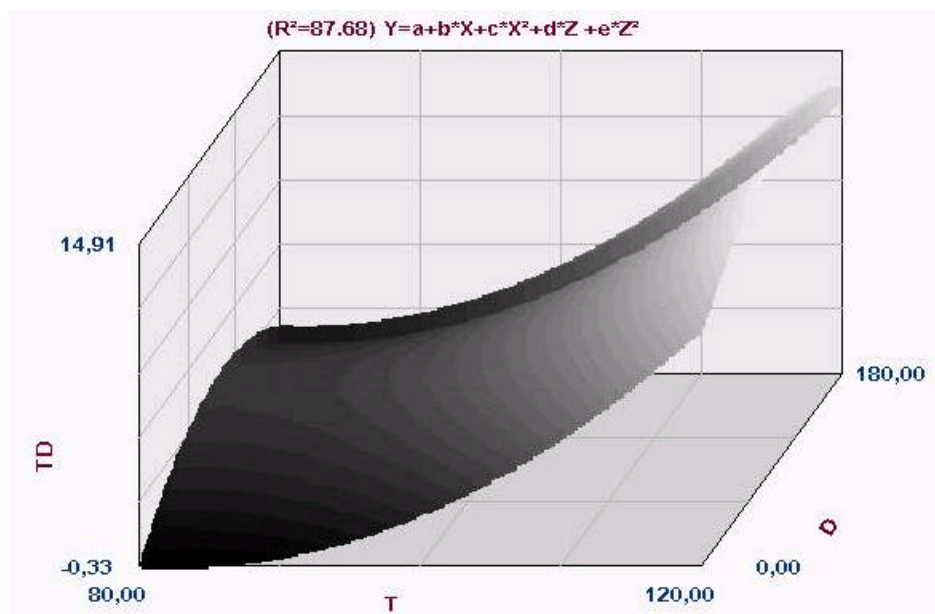


Figura 4.5 – Percentual de trincas duplas do milho, em função da temperatura de secagem e do tempo de armazenagem.

A variação média de trincas múltiplas do milho armazenado nos silos metálicos durante o período experimental é mostrada na Figura 4.6. Os resultados obtidos de porcentagem de trincas múltiplas encontram-se no Quadro 6B (Apêndice B), referente aos tratamentos 1, 2, 3 e 4 (secagem ambiente e a 80, 100 e 120 °C). Verificou-se que houve aumento no percentual de trincas múltiplas no decorrer do período de armazenamento, em todos os tratamentos.

O incremento da temperatura do ar de secagem resultou em aumento da porcentagem de trincas simples, duplas e múltiplas.

Os resultados de trincas múltiplas dos tratamentos 2, 3 e 4 foram submetidos à análise de variância, que é apresentada no Quadro 4.6.

Quadro 4.6 – Análise de variância das trincas múltiplas do milho nas diferentes temperaturas de secagem e tempo de armazenagem

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio	F	Probabilidade
Temperatura (T)	2	168,7778	23,280 *	0,00000
Tempo (D)	3	22,32407	3,079 **	0,04663
T x D	6	11,96296	1,650	0,17686
Resíduo	24	7,25000		

* e ** Significativos a 1,0 e 5,0% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

CV (%) = 69,736.

De acordo com a significância dos fatores, efetuou-se a análise de regressão múltipla das trincas múltiplas, obtendo a seguinte equação:

$$TM = 31,8667 - 0,7792T + 0,004792T^2 + 0,007963D \quad R^2 = 73,03 \quad (12)$$

em que

TM = trincas múltiplas, %;

T = temperatura do ar de secagem, °C; e

D = tempo de armazenagem, dias.

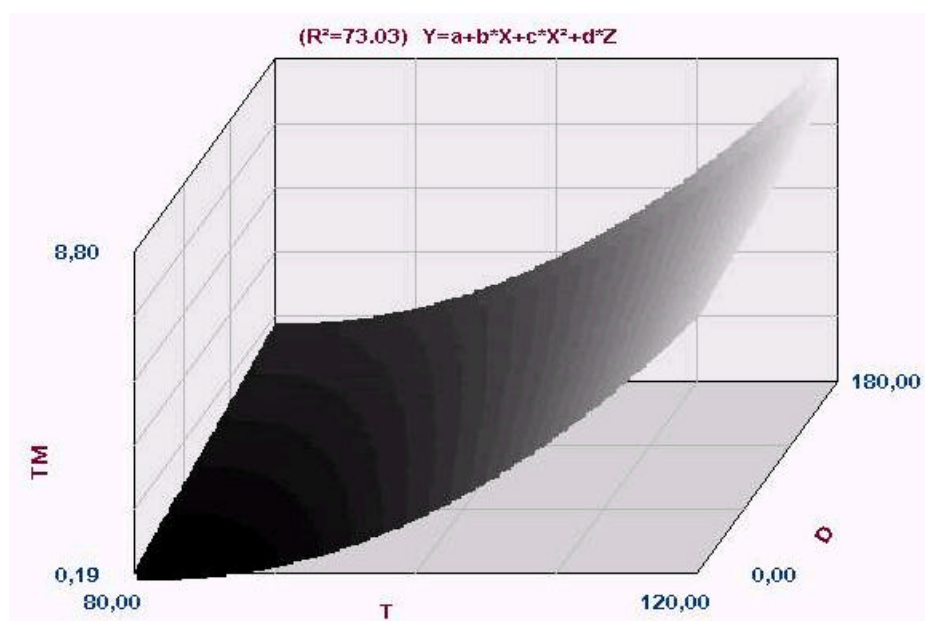


Figura 4.6 – Percentual de trincas múltiplas do milho, em função da temperatura de secagem e do tempo de armazenagem.

4.1.5. Classificação oficial

A variação média dos resultados obtidos com a classificação oficial, realizada no Laboratório de Classificação da CONAB, é mostrada nas Figuras 4.7, 4.8, 4.9 e 4.10. Observa-se, nessas figuras, que a variação do total de grãos avariados aumentou significativamente com o incremento da temperatura do ar de secagem, e também houve aumento desses defeitos em função do

tempo de armazenagem. Os maiores índices de grãos avariados foram observados nos grãos secados a 100 e 120 °C, bem como nas amostragens realizadas após 120 e 180 dias de armazenamento. Assim, a temperatura do ar de secagem e o tempo de armazenagem influenciaram a deterioração dos grãos de milho armazenados.

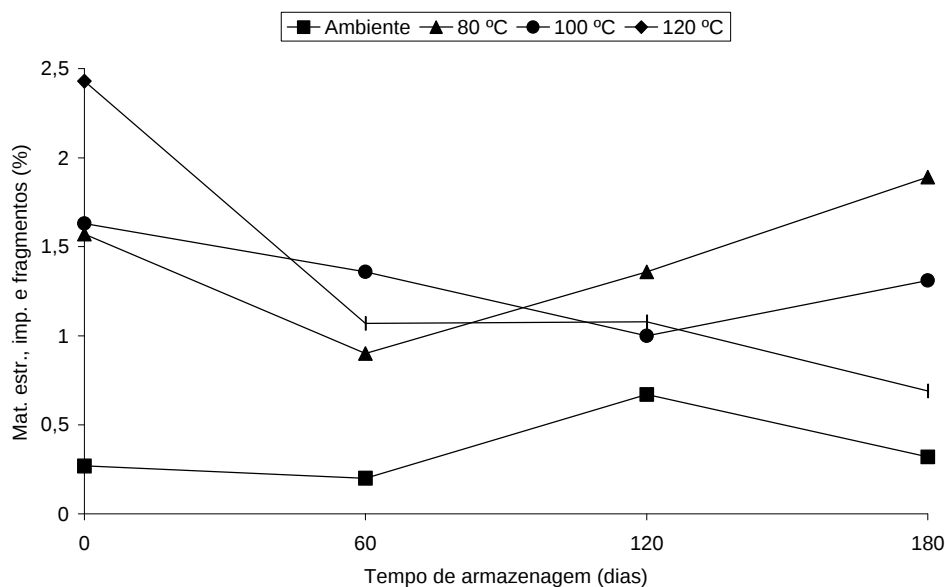


Figura 4.7 – Porcentagens de matérias estranhas, impurezas e fragmentos, em função do tempo de armazenagem.

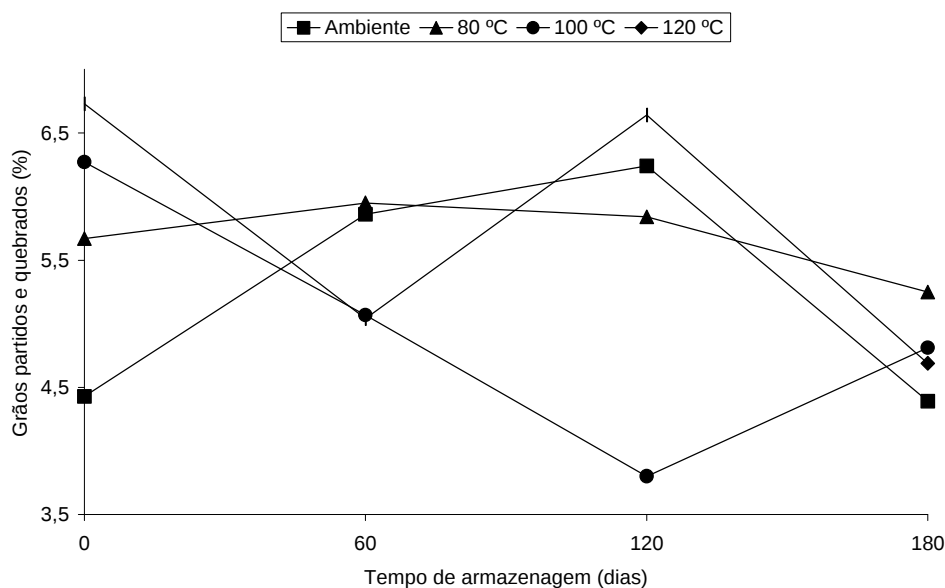


Figura 4.8 – Porcentagens de grãos partidos e quebrados, em função do tempo de armazenagem.

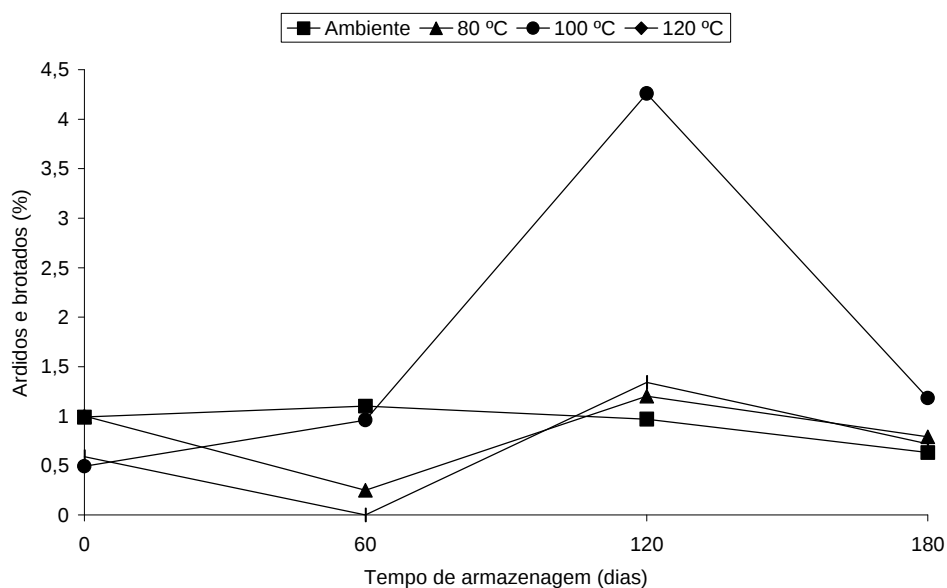


Figura 4.9 – Porcentagem de grãos ardidos e brotados, em função do tempo de armazenagem.

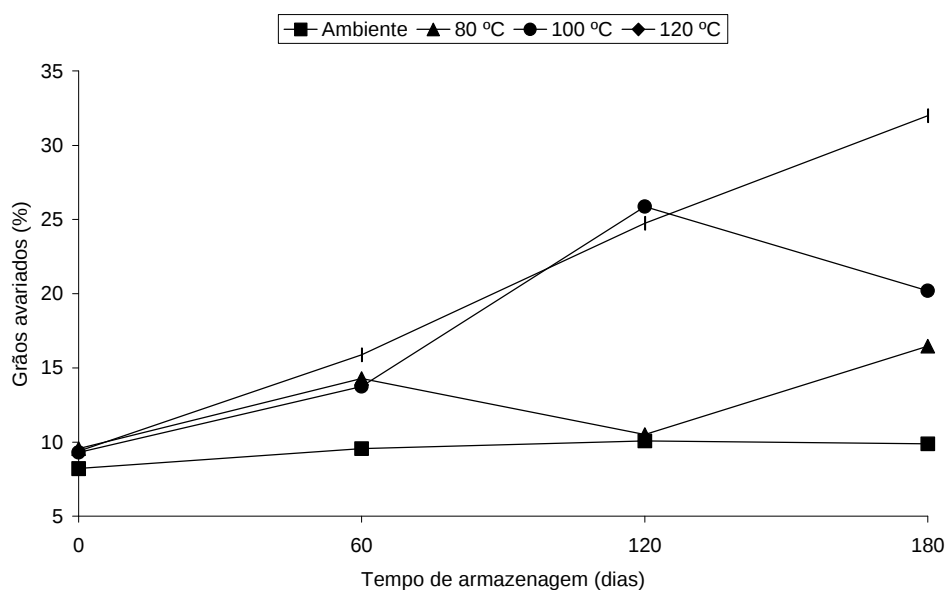


Figura 4.10 – Porcentagem total de grãos avariados, em função do tempo de armazenagem.

4.1.6. Teste-padrão de germinação

A variação média da germinação dos grãos de milho armazenados é mostrada na Figura 4.11. Os resultados obtidos de porcentagem de germinação encontram-se no Quadro 10B (Apêndice B), referente aos tratamentos 1, 2, 3 e 4 (secagem ambiente e a 80, 100 e 120 °C). Verificou-se

que houve redução na germinação durante o tempo de armazenagem em todos os tratamentos. Essa redução foi mais acentuada no milho secado com ar aquecido a 100 e 120 °C, no decorrer do tempo de armazenagem, conforme previsto.

Verificou-se que o milho secado ao ambiente, sem ventilação forçada (tratamento 1), teve menor redução na porcentagem de germinação durante o armazenamento, portanto a qualidade desse milho foi menos afetada.

O aumento na porcentagem de germinação no tratamento 1 (secagem ambiente), nos primeiros 60 dias, pode ser atribuído à presença de fungos de campo, que, provavelmente, foram perdendo atividade durante o armazenamento.

Os resultados de germinação dos tratamentos 2, 3 e 4 foram submetidos à análise de variância, que é apresentada no Quadro 4.7.

Quadro 4.7 – Análise de variância da germinação do milho nas diferentes temperaturas de secagem e tempo de armazenagem

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio	F	Probabilidade
Temperatura (T)	2	2740,75	84,259 *	0,00000
Tempo (D)	3	5304,75	163,084 *	0,00000
T x D	6	134,083	4,122 **	0,00299
Resíduo	36	32,5277		

* e ** Significativos a 1,0 e 5,0% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

CV (%) = 10,586.

De acordo com a significância dos fatores, efetuou-se a análise de regressão múltipla da germinação, obtendo a seguinte equação:

$$GE = 199,325 - 0,01895T + 0,00656T^2 - 0,18416D - 0,00075 \quad R^2 = 90,19 \quad (13)$$

em que

GE = germinação, %;

T = temperatura do ar de secagem, °C; e

D = tempo de armazenagem, dias.

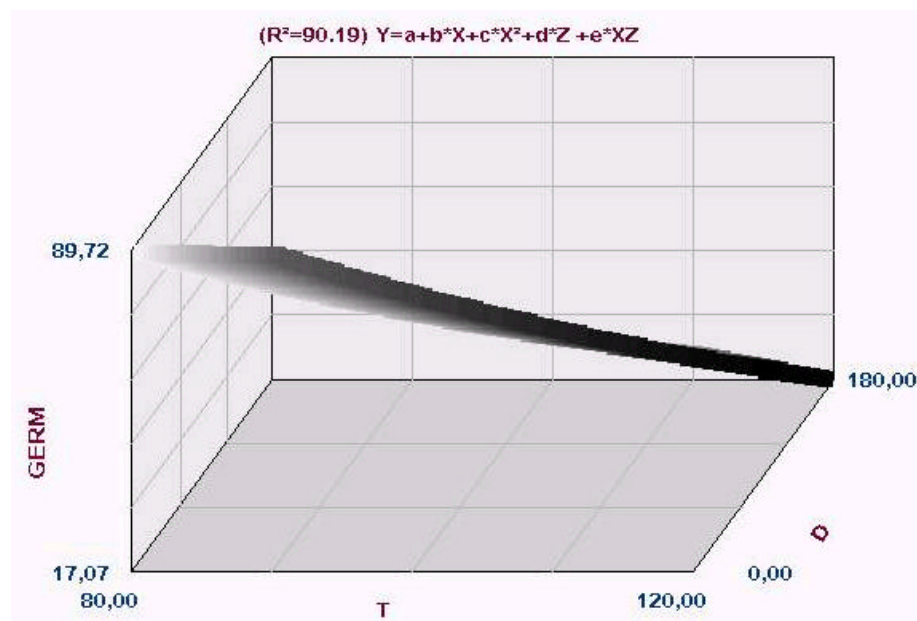


Figura 4.11 – Porcentagem de germinação obtidas no teste-padrão de germinação, em função do tempo de armazenagem.

4.1.6.1. Plântulas anormais – Segunda contagem

A variação média da porcentagem de plântulas anormais – PA, obtida na segunda contagem do teste-padrão de germinação dos grãos armazenados durante o período experimental, é mostrada na Figura 4.12. Os resultados obtidos de plântulas anormais encontram-se no Quadro 11B (Apêndice B), referente aos tratamentos 1, 2, 3 e 4 (secagem ambiente e a 80, 100 e 120 °C).

Verifica que houve influência direta da temperatura do ar de secagem sobre a porcentagem de plântulas anormais. Quanto maior a temperatura do ar de secagem, maior o número de plântulas anormais encontradas. Também, em todos os tratamentos (secagem ambiente e a 80, 100 e 120 °C), percebeu-se aumento na porcentagem de plântulas anormais no decorrer do período de armazenamento.

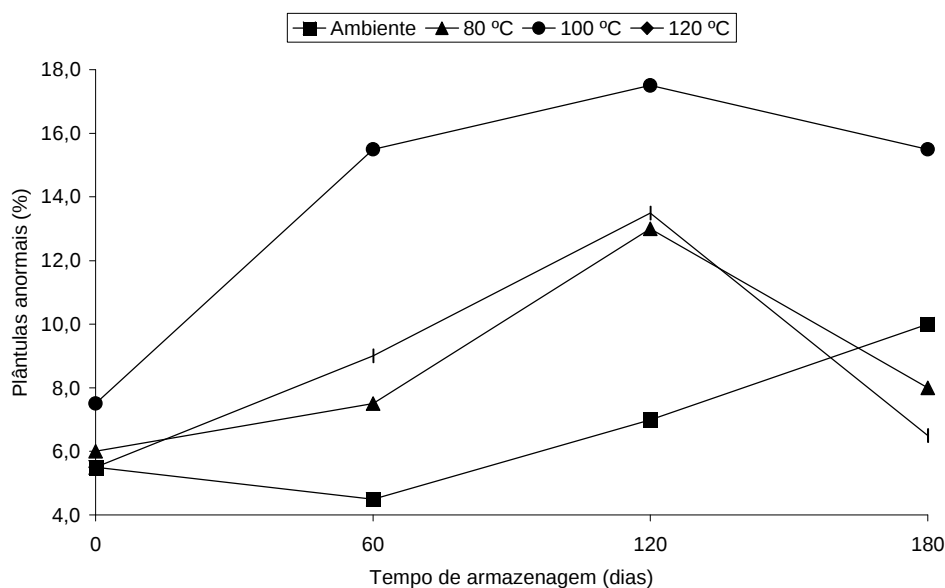


Figura 4.12 – Porcentagem de plântulas anormais obtidas na segunda contagem do teste-padrão de germinação, em função do tempo de armazenagem.

4.1.6.2. Sementes mortas – Segunda contagem

A variação média da porcentagem de sementes mortas, obtida na segunda contagem do teste-padrão de germinação do milho armazenado durante 180 dias, é mostrada na Figura 4.13. Os resultados obtidos de plântulas anormais encontram-se no Quadro 12B (Apêndice B), referente aos tratamentos 1, 2, 3 e 4 (secagem ambiente e a 80, 100 e 120 °C).

Verifica-se, nessa figura, que houve relação linear entre o incremento da temperatura do ar de secagem do milho e o aumento da porcentagem de sementes mortas. A temperatura do ar de secagem influenciou diretamente o aumento da porcentagem de sementes mortas. Isso também foi verificado no decorrer do período de 180 dias de armazenamento. Assim, conforme previsto, a temperatura de secagem e o tempo de armazenamento influenciaram o percentual de sementes mortas.

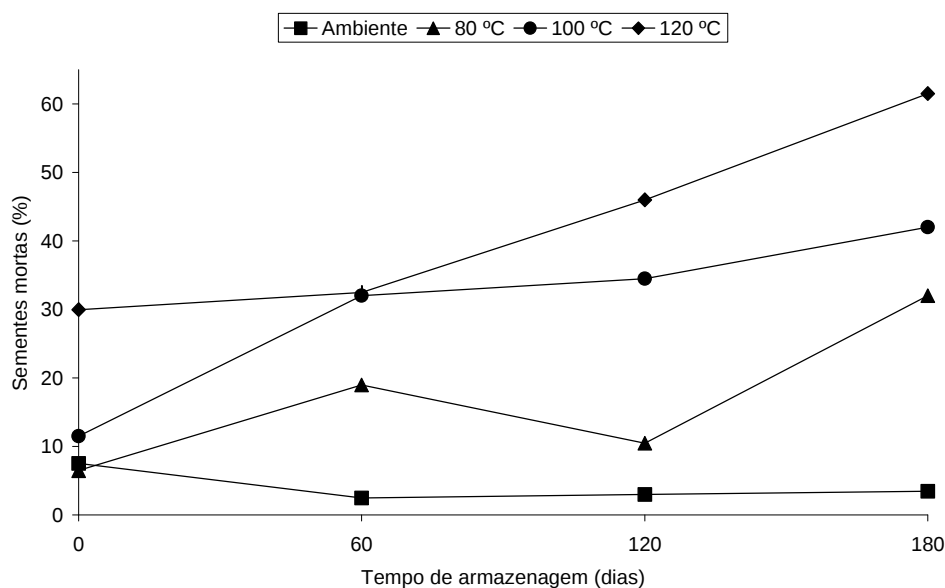


Figura 4.13 – Porcentagem de sementes mortas obtidas na segunda contagem do teste-padrão de germinação, em função da temperatura de secagem e do tempo de armazenagem.

4.1.7. Concentração de dióxido de carbono (CO₂)

Os resultados encontrados nas concentrações de dióxido de carbono, presentes nas amostras do ar extraídas dos silos D-05, D-06 e D-07, são apresentados nos Quadros 7B, 8B, 9B e 10B (Apêndice B). As sondas S-1 e S-2 referem-se às amostras de ar extraídas na superfície da massa de grãos, sendo a primeira no centro e, a segunda, na seção intermediária entre o centro e a lateral do silo. As sondas M-1 e M-2 referem-se às amostras de ar extraídas no interior da massa de grãos a uma profundidade de 1,5 m, sendo a primeira introduzida no centro e, a segunda, na seção intermediária entre o centro e a lateral do silo.

Observou-se que houve aumento na concentração de CO₂ no decorrer do tempo de armazenagem, indicando deterioração dos grãos de milho durante o período de armazenamento, principalmente nos silos D-06 e D-07, onde foram armazenados os grãos secados, respectivamente, com temperaturas do ar de 100 e 120 °C. Assim, as concentrações de dióxido de carbono presentes no ar intergranular foram influenciadas pelo aumento das temperaturas do ar de secagem e no decorrer do período de 180 dias de armazenamento.

Os resultados de concentração de dióxido de carbono dos tratamentos 2, 3 e 4, obtidos pela sonda S₁, foram submetidos à análise de variância, que é apresentada no Quadro 4.8.

Quadro 4.8 – Análise de variância de concentração de dióxido de carbono no ar intergranular do milho, obtido pela sonda S₁, nas diferentes temperaturas de secagem e tempo de armazenagem

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio	F	Probabilidade
Temperatura (T)	2	0,000727	90,878 *	0,00000
Tempo (D)	3	0,001818	227,282 *	0,00000
T x D	6	0,000838	104,841 *	0,00000
Resíduo	36	0,000008		

* Significativo a 1,0 de probabilidade, pelo teste F.
CV (%) = 4,817.

De acordo com a significância dos fatores efetuou-se a análise de regressão múltipla da concentração de dióxido de carbono do ar intergranular coletado pela sonda S₁, obtendo a seguinte equação:

$$CO_2(S_1) = 0,056538 - 0,00014T - 0,00036D + 0,000005TD \quad R^2 = 64,72 \quad (14)$$

em que

CO₂(S₁) = concentração de dióxido de carbono (sonda S₁), %;

T = temperatura do ar de secagem, °C; e

D = tempo de armazenagem, dias.

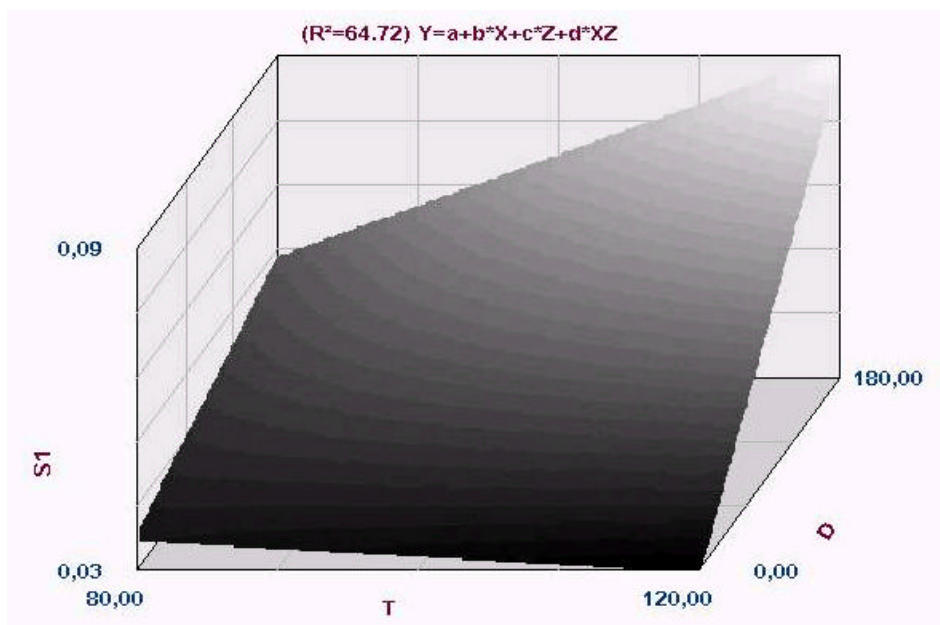


Figura 4.14 – Concentrações de dióxido de carbono no ponto S₁ (superfície dos grãos e centro) dos silos D-05 (80 °C), D-06 (100 °C) e D-07 (120 °C), em função do tempo de armazenagem.

Os resultados de concentração de dióxido de carbono dos tratamentos 2, 3 e 4, obtidos pela sonda S₂, foram submetidos à análise de variância, que é apresentada no Quadro 4.9.

Quadro 4.9 – Análise de variância de concentração de dióxido de carbono no ar intergranular do milho, obtido pela sonda S₂, nas diferentes temperaturas de secagem e tempo de armazenagem

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio	F	Probabilidade
Temperatura (T)	2	0,002795	2454,53 *	0,00000
Tempo (D)	3	0,001467	1288,87 *	0,00000
T x D	6	0,003592	3154,50 *	0,00000
Resíduo	36	0,000001		

* Significativo a 1,0 de probabilidade, pelo teste F.
CV (%) = 1,730.

De acordo com a significância dos fatores, efetuou-se a análise de regressão múltipla da concentração de dióxido de carbono do ar intergranular coletado pela sonda S₂, obtendo a seguinte equação:

$$CO_2(S_2) = 1,01 - 0,02T + 0,0001T^2 - 0,01D + 0,000002D^2 + 0,0002TD - 0,000001T^2D \quad (15)$$

$$R^2 = 70,03$$

em que

$\text{CO}_2(\text{S}_2)$ = concentração de dióxido de carbono (sonda S_2), %;

T = temperatura do ar de secagem, °C; e

D = tempo de armazenagem, dias.

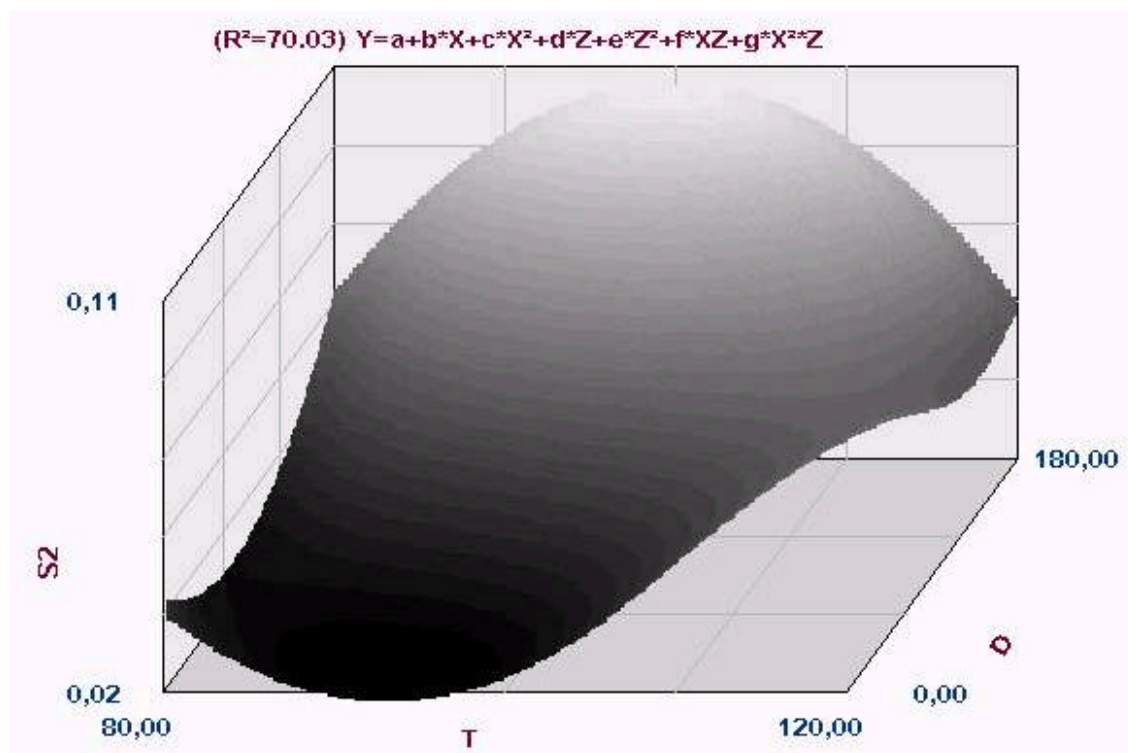


Figura 4.15 – Concentrações de dióxido de carbono no ponto S_2 (superfície dos grãos, entre o centro e a lateral) dos silos D-05 (80 °C), D-06 (100 °C) e D-07 (120 °C), em função do tempo de armazenagem.

Os resultados de concentração de dióxido de carbono dos tratamentos 2, 3 e 4, obtidos pela sonda M_1 , foram submetidos à análise de variância, que é apresentada no Quadro 4.10.

Quadro 4.10 – Análise de variância de concentração de dióxido de carbono no ar intergranular do milho, obtido pela sonda M_1 , nas diferentes temperaturas de secagem e tempo de armazenagem

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio	F	Probabilidade
Temperatura (T)	2	0,004524	186,37 *	0,00000
Tempo (D)	3	0,006368	262,32 *	0,00000
T x D	6	0,005051	208,08 *	0,00000
Resíduo	36	0,000024		

* Significativo a 1,0 de probabilidade, pelo teste F.

CV (%) = 7,249.

De acordo com a significância dos fatores, efetuou-se a análise de regressão múltipla da concentração de dióxido de carbono do ar intergranular coletado pela sonda M₁, obtendo a seguinte equação:

$$CO_2(M_1) = 0,38 - 0,0026T + 0,00002T^2 - 0,0016D + 0,0000014D^2 + 0,000017TD \quad (16)$$

$$R^2 = 64,24$$

em que

$CO_2(M_1)$ = concentração de dióxido de carbono (sonda M₁), %;

T = temperatura do ar de secagem, °C; e

D = tempo de armazenagem, dias.

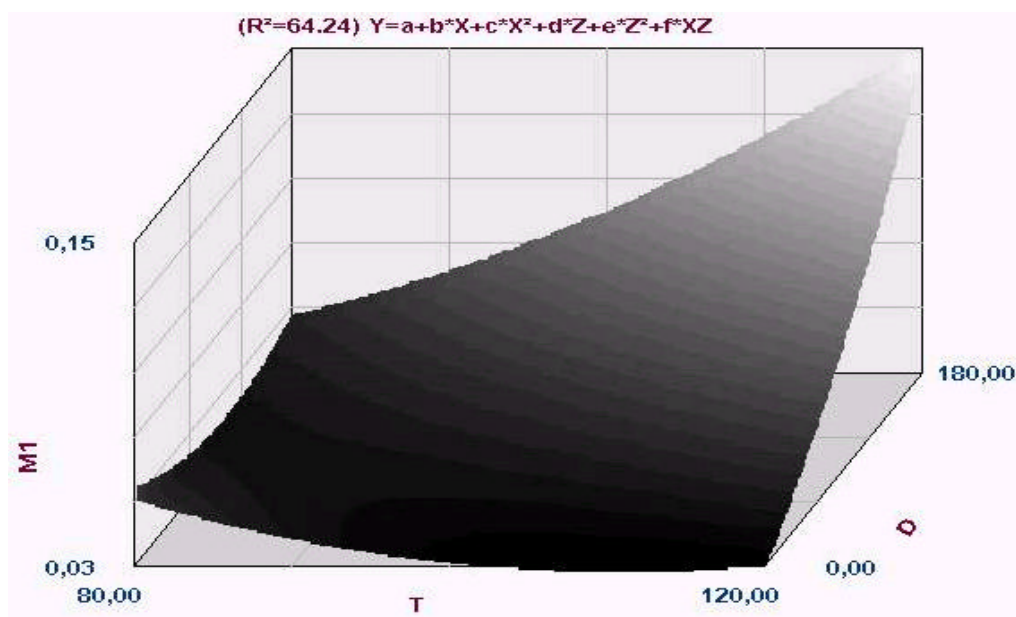


Figura 4.16 – Concentrações de dióxido de carbono no ponto M₁ (centro dos silos, a 1,5 m de profundidade) dos silos D-05 (80 °C), D-06 (100 °C) e D-07 (120 °C), em função do tempo de armazenagem.

Os resultados de concentração de dióxido de carbono dos tratamentos 2, 3 e 4, obtidos pela sonda M₂, foram submetidos à análise de variância, que é apresentada no Quadro 4.11.

Quadro 4.11 – Análise de variância de concentração de dióxido de carbono no ar intergranular do milho, obtido pela sonda M₂, nas diferentes temperaturas de secagem e tempo de armazenagem

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio	F	Probabilidade
Temperatura (T)	2	0,052676	3192,50 *	0,00000
Tempo (D)	3	0,149059	9033,93 *	0,00000
T x D	6	0,026792	1623,784 *	0,00000
Resíduo	36	0,000016		

* Significativo a 1,0 de probabilidade, pelo teste F.

CV (%) = 2,562.

De acordo com a significância dos fatores, efetuou-se a análise de regressão múltipla da concentração de dióxido de carbono do ar intergranular coletado pela sonda M₂, obtendo a seguinte equação:

$$CO_2(M_2) = 0,00972 + 0,00029T + 0,0053D - 0,000039TD \quad R^2 = 63,84 \quad (17)$$

em que

CO₂(M₂) = concentração de dióxido de carbono (sonda M₁), %;

T = temperatura do ar de secagem, °C; e

D = tempo de armazenagem, dias.

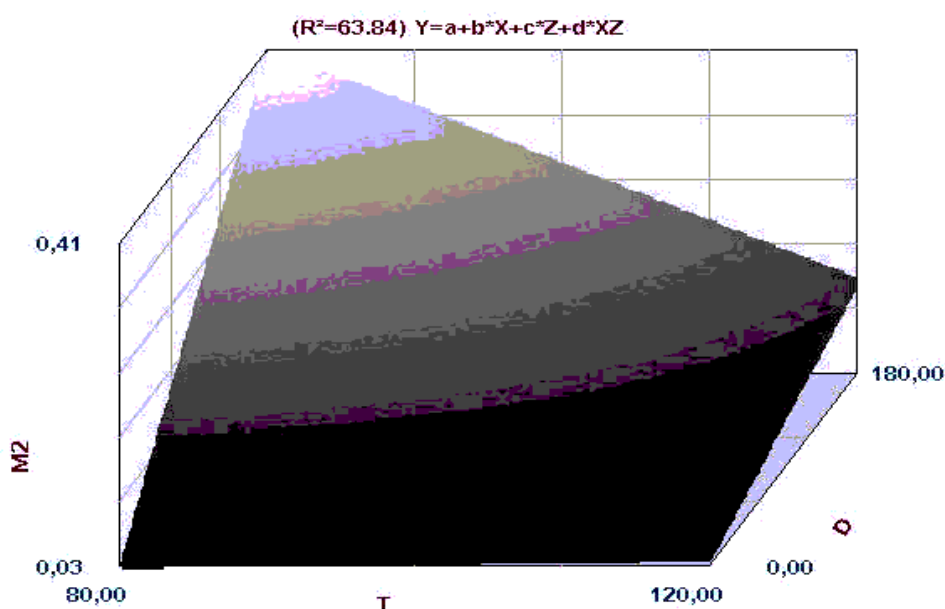


Figura 4.17 – Concentrações de dióxido de carbono no ponto M₂ (entre o centro e a lateral, a 1,5 m de profundidade) dos silos D-05 (80 °C), D-06 (100 °C) e D-07 (120 °C), em função do tempo de armazenagem.

4.1.8. Análise de atividade da água (A_w)

Os resultados das análises de atividade da água realizadas em amostras dos grãos do milho armazenados são apresentados no Quadro 13B (Apêndice B) e representados na Figura 4.17. Observam-se, nessa figura, redução de atividade da água nos primeiros 60 dias de armazenagem e, posteriormente, tendência à estabilização, em todos os tratamentos (ambiente, 80, 100 e 120 °C). Essas análises foram realizadas no Laboratório de Fungos Toxigênicos e Micotoxinas do Departamento de Microbiologia do Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo.

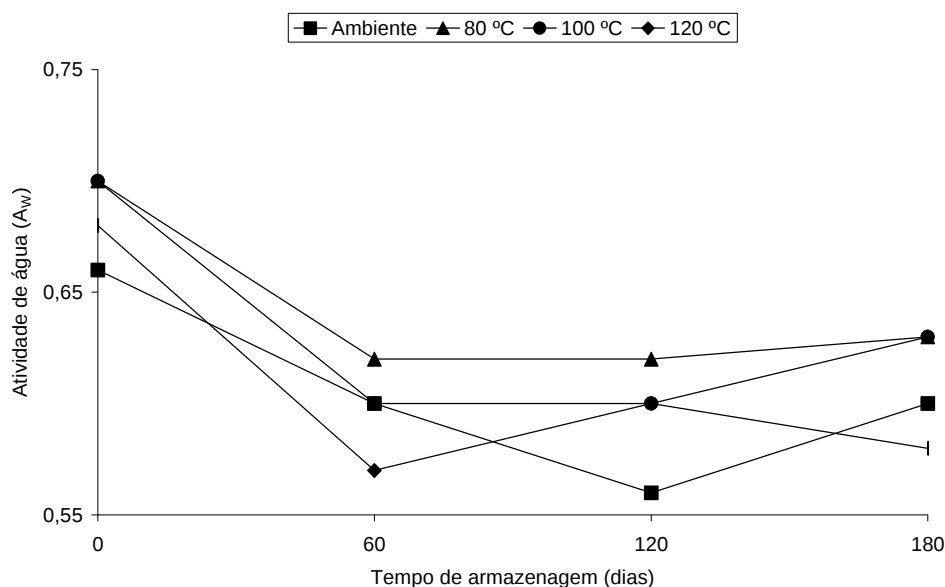


Figura 4.18 – Resultados das análises de atividade da água do milho, em função do tempo de armazenagem.

Os resultados das análises de aflatoxinas B₁, B₂, G₁ e G₂, bem como de zearalenona, indicaram ausência dessas micotoxinas nas amostras dos grãos do milho armazenado durante o período de 180 dias, conforme Quadros 14B e 15B (Apêndice B). Essas análises foram realizadas no Laboratório de Fungos Toxigênicos e Micotoxinas do Departamento de Microbiologia do Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo.

4.1.9. Análise de fumonisina B₁

Os resultados das análises de Fumonisina B₁ são apresentados no Quadro 16B (Apêndice B) e representados na Figura 4.19. Essas análises também foram realizadas no Laboratório de Fungos Toxigênicos e Micotoxinas do Departamento de Microbiologia do Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo.

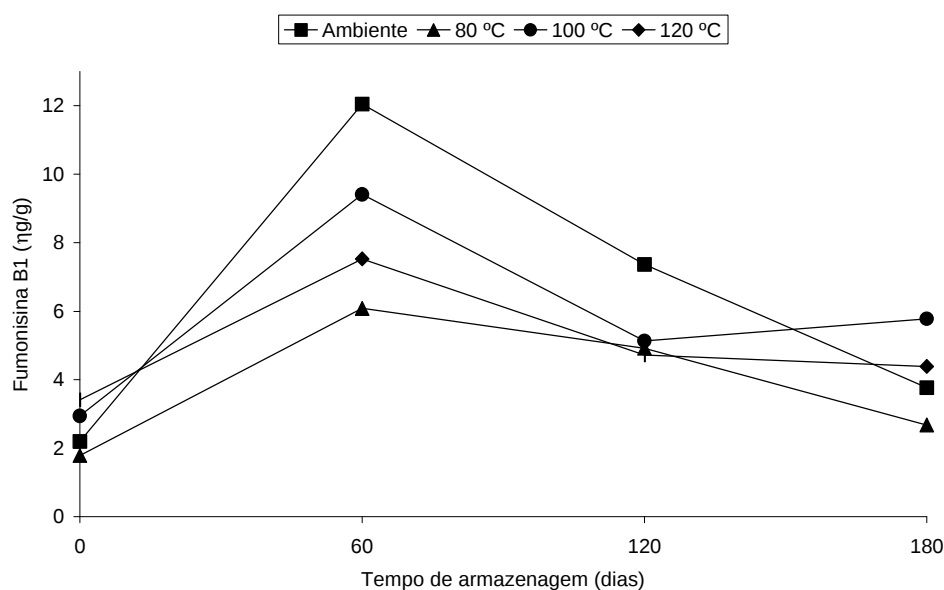


Figura 4.19 – Resultados de fumonisina B₁ encontrados nas amostras dos grãos de milho, em função da temperatura de secagem e do tempo de armazenagem.

4.2. Perda de peso do milho durante o armazenamento a granel

A quantidade de milho da variedade híbrido Pionner 30F80 recebido na unidade armazenadora da CONAB para limpeza, secagem e armazenagem, com os respectivos descontos devido à redução dos teores de impurezas e de umidade, bem como a massa resultante conforme procedimentos operacionais rotineiros, está representada no Quadro 4.12. O desconto de impurezas é o resultado da aplicação do percentual de impurezas encontrado nas amostras retiradas por ocasião do recebimento sobre o peso de cada carga, e o

desconto de umidade foi obtido por redução dos teores de água determinados no recebimento para 13,0% (b.u.).

Quadro 4.12 – Massa de milho recebido para armazenagem e a resultante após a aplicação dos descontos, conforme normas vigentes

Item	Discriminação	Massa (kg)
1	Total recebido para limpeza, secagem e armazenagem	795.180
2	Descontos devido a impurezas	19.244
3	Descontos devido à umidade	42.502
4	Total resultante p/ armazenagem a granel (1 – 2 – 3)	733.434

No Quadro 4.13, apresenta-se a massa total do milho no início do período de armazenagem, após as pesagens realizadas em balança rodoviária e concluídas as operações de limpeza e secagem. Observa-se nesse quadro, além dos resultados apurados com as pesagens do milho após a secagem com ar natural e temperaturas do ar de secagem de 80, 100 e 120 °C, o resultado da pesagem após a secagem do saldo do milho recebido além das 21 cargas do secador. Esse saldo de milho, após a limpeza e a secagem (24.990 kg), foi armazenado separadamente.

Comparando os valores observados nos Quadros 4.12 e 4.13, constatou-se uma diferença de 15.480 kg entre a massa total efetivamente armazenada – obtida por pesagens realizadas após as secagens de todos os tratamentos (748.914 kg) – e a massa total resultante após a aplicação dos descontos devido à redução dos teores de impurezas e de umidade (733.434 kg), conforme normas vigentes. Esse resultado evidencia que as práticas operacionais de amostragens, pesagens, determinação de umidade, impurezas etc. devem seguir, rigorosamente, os critérios técnicos recomendados, para que não haja diferença significativa entre o total obtido por pesagens com o total resultante após descontos praticados rotineiramente.

Quadro 4.13 – Massa de milho obtida por pesagens realizadas após a limpeza e secagem, no início da armazenagem

Discriminação	Massa (kg)
Total após secagem a 80 °C de 7 cargas do secador	245.480
Total após secagem a 100 °C de 7 cargas do secador	237.460
Total após secagem a 120 °C de 7 cargas do secador	240.440
Total após secagem ao ambiente	544
Total após secagem normal (extrapesquisa)	24.990
Total armazenado após secagens	748.914

Conforme mostrado no Quadro 4.13, a quantidade de milho a granel apurado por pesagens, realizadas após limpeza e secagens de sete cargas do secador com temperatura do ar de secagem de 80 °C (245.480 kg), foi superior à quantidade de milho a granel apurado por pesagens realizadas após limpeza e secagens de sete cargas do mesmo secador com temperaturas do ar de secagem de 100 °C (237.460 kg) e de 120 °C (240.440 kg).

A redução na massa do milho a granel, observada após 180 dias de armazenamento (Tabela 4.1), é resultante da diferença entre a massa ou peso inicial e a final obtida por pesagens em balança rodoviária, deduzindo-se a quantidade utilizada nas amostragens para avaliação da qualidade dos grãos.

Tabela 4.1 – Redução da massa de milho, observada após 180 dias de armazenamento, em silos metálicos

Silo	Temperatura de Secagem	Peso Inicial	Amostragens	Massa Final	Redução da Massa	
		(1)	(2)	(3)	(1 – 2 – 3)	
N. ^o	°C	kg	kg	kg	kg	%
01 e 02	Ambiente	544	380	155	9	1,65
D-05	80	245.480	380	240.730	4.370	1,78
D-06	100	237.460	380	231.760	5.320	2,24
D-07	120	240.440	380	235.050	5.010	2,08
TOTAL	-	723.924	1.520	707.695	14.709	2,03

O total de quebra de umidade, representado pelo total de perda de peso devido à redução do teor de água do milho, foi encontrado por diferença entre os teores de água inicial e final, mediante a utilização da seguinte fórmula:

$$Q.U. = \frac{U_i - U_f}{100 - U_f} \times P_i \quad (18)$$

em que

Q.U. = quebra de umidade, kg;

U_i = teor de água inicial, % b.u.;

U_f = teor de água final, % b.u.; e

P_i = massa do milho no início da armazenagem, kg.

O total de perda de peso por redução de umidade e o total de quebra técnica estão apresentados na Tabela 4.2. O total de quebra técnica foi determinado, deduzindo-se o total de quebra de umidade do total de perda de peso apurado ao término do experimento.

Tabela 4.2 – Redução de massa devido à perda de umidade e ao total de quebra técnica após 180 dias de armazenagem

Silo	Redução de Massa		Teor de Água		Quebra de Umidade		Quebra Técnica	
	(1)		(%)		(2)		(1 – 2)	
Nº.	kg	%	Inicial	Final	kg	%	kg	%
01 e 02	9	1,65	11,61	10,73	5	0,99	4	0,73
D-05	4.370	1,78	12,66	11,23	3.952	1,61	418	0,17
D-06	5.320	2,24	12,32	11,35	2.588	1,09	2732	1,15
D-07	5.010	2,08	11,96	11,16	2.164	0,90	2846	1,18
TOTAL	14.709	2,03	-	-	8.709	1,20	6.000	0,83

Observa-se, na Tabela 4.2, que, do total de redução de massa verificada (14.709 kg ou 2,03%), 8.709 kg ou 1,20% foram devidos à quebra de umidade e 6.000 kg ou 0,83%, à quebra técnica. Assim, do total de perda de peso apurado, 59,21% foi devido à quebra de umidade e 40,79%, à quebra técnica.

Conforme porcentagens de quebra técnica ocorrida em todos os tratamentos, verificou-se que o percentual obtido no tratamento-testemunha (secagem natural) foi de 0,73% ou, aproximadamente, de 0,12% ao mês, enquanto no milho secado a 80 °C esse percentual foi de 0,17% ou, aproximadamente, 0,03% ao mês. Possivelmente, isso seja devido ao fato de que, no tratamento-testemunha, foram armazenados apenas 544 kg de milho e, no tratamento a 80 °C, 245.480 kg de milho a granel.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

O experimento foi realizado na unidade armazenadora da Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, localizada no Município de Rio Verde, no Estado de Goiás, durante o período de março a outubro de 2001. Foi utilizado milho a granel, da variedade híbrido Pioneer 30F80, semiduro, procedente da Fazenda São Tomás, localizada no km 23 da BR-452, em Rio Verde, GO. O milho, colhido mecanicamente por duas automotrizes com teor de água médio de 19% b.u., foi transportado por via rodoviária até o armazém, para limpeza, secagem e armazenagem. Foram recebidas e disponibilizadas, para a realização dos testes, 795 toneladas de milho.

O objetivo geral deste trabalho foi quantificar, em uma unidade armazenadora representativa da rede oficial, o índice de quebra técnica, bem como analisar a qualidade comercial do milho a granel, considerando-se a temperatura de secagem e o tempo de armazenagem. Teve por objetivo específico: analisar os efeitos da interação entre temperatura de secagem e tempo de armazenagem sobre o índice de quebra técnica; e as propriedades químicas, físicas e biológicas do milho e sua interação com temperatura de secagem e tempo de armazenagem.

Para quantificação do índice de quebra técnica e análise da qualidade comercial do milho a granel, considerando-se a temperatura de secagem e o tempo de armazenamento, os grãos foram secados com temperaturas do ar de 80, 100 e 120 °C. Após secagens e pesagens, os grãos de milho foram

armazenados, respectivamente com essas temperaturas, nos silos metálicos D-05, D-06 e D-07, durante 180 dias. Como testemunha, amostras foram coletadas durante o enchimento de cada carga do secador e, após a secagem natural ao ambiente, também armazenadas a granel.

Amostragens foram obtidas aos 0, 60, 120 e 180 dias de armazenamento, para realização das seguintes análises e dos testes, para avaliação da qualidade do milho: umidade, massa específica, classificação oficial, nível de concentração de CO₂, suscetibilidade à quebra e avaliação de trincas internas, germinação, análise de atividade de água, análise de aflatoxinas, análise de zearalenona e análise de fumonisina B1.

Após a análise dos dados e a interpretação dos resultados, pôde-se concluir que:

- A quantidade de milho a granel obtido por pesagens realizadas após limpeza e secagem foi superior à estimada após a aplicação dos descontos, conforme as normas operacionais vigentes, isto é, utilizando-se equações matemáticas.
- Aumentando a temperatura do ar de secagem, obteve-se maior perda de peso final dos grãos de milho destinados à armazenagem.
- A quantidade total de perda de peso apurada após 180 dias de armazenagem foi equivalente a 2,03% do total efetivamente armazenado.
- A perda de peso devido à secagem natural foi superior à decorrente da quebra técnica durante o período de armazenamento estudado.
- O índice médio mensal obtido de quebra técnica no milho secado ao ambiente foi de 0,12%; nos demais tratamentos, esses índices foram, respectivamente, de 0,03%, 0,19% e 0,20%.
- O índice médio mensal obtido de quebra técnica em todos os tratamentos estudados foi de 0,14% ao mês.

- O milho secado a 80 °C apresentou menor percentual de perda de peso, após 180 dias de armazenagem, que o milho secado a 100 e 120 °C, evidenciando-se a necessidade de trabalhar com menor temperatura do ar de secagem.
- A temperatura do ar de secagem influenciou, significativamente, as quebras técnicas ocorridas durante o período de 180 dias de armazenagem.
- A maioria das variáveis estudadas exibiu resultados conforme previstos por diversos autores. Entretanto, acredita-se que a continuidade de pesquisas nessa área, utilizando outras variedades de milho e outras espécies de grãos armazenados, em outras localidades e com diferentes tipos de armazéns, bem como prolongando o período de estocagem, poderá contribuir para maiores esclarecimentos quanto à perda de peso e qualidade dos grãos durante o armazenamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS – AACC. **Corn breakage susceptibility method**. Washington: AACC, 1991. p. 55-20.
- ANNIS, P.C.; DAMCEVSKI, K.A.; REUSS, R. **Moisture content and grain respiration**. Camberra, Australia: CSIRO, 1997. 778 p.
- BAKKER ARKEMA, F.W. Grains and grain quality. In: BAKKER-ARKEMA, F.W. (Ed.). **Agro-processing engineering**. St. Joseph: ASAE, CIGR Handbook of Agricultural Engineering, 1999. p.1-11.
- BORÉM, F.M.; HARA, T.; SILVA, R.F. Efeito da temperatura e da umidade relativa do ar de secagem sobre o trincamento e a susceptibilidade à quebra de sementes de milho, híbrido AG-303. **Engenharia na Agricultura**, v.2, n.1, p.1-11, 1992.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: MARA, 1992. 365 p.
- BROOKER, R.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 450 p.
- DUGBA, P.N.; BERN, C.J.; MISRA, M.K.; BAILEY, T.B. Preservative effects of iprodione on shelled corn. **Transactions of the ASAE**, v.39, n.5, p.1751-1756, 1996.
- ESMINGER, M.E.; OLENTINE, J.R. **Feeds and nutrition**. [S.L.]: The Esminger Publishing, 1978. 1417 p.

- FARONI, L.R.A. Manejo das pragas dos grãos armazenados e sua influência na qualidade do produto final. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.17, n.1/2, 1992.
- FELLOWS, P. **Tecnología del procesado de los alimentos: principios e prácticas**. Saragoza: Acribia, 1994. p. 9-52.
- FRIDAY, D.; TUIITE, J.; STROSHINE, R. Effect of hybrid and physical damage on mold development and carbon dioxide production during storage of high-moisture shelled corn. **Cereal Chemistry**, v.66, n.5, p.422-426, 1989.
- FRISVAD, J.C. Mycotoxins and Mycotoxigenic Fungi in Storage. In: JAYAS, D.S.; WHITE, N.D.G.; MUIR, W.E. **Stored-grain ecosystems**. New York: Marcel Dekker, 1995. p.251-288.
- GUNASEKARAN, S.; MUTHUKUMARAPPAN, K. Breakage susceptibility of corn of different stress-crack categories. **Transactions of the ASAE**, v.36, n.5, p.1445-1446, 1993.
- GUPTA, P.; WILCKE, W.F.; MOREY, R.V.; MERONUCK, R.A. Effect of dry matter loss on corn quality. **ASAE Annual International Meeting**. Orlando: ASAE, 1998. (Paper, 98-6042).
- HALL, G.E. Test-weight changes of shelled corn during drying. **Transactions of the ASAE**, v.15, n.2, p.320-323, 1972.
- HARRIS, K.L.; LINDBLAD, C.J. **Postharvest grain loss assessment methods**. Minneapolis: Am. Assoc. Cereal Chem., 1978. 193 p.
- JAYAS, D.S.; WHITE, N.D.G.; MUIR, W.E. (Eds.). **Stored grain ecosystems**. New York: Marcel Decker, 1995. 757 p.
- KELLER, D.L.; CONVERSE, H.H.; HODGES, T.O.; CHUNG, D.S. Corn kernel damage due to high velocity impact. **Transactions of the ASAE**, v.15, n.2, p.330-332, 1972.
- MONTROSS, M.D.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HINES, R.E. Moisture content variation and grain quality of corn dried in different high-temperature dryers. **Transactions of the ASAE**, v.42, n.2, p. 427-433, 1999.
- NG, H.F.; MOREY, R.V.; WILCKE, W.F.; MERONUCK, R.A.; LANG, J.P. Relationship between equilibrium relative humidity and deterioration of shelled corn. **Transactions of the ASAE**, v.38, n.4, p.1139-1145, 1995.
- NG, H.F.; WILCKE, W.F.; MOREY, R.V.; MERONUCK, R.A.; LANG, J.P. Mechanical damage and corn storability. **Transactions of the ASAE**, v.41, n.4, p.685-689, 1998.

- OBALDO, L.G.; HARNER, J.P.; CONVERSE, H.H. Prediction of moisture changes in stored corn. **Transactions of the ASAE**, v. 34, n. 4, p. 1850-1857, 1991.
- PAULSEN, M.R.; HILL, L.D. Corn quality factors affecting dry milling performance. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.31, p.255-263, 1985.
- PINTO, N.F.J.A. Controle de patógenos em grãos de milho armazenados. **Revista Summa Phytopathologica**, v.22, n.1., p.77-78, 1996.
- POMERANZ, Y. Biochemical, functional, and nutritive changes during storage. In: SAUER, D.B. (Ed.). **Storage of cereal grains and their products**. 4. ed. St. Paul: American Association Cereal Chemistry, 1992. p.55-118.
- PRADO, G.; ALMEIDA PINTO, N.F.J.; OLIVEIRA, M.S. Incidência de aflatoxinas em milho (*Zea mays L.*) com diferentes níveis de umidade, após tratamento com fungicida, armazenado em atmosfera com e sem aeração. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v.55, n.2, p.79-84, 1995.
- ROSS, I.J.; WHITE, G.M. Discoloration and stress-cracking of white corn as affected by over-drying. **Transactions of the ASAE**, v.15, n.2, p.327-329, 1972.
- SGARBIERI, V.C. **Proteínas em alimentos protéicos**. São Paulo: Varela, 1966. 121 p.
- SEITZ, L.M.; SAUER, D.B.; MOHR, H.E.; ALDIS, D.F. Fungal growth and dry matter loss during bin storage of high-moisture corn. **Cereal Chemistry**, v.59, n.1, p.9-13, 1982.
- SILVA, J.S. (Ed.). **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2000. 502 p.
- SILVA, J.S.; DONZELES, S.M.L.; AFONSO, A.D.L. Qualidade dos grãos. **Engenharia na Agricultura**, v.2, n.6, p.1-30, 1992.
- SINHA, R.N.; MUIR, W.E. **Grain storage: part of a system**. Westport: AVI Publishing Company, 1973. 481 p.
- SISKA, J.; HURBURGH JR., C.R. Prediction of Wisconsin Tester breakage susceptibility of corn from bulk density and NIRS measurements of composition. **Transactions of the ASAE**, v.37, n.5, p.1577-1582, 1994.
- SOPONRONNARIT, S.; PONGTORNKULPANICH, A.; PRACHAYAWARAKORN, S. Corn quality after drying by fluidization technique at high temperature. **Drying Technology**, v.15, n.10, p.2577-2586, 1997.

- SOARES, L.M.V.; RODRIGUES-AMAYA, D.B. Survey of aflatoxins, ochratoxins, zearalenone and sterigmatocystin in some Brazilian foods by using multi-toxin thin-layer chromatographic method. **Journal Association Off Analytical Chemistry International**, v.72, n.1, p.22-26, 1989.
- STEELE, J.L.; SAUL, R.A.; HUKILL, W.V. Deterioration of shelled corn as measured by carbon dioxide production. **Transactions of the ASAE**, v.12, n.5, p.685-689, 1969.
- STEFANOV, L.; GAVRILENKO, I. Reduction in the nutritive value of maize corn as a result of storage before processing and the preserving effect of carbon dioxide. **Food Science and Technology Abstracts**, v.3, n.10, p.1859, 1971. (Abstr. 10M1184).
- STROSHINE, R.L.; YANG, X. Effects of hybrid and grain damage on estimated dry matter loss for high-moisture shelled corn. **Transactions of the ASAE**, v.33, n.4, p.1291-1298, 1990.
- SUN, DA-WEN. Selection of EMC/ERH isotherm equations for shelled corn based on fitting to available data. **Drying Technology**, v.16, n.3-5, p.779-797, 1998.
- THOMPSON, T.L. Temporary storage of high-moisture shelled corn using continuous aeration. **Transactions of the ASAE**, v.15, p.333, 1972.
- TIPPLES, K.H. Quality and nutritional changes in stored grain. In: JAYAS, D.S.; WHITE, N.D.G.; MUIR, W.E. **Stored-grain ecosystems**. New York: Marcel Dekker, 1995. p. 325-351.
- WHITE, N.D.G.; SINHA, R.N.; MUIR, W.E. Intergranular carbon dioxide as an indicator of deterioration in stored rapeseed. **Canadian Agricultural Engineering**, v.24, n.1, p.43-49, 1982.
- WHITE, N.D.G.(Ed.). **Protection of farm-stored grains, oilseeds and pulses from insects, mites and moulds**. Manitoba: Agriculture and Agri-Food Canada Publication, Cereal Research Centre, 2000. 54 p.
- WILCKE, W.F.; MERONUCK, R.A.; MOREY, R.V.; NG, H.F.; LANG, J.P.; JIANG, D. Storage life of shelled corn treated with a fungicide. **Transactions of the ASAE**, v.36, p.1847-1854, 1993.
- WILCKE, W.F.; NG, H.F.; MOREY, R.V.; MERONUCK, R.A.; LANG, J.P. Effect of iprodione fungicide application on deterioration rate of stored shelled corn. **Transactions of the ASAE**, v.41, p.1761-1765, 1998.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Quadro 1A – Temperaturas registradas por termopares instalados no secador e condições climáticas (termômetros de bulbo seco, bulbo úmido e umidade relativa), durante as operações de secagens (início, meio e fim) com temperatura do ar a 80 °C

Secagem (n.º)	Leitura (h)	Termopares (°C)					Condições Climáticas		
		1	2	3	4	5	T _{bs} (°C)	T _{bu} (°C)	UR(%)
01/80	17:15	30,8	30,7	79,9	25,2	30,5	24,4	22,4	84,4
	19:00	32,7	33,2	82,8	33,8	34,7	24,2	21,8	81,3
	20:45	33,7	34,4	83,2	33,1	38,3	22,4	21,2	90,0
Média		32,4	32,8	82,0	30,7	34,5	23,7	21,8	84,9
02/80	07:45	29,5	30,3	78,8	20,8	29,5	22,8	20,8	83,8
	10:00	32,3	32,8	81,3	35,4	36,1	29,4	22,6	56,1
	11:00	33,5	34,4	78,9	37,2	29,7	29,8	22,0	50,9
Média		31,8	32,5	79,7	31,1	31,8	27,3	21,8	62,1
03/80	12:45	29,1	32,5	80,0	26,3	29,4	29,4	22,0	52,8
	14:30	32,1	42,5	82,0	37,9	35,2	30,0	22,4	52,2
	15:00	33,2	45,7	65,7	38,7	36,9	30,4	22,4	50,4
Média		31,5	40,2	75,9	34,3	33,8	29,9	22,3	52,1
04/80	07:15	28,6	48,5	79,7	24,9	30,6	23,2	20,4	77,9
	09:15	31,9	57,4	76,1	35,1	36,0	28,2	21,6	56,2
	09:45	32,8	54,4	58,2	36,7	38,1	29,0	21,8	53,5
Média		31,1	53,4	71,3	32,2	34,9	26,8	21,3	61,7
05/80	08:15	32,8	25,6	80,8	23,8	28,6	26,4	20,6	59,6
	09:30	45,8	27,5	77,2	29,6	32,8	28,6	20,8	49,8
	10:30	29,6	41,0	72,2	30,6	35,3	29,8	20,4	42,6
Média		36,1	31,4	76,7	28,0	32,2	28,3	20,6	50,1
06/80	12:45	30,7	28,8	79,3	28,7	28,5	31,8	21,0	38,0
	13:45	32,0	32,0	75,4	34,5	34,7	31,8	20,6	36,1
	14:30	33,4	32,1	74,2	34,7	34,9	32,2	21,0	36,6
Média		32,0	31,0	76,3	32,6	32,7	31,9	20,9	37,2
07/80	16:45	30,6	30,6	80,2	30,0	30,1	31,2	21,0	40,2
	17:50	31,1	33,5	81,1	31,2	31,5	29,0	20,8	48,0
	19:30	33,6	38,1	80,4	32,5	34,7	27,4	20,2	52,0
Média		31,8	34,1	80,6	31,2	32,1	29,2	20,7	46,6

Termopares	
1 e 2	Temperatura dos grãos de milho no interior do secador
3	Temperatura do ar na entrada da câmara de secagem
4	Temperatura do ar na câmara de resfriamento
5	Temperatura do ar na câmara de exaustão

Quadro 2A – Temperaturas registradas por termopares instalados no interior do secador e condições climáticas (termômetros de bulbo seco, bulbo úmido e umidade relativa), durante as operações de secagens (início, meio e fim) com temperatura do ar a 100 °C

Secagem (n.º)	Leitura (h)	Termopares (°C)					Condições Climáticas		
		1	2	3	4	5	T _{bs} (°C)	T _{bu} (°C)	UR(%)
01/100	13:15	32,6	33,7	97,4	31,0	34,5	25,6	21,4	69,3
	15:30	33,2	35,0	100,6	34,9	37,6	27,5	21,7	60,4
	16:40	34,4	37,0	70,0	40,4	26,3	27,6	22,4	64,2
Média		33,4	35,2	89,3	35,4	32,8	26,9	21,8	64,3
02/100	15:30	24,3	24,1	53,3	26,5	25,4	25,8	24,4	89,2
	17:20	31,5	34,3	100,1	32,6	35,5	25,2	22,2	77,4
	19:00	33,3	36,3	99,0	40,1	39,0	23,2	20,2	76,4
Média		29,7	31,6	84,1	33,1	33,3	24,7	22,3	81,5
03/100	07:30	28,0	27,0	66,0	26,0	28,0	21,0	20,0	91,4
	10:00	33,0	35,0	103,0	36,0	39,0	25,2	21,4	71,8
	11:00	34,0	36,0	97,0	46,0	42,0	27,0	21,9	64,4
Média		31,7	32,7	88,7	36,0	36,3	24,4	21,1	74,8
04/100	13:00	31,8	33,8	101,2	29,7	33,7	27,0	22,0	65,0
	15:05	35,7	36,4	98,8	43,9	40,7	25,6	22,2	74,8
	15:40	38,0	37,2	50,5	40,5	38,2	22,8	20,9	84,6
Média		35,2	35,8	83,5	38,0	37,5	25,1	21,7	74,5
05/100	17:00	28,0	28,0	65,0	26,0	27,0	22,8	21,2	86,9
	19:00	33,0	35,0	99,0	33,0	26,0	22,0	20,0	83,5
	20:30	34,0	36,0	85,0	45,0	41,0	21,4	19,8	86,5
Média		31,7	33,0	83,0	34,7	31,3	22,1	20,3	85,1
06/100	10:30	29,0	30,0	95,0	27,0	31,0	27,8	22,6	64,3
	12:30	32,0	34,0	100,0	36,0	37,0	29,4	21,2	48,4
	13:30	34,0	35,0	95,0	39,0	40,0	30,0	22,6	53,3
Média		31,7	33,0	96,7	34,0	36,0	29,1	22,1	54,7
07/100	12:20	28,4	-	96,2	27,1	29,0	31,2	21,4	42,1
	13:30	33,0	-	101,0	41,6	36,4	31,8	21,4	39,8
	14:00	34,4	-	95,8	41,5	38,8	31,8	21,4	39,8
Média		31,9	-	97,7	36,7	34,7	31,6	21,4	40,6

Termopares	
1 e 2	Temperatura dos grãos de milho no interior do secador
3	Temperatura do ar na entrada da câmara de secagem
4	Temperatura do ar na câmara de resfriamento
5	Temperatura do ar na câmara de exaustão

Quadro 3A – Temperaturas registradas por termopares instalados no interior do secador e condições climáticas (termômetros de bulbo seco, bulbo úmido e umidade relativa), durante as operações de secagens (início, meio e fim) com temperatura do ar a 120 °C

Secagem (n.º)	Leitura (h)	Termopares (°C)					Condições Climáticas		
		1	2	3	4	5	T _{bs} (°C)	T _{bu} (°C)	UR(%)
01/120	14:50	29,1	29,7	108,7	28,0	29,8	29,2	21,8	52,6
	16:20	35,2	36,2	122,4	36,7	39,5	30,8	23,0	51,8
	17:00	36,5	37,3	105,0	41,3	41,7	29,8	22,0	50,9
Média		33,6	34,4	112,0	35,3	37,0	29,9	22,3	52,1
02/120	09:00	34,2	35,0	117,0	28,0	34,4	21,4	20,0	88,2
	10:30	36,4	37,1	120,0	38,5	41,7	24,4	20,6	71,3
	11:15	36,0	37,5	90,0	48,2	29,0	27,0	21,8	63,8
Média		35,5	36,5	109,0	38,2	35,0	24,3	20,8	73,4
03/120	13:30	29,6	30,0	114,7	26,4	30,7	29,8	22,2	52,0
	14:30	35,9	36,6	118,9	38,7	39,9	30,0	22,4	52,2
	15:15	37,1	37,1	121,7	43,1	41,7	30,2	22,6	52,4
Média		34,2	34,6	118,4	36,1	37,4	30,0	22,4	52,2
04/120	17:00	30,4	26,4	115,8	26,4	30,2	29,2	22,0	53,7
	18:10	34,6	36,3	116,8	36,8	37,9	26,0	21,4	66,9
	19:20	36,4	37,1	110,7	42,4	40,8	25,8	21,4	68,1
Média		33,8	33,3	114,4	35,2	36,3	27,0	21,6	62,5
05/120	08:10	31,9	33,7	110,0	29,7	32,9	22,2	20,4	85,2
	09:30	35,7	36,3	119,0	39,2	39,4	22,2	20,8	88,4
	10:45	37,8	39,2	112,9	40,0	47,0	23,8	21,8	84,2
Média		35,1	36,4	114,0	36,3	39,8	22,7	21,0	86,1
06/120	12:45	30,2	31,7	110,7	25,2	31,7	27,0	22,8	70,2
	14:15	36,5	37,4	120,0	43,2	40,7	27,8	23,2	68,1
	15:10	40,0	38,3	108,0	46,3	44,3	28,0	23,0	65,7
Média		35,6	35,8	112,9	38,2	38,9	27,6	23,0	68,0
07/120	16:20	40,5	35,1	112,4	30,1	32,8	30,8	22,0	46,6
	17:00	39,1	38,0	120,9	33,9	35,7	31,0	22,2	46,8
	17:50	46,5	38,5	107,1	36,6	38,2	29,4	22,8	57,2
Média		42,0	37,2	113,5	33,5	35,6	30,4	22,3	49,9

Termopares	
1 e 2	Temperatura dos grãos de milho no interior do secador
3	Temperatura do ar na entrada da câmara de secagem
4	Temperatura do ar na câmara de resfriamento
5	Temperatura do ar na câmara de exaustão

Quadro 4A – Secagens com temperaturas do ar a 80, 100 e 120 °C, teor de umidade (%), horário (h), consumo de lenha (kg) e leituras manométricas (mm) registradas

Secagem								
N.º	Data	Umidade (%)		Horário (h)			Consumo de Lenha (kg)	Manômetro (mm)
		Início	Fim	Início	Fim	Duração		
01/80	06/04	17,4	13,1	17:00	21:00	04:00	626	2,0
02/80	07/04	18,0	13,0	07:30	11:15	03:45	669	2,0
03/80	07/04	17,6	13,0	12:30	15:15	02:45	364	2,0
04/80	08/04	17,9	12,9	07:00	10:00	03:00	504	2,0
05/80	09/04	17,5	13,1	08:00	10:45	02:45	450	2,0
06/80	09/04	17,6	13,0	12:30	14:35	02:05	326	2,0
07/80	09/04	17,9	13,1	16:30	19:45	03:15	433	2,0
01/100	1º/04	18,9	13,1	13:15	16:40	03:25	778	2,0
02/100	02/04	18,2	12,8	15:30	19:00	03:30	840	2,0
03/100	03/04	18,0	13,2	07:30	10:50	03:20	725	2,0
04/100	03/04	18,0	13,0	12:45	16:00	03:15	664	2,0
05/100	03/04	18,4	13,2	17:00	20:30	03:30	735	2,0
06/100	04/04	18,2	12,9	10:30	13:45	03:15	642	2,0
07/100	08/04	17,6	13,0	12:00	14:30	02:30	400	2,0
01/120	04/04	18,0	13,2	14:50	17:15	02:25	617	2,0
02/120	05/04	17,5	13,1	08:30	11:30	03:00	836	2,0
03/120	05/04	17,4	13,2	13:00	15:30	02:30	598	2,0
04/120	05/04	17,5	13,0	16:50	19:30	02:40	532	2,0
05/120	06/04	17,7	13,0	08:00	11:00	03:00	850	2,0
06/120	06/04	17,6	13,2	12:30	15:30	03:00	615	2,0
07/120	08/04	16,5	13,0	16:00	18:00	02:00	427	2,0

Quadro 5A – Teor de umidade determinado durante as operações de secagens do milho com temperatura do ar a 80 °C

Secagem n.º	Data	Etapa da Secagem			
			Inicial	Intermediária	Final
01/80	06/04/01	Horário	17:15	19:00	20:45
		Umidade (%)	17,4	13,9	13,1
02/80	07/04/01	Horário	07:45	10:00	11:00
		Umidade (%)	18,0	13,9	13,0
03/80	07/04/01	Horário	12:45	14:30	15:00
		Umidade (%)	17,6	14,1	13,0
04/80	08/04/01	Horário	07:15	09:15	09:45
		Umidade (%)	16,0	13,9	12,9
05/80	09/04/01	Horário	08:15	09:30	10:30
		Umidade (%)	16,5	14,5	13,3
06/80	09/04/01	Horário	12:45	13:45	14:30
		Umidade (%)	17,0	14,5	13,0
07/80	09/04/01	Horário	16:45	17:50	19:30
		Umidade (%)	17,5	14,5	13,1

Quadro 6A – Teor de umidade determinado durante as operações de secagens do milho com temperatura do ar a 100 °C

Secagem n.º	Data	Etapa da Secagem			
			Inicial	Intermediária	Final
01/100	1º/04/01	Horário	13:15	15:30	16:40
		Umidade (%)	18,9	14,6	13,1
02/100	02/04/01	Horário	15:30	17:20	19:00
		Umidade (%)	18,2	14,4	12,8
03/100	03/04/01	Horário	07:30	10:00	11:00
		Umidade (%)	18,0	14,8	13,2
04/100	03/04/01	Horário	13:00	15:05	15:40
		Umidade (%)	18,0	14,5	13,0
05/100	03/04/01	Horário	17:00	19:00	20:30
		Umidade (%)	18,4	14,7	13,2
06/100	04/04/01	Horário	10:30	12:30	13:30
		Umidade (%)	18,2	14,5	12,9
07/100	08/04/01	Horário	12:20	13:30	14:00
		Umidade (%)	17,6	14,5	13,0

Quadro 7A – Teor de umidade determinado durante as operações de secagens do milho com temperatura do ar a 120 °C

Secagem n.º	Data	Etapa da Secagem			
		Inicial	Intermediária	Final	
01/120	04/04/01	Horário	14:50	16:20	16:40
		Umidade (%)	18,0	14,5	13,2
02/120	05/04/01	Horário	09:00	10:30	11:15
		Umidade (%)	17,5	14,1	13,1
03/120	05/04/01	Horário	13:30	14:30	15:15
		Umidade (%)	17,4	14,5	13,2
04/120	05/04/01	Horário	17:00	18:10	19:20
		Umidade (%)	17,5	14,4	13,0
05/120	06/04/01	Horário	08:10	09:30	10:45
		Umidade (%)	17,7	14,8	13,0
06/120	06/04/01	Horário	12:45	14:15	15:10
		Umidade (%)	17,6	14,8	13,2
07/120	08/04/01	Horário	16:20	17:00	17:50
		Umidade (%)	16,5	14,5	13,2

Quadro 8A – Temperaturas dos grãos de milho durante armazenagem no silo
D-05 (secagem com temperatura do ar a 80 °C)

Data	T _{bs}	UR (%)	SENSORES								
			A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
12/04/01	23,7	68	31,0	30,5	30,0	31,0	34,7	32,9	30,5	30,8	28,8
16/04/01	23,7	68	30,2	30,8	29,8	30,0	34,9	33,5	29,1	31,2	29,7
18/04/01	24,0	64	29,8	30,9	29,9	29,5	34,8	33,7	28,4	31,0	29,8
20/04/01	23,0	64	29,1	30,4	29,3	28,5	34,3	33,8	27,5	29,8	30,8
23/04/01	24,0	75	28,8	30,8	29,8	28,0	34,2	34,8	26,7	30,5	30,0
25/04/01	26,0	62	28,6	30,8	30,0	27,8	34,5	36,4	26,4	30,2	30,0
27/04/01	28,0	57	27,7	29,7	29,3	27,1	34,7	38,0	26,0	29,5	30,0
30/04/01	25,0	47	28,5	30,7	30,5	27,8	36,5	42,9	26,1	29,5	30,4
02/05/01	25,0	84	27,9	30,3	30,6	27,5	37,2	45,0	26,0	29,0	30,8
04/05/01	22,3	69	28,0	29,8	30,5	27,0	37,6	47,0	25,3	28,6	30,0
07/05/01	22,0	38	27,1	29,4	30,7	26,6	38,3	45,8	24,9	28,0	25,0
09/05/01	16,9	64	20,5	20,0	21,1	18,5	20,2	25,0	19,1	17,9	18,7
11/05/01	24,0	53	19,7	18,8	20,1	18,3	19,5	24,0	18,4	17,0	18,0
14/05/01	17,0	81	20,4	19,2	20,6	20,0	20,6	24,7	19,8	18,2	19,3
16/05/01	21,0	86	23,1	23,2	22,0	23,8	23,5	21,0	24,7	23,5	23,5
18/05/01	19,0	65	21,9	21,9	21,7	19,3	22,9	21,3	20,6	19,6	21,6
21/05/01	20,0	56	23,4	23,2	24,1	22,3	24,0	23,2	22,1	21,3	23,1
24/05/01	16,0	100	23,0	21,7	23,9	23,5	24,3	24,7	22,8	22,6	23,0
25/05/01	17,0	100	23,0	21,6	23,8	23,3	24,2	24,2	22,5	22,6	22,9
28/05/01	18,0	90	22,9	22,0	23,7	22,5	23,4	23,6	22,6	21,5	22,5
30/05/01	26,2	83	20,7	20,9	18,4	21,0	19,6	20,8	23,5	20,6	18,7
04/06/01	21,9	51	23,3	23,3	23,1	23,3	23,4	23,4	25,1	23,2	23,2
08/06/01	23,0	59	22,3	23,1	22,8	21,3	22,4	22,8	22,3	21,1	22,3
11/06/01	25,0	47	23,8	22,5	23,7	22,8	23,7	25,5	24,5	23,2	21,8
13/06/01	19,0	74	23,6	22,9	22,7	23,6	24,3	24,8	23,6	22,5	20,8
18/06/01	13,2	90	23,8	22,8	23,1	24,4	24,4	25,5	24,1	23,5	23,5
22/06/01	16,0	50	23,9	23,1	23,3	20,0	23,8	24,9	19,5	20,2	22,0
25/06/01	23,0	60	22,7	22,6	23,2	19,9	22,8	24,1	19,8	19,8	21,4
27/06/01	12,8	90	23,9	22,4	24,1	22,4	23,3	25,2	24,3	20,2	21,7
29/06/01	20,2	50	21,9	20,6	21,6	19,9	21,3	23,0	21,1	20,1	19,5
02/07/01	20,2	63	22,5	20,7	22,5	21,7	22,0	24,2	22,0	19,9	19,8
04/07/01	21,1	48	21,9	20,5	20,3	20,8	21,8	22,9	22,0	19,9	19,7
06/07/01	20,0	48	21,7	21,0	21,9	22,2	22,9	24,4	21,6	20,5	20,6
09/07/01	21,2	56	21,9	20,9	21,8	21,8	22,0	22,0	21,5	20,8	20,6
11/07/01	22,0	43	22,0	20,7	22,5	22,1	22,5	23,9	21,8	21,1	20,8
13/07/01	17,0	90	22,3	21,5	19,7	23,4	22,1	24,7	22,2	21,5	19,4
16/07/01	22,0	50	21,9	20,4	21,3	22,1	22,3	23,7	22,8	20,7	20,6
19/07/01	22,0	50	22,0	20,6	20,3	21,2	22,0	23,2	22,9	20,9	21,0
24/07/01	20,0	82	22,8	21,4	23,0	22,7	23,0	23,0	23,2	22,0	22,0
27/07/01	19,0	85	23,2	21,7	23,4	23,3	23,4	24,0	24,0	21,5	22,1
1 ^a /08/01	22,0	52	22,8	21,4	21,2	23,2	22,2	22,9	23,7	21,3	20,6
03/08/01	20,1	55	23,2	21,7	22,9	23,7	21,3	23,5	23,7	22,4	21,4
07/08/01	25,8	44	22,5	21,1	20,8	20,1	19,7	20,2	20,7	19,9	19,7
27/08/01	21,9	68	21,9	21,3	20,1	22,0	21,5	22,6	21,6	21,1	21,2

Quadro 9A – Temperaturas dos grãos de milho durante armazenagem no silo
D-06 (secagem com temperatura do ar a 100 °C)

Data	T _{bs}	UR (%)	SENSORES								
			A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
12/04/01	23,7	68	28,4	30,7	30,7	25,0	28,3	29,8	24,7	28,5	31,3
16/04/01	23,7	68	27,7	30,8	30,8	24,7	26,8	29,5	27,6	30,8	30,7
18/04/01	24,0	64	27,3	30,2	30,6	24,5	26,3	29,0	23,7	27,2	30,0
20/04/01	23,0	64	27,1	30,3	30,7	24,3	25,7	28,6	24,4	26,7	30,1
23/04/01	24,0	75	26,7	29,8	31,1	23,7	24,8	27,6	23,6	25,3	28,3
25/04/01	26,0	62	26,5	29,3	30,7	24,0	24,4	26,7	23,4	24,4	27,7
27/04/01	28,0	57	26,0	27,7	30,9	23,8	24,0	26,8	23,6	23,3	26,7
30/04/01	25,0	47	27,0	30,5	32,2	24,1	24,4	26,5	23,2	24,5	27,0
02/05/01	25,0	84	27,2	30,3	32,9	24,4	26,5	25,9	23,0	24,8	27,0
04/05/01	22,3	69	27,2	30,5	34,0	23,1	24,4	26,5	23,2	24,2	27,2
07/05/01	22,0	38	28,0	32,3	37,6	23,5	24,3	26,0	23,2	24,9	27,5
09/05/01	16,9	64	29,2	33,7	39,9	23,7	24,9	26,6	23,5	25,8	28,3
11/05/01	24,0	53	28,3	32,0	39,4	22,0	23,9	25,9	22,2	23,8	26,6
14/05/01	17,0	81	29,8	35,4	42,4	22,7	25,0	27,3	23,8	25,9	27,7
16/05/01	21,0	86	24,2	25,1	26,4	24,5	23,7	24,0	24,0	23,7	24,0
18/05/01	19,0	65	24,0	24,6	25,2	20,5	20,5	22,2	20,5	20,4	22,6
21/05/01	20,0	56	21,0	20,4	21,3	22,4	19,8	19,2	22,3	19,5	19,0
24/05/01	16,0	100	22,7	21,4	22,2	25,8	22,5	21,7	25,5	22,1	20,9
25/05/01	17,0	100	22,6	21,3	22,0	24,9	22,3	22,0	25,3	22,0	20,7
28/05/01	18,0	90	21,5	21,2	21,4	24,8	22,4	20,9	24,8	22,0	20,6
30/05/01	26,2	83	20,2	19,0	19,6	22,7	19,7	19,3	23,0	20,3	18,7
04/06/01	21,9	51	23,0	21,1	20,9	23,7	21,0	20,3	23,2	21,3	20,5
08/06/01	23,0	59	21,3	22,3	22,8	22,6	22,7	21,8	23,2	20,8	21,3
11/06/01	25,0	47	24,1	23,4	24,4	25,0	22,7	23,1	24,7	22,5	22,6
13/06/01	19,0	74	24,0	23,2	23,7	23,1	22,8	21,5	23,5	22,2	22,2
18/06/01	13,2	90	24,1	24,2	24,2	24,5	22,5	23,1	24,0	22,2	22,8
22/06/01	16,0	50	23,6	23,6	23,9	18,8	19,0	21,3	18,5	18,8	21,1
25/06/01	23,0	60	22,4	22,7	23,7	18,8	18,9	20,4	19,0	18,8	21,1
27/06/01	12,8	90	23,1	22,4	24,1	23,5	20,3	20,5	23,0	18,9	19,8
29/06/01	20,2	50	21,3	20,9	21,5	20,7	19,6	19,1	20,5	18,9	17,6
02/07/01	20,2	63	22,3	21,6	22,8	19,2	19,6	19,5	21,1	19,3	18,2
04/07/01	21,1	48	21,0	19,0	19,1	20,8	19,1	19,5	20,6	18,8	19,3
06/07/01	20,0	48	21,9	21,5	22,5	21,4	19,9	19,8	21,6	20,0	19,6
09/07/01	21,2	56	22,6	22,0	23,0	21,4	20,0	20,3	21,1	19,4	19,5
11/07/01	22,0	43	22,7	21,6	20,9	21,2	20,5	19,6	21,6	19,9	20,0
13/07/01	17,0	90	22,6	21,6	22,9	23,0	17,8	20,4	24,2	19,8	19,2
16/07/01	22,0	50	22,3	21,9	21,6	23,0	21,6	20,3	22,9	20,0	20,0
19/07/01	22,0	50	22,6	21,0	20,2	22,5	20,5	20,1	22,7	20,3	20,2
24/07/01	20,0	82	23,4	22,1	23,3	23,0	21,2	21,7	22,7	21,3	20,5
27/07/01	19,0	85	24,0	23,3	23,8	23,8	21,6	22,3	23,8	21,8	21,7
1 ^o /08/01	22,0	52	23,2	22,7	21,8	22,6	22,0	20,7	23,5	21,8	20,7
03/08/01	20,1	55	24,0	23,3	23,2	22,8	22,6	21,7	23,7	22,1	21,2
07/08/01	25,8	44	23,1	22,2	22,3	22,1	20,5	20,5	22,9	20,9	20,4
27/08/01	21,9	68	22,1	22,4	22,3	19,7	20,0	21,5	20,8	20,8	20,8

Quadro 10A – Temperaturas dos grãos de milho durante armazenagem no silo D-07 (secagem com temperatura do ar a 120 °C)

Data	T _{bs}	UR (%)	SENSORES								
			A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
12/04/01	23,7	68	29,3	31,8	33,0	28,3	33,3	31,7	28,5	32,0	30,2
16/04/01	23,7	68	28,8	32,0	33,0	23,6	32,1	32,4	26,5	31,3	30,4
18/04/01	24,0	64	28,3	31,5	32,6	26,7	32,6	32,1	26,1	30,6	30,5
20/04/01	23,0	64	28,1	31,7	32,5	27,9	32,5	32,3	25,6	30,1	30,6
23/04/01	24,0	75	28,0	32,0	32,8	26,2	28,8	30,8	25,9	32,2	33,0
25/04/01	26,0	62	27,3	31,5	32,5	25,6	31,8	33,4	24,3	27,6	30,0
27/04/01	28,0	57	27,6	32,0	32,9	26,4	33,0	28,6	25,0	27,7	30,0
30/04/01	25,0	47	27,9	33,0	33,6	25,7	34,0	25,1	24,8	27,1	29,5
02/05/01	25,0	84	28,2	33,9	34,4	26,5	34,9	27,9	24,5	29,0	28,9
04/05/01	22,3	69	28,4	34,5	35,5	32,0	36,8	26,8	24,5	26,5	28,5
07/05/01	22,0	38	29,0	35,7	37,6	27,3	38,2	45,7	25,1	26,6	28,3
09/05/01	16,9	64	29,9	36,4	39,3	27,2	38,9	46,3	25,4	26,8	28,5
11/05/01	24,0	53	29,2	35,8	39,6	24,6	38,1	44,7	24,0	25,6	27,7
14/05/01	17,0	81	30,3	36,8	41,0	27,0	39,1	44,8	24,9	26,5	28,4
16/05/01	21,0	86	30,2	35,2	39,5	24,3	33,0	39,5	23,3	24,8	26,6
18/05/01	19,0	65	24,2	26,5	27,1	23,2	21,3	23,2	20,5	20,0	21,1
21/05/01	20,0	56	21,6	21,5	22,3	22,0	20,4	20,7	22,4	19,6	19,0
24/05/01	16,0	100	22,8	22,4	22,5	25,0	22,3	22,5	25,4	22,0	20,3
25/05/01	17,0	100	23,0	22,2	22,4	25,0	22,1	22,3	25,4	22,0	20,3
28/05/01	18,0	90	23,2	21,8	21,9	25,0	22,2	21,5	25,4	22,8	20,8
30/05/01	26,2	83	23,8	22,0	21,2	22,4	20,4	17,9	25,5	23,5	22,4
04/06/01	21,9	51	24,6	24,0	24,3	25,6	23,0	25,5	25,8	23,9	23,7
08/06/01	23,0	59	24,4	24,5	24,2	22,5	20,8	21,5	24,5	23,5	23,4
11/06/01	25,0	47	26,3	27,1	23,4	23,0	25,2	25,5	24,3	24,2	24,3
13/06/01	19,0	74	24,0	24,2	25,9	25,1	20,1	23,0	25,3	22,2	21,8
18/06/01	13,2	90	25,2	25,1	25,6	25,7	24,8	24,1	24,1	23,1	21,9
22/06/01	16,0	50	22,6	23,3	23,9	15,1	16,8	21,7	17,5	16,2	18,8
25/06/01	23,0	60	22,2	21,8	23,7	18,6	20,0	23,0	18,5	17,1	19,9
27/06/01	12,8	90	22,1	23,8	23,4	20,2	20,4	18,6	18,3	16,8	18,8
29/06/01	20,2	50	20,9	20,6	21,4	19,1	17,3	19,0	19,8	16,9	16,8
02/07/01	20,2	63	21,0	20,5	22,0	17,9	17,9	20,1	19,5	16,9	17,5
04/07/01	21,1	48	22,2	21,9	22,3	18,4	17,8	19,3	20,5	17,8	18,5
06/07/01	20,0	48	21,9	20,5	21,5	20,4	18,0	21,9	20,4	18,2	19,0
09/07/01	21,2	56	21,8	19,3	21,7	19,0	18,4	18,4	20,5	18,0	19,0
11/07/01	22,0	43	22,5	20,8	22,0	21,5	19,9	21,5	21,0	18,5	19,3
13/07/01	17,0	90	23,1	21,8	21,7	22,9	18,1	20,0	24,0	20,0	18,8
16/07/01	22,0	50	23,2	21,4	20,8	21,6	20,1	19,5	22,5	20,0	19,2
19/07/01	22,0	50	23,1	21,6	21,4	22,6	20,4	20,0	22,7	20,7	19,6
24/07/01	20,0	82	23,5	22,0	22,1	23,0	20,7	20,5	22,2	20,5	20,2
27/07/01	19,0	85	24,7	21,9	23,0	23,5	22,3	22,8	22,6	21,3	20,5
1 ^o /08/01	22,0	52	23,9	23,0	21,9	23,9	22,1	20,8	24,2	22,7	21,1
03/08/01	20,1	55	23,3	23,2	21,4	22,7	22,3	20,9	23,9	22,6	21,4
07/08/01	25,8	44	22,8	21,1	19,9	20,7	21,8	20,8	21,8	21,1	21,2
27/08/01	21,9	68	22,7	23,1	22,4	21,3	20,9	20,0	20,5	20,2	21,0

APÊNDICE B

Quadro 1B – Teores de umidade (b.u.) determinados em amostras do milho aos 1, 60, 120 e 180 dias de armazenagem em silos metálicos, após secagens com temperaturas ambiente e de 80, 100 e 120 °C

Temperatura do Ar de Secagem	Repetição	Tempo de Armazenagem (dias)			
		0	60	120	180
Ambiente	R ₁	11,76	11,73	11,26	10,69
	R ₂	11,59	11,76	10,46	10,74
	R ₃	11,49	11,75	10,80	10,76
	Média (%)	11,61	11,75	10,84	10,73
80 °C	R ₁	12,66	11,65	10,97	11,07
	R ₂	12,55	11,65	11,09	11,28
	R ₃	12,78	11,67	11,18	11,34
	Média (%)	12,66	11,66	11,08	11,23
100 °C	R ₁	12,31	11,90	11,37	11,25
	R ₂	12,33	11,92	11,24	11,34
	R ₃	12,33	11,90	11,21	11,45
	Média (%)	12,32	11,91	11,27	11,35
120 °C	R ₁	12,00	11,88	10,97	11,09
	R ₂	11,95	11,76	11,04	11,10
	R ₃	11,94	11,74	11,18	11,28
	Média (%)	11,96	11,80	11,07	11,16

Quadro 2B – Massa específica (kg.m⁻³) determinada em amostras do milho aos 1, 60, 120 e 180 dias de armazenagem em silos metálicos, após secagens com temperaturas ambiente e de 80, 100 e 120 °C

Temperatura do Ar de Secagem	Repetição	Tempo de Armazenagem (dias)			
		0	60	120	180
Ambiente	R ₁	725,64	764,76	765,00	729,80
	R ₂	734,32	764,52	763,64	729,80
	R ₃	728,36	767,04	754,20	735,56
	Média (%)	729,44	765,44	760,95	731,72
80 °C	R ₁	730,52	760,48	756,56	727,36
	R ₂	731,56	755,48	763,40	735,20
	R ₃	723,20	770,28	758,08	719,08
	Média (%)	728,43	762,08	759,35	727,21
100 °C	R ₁	731,64	758,00	755,80	731,16
	R ₂	718,76	752,84	753,56	724,68
	R ₃	724,68	758,68	749,08	720,44
	Média (%)	725,03	756,51	752,81	725,43
120 °C	R ₁	726,04	746,08	749,88	727,48
	R ₂	723,12	758,64	743,56	720,72
	R ₃	725,16	756,16	750,40	715,20
	Média (%)	724,77	753,63	747,95	721,13

Quadro 3B – Suscetibilidade à quebra (%) determinadas em amostras do milho aos 1, 60, 120 e 180 dias de armazenagem em silos metálicos, após secagens com temperaturas ambiente e de 80, 100 e 120 °C

Temperatura do Ar de Secagem	Repetição	Tempo de Armazenagem (dias)			
		0	60	120	180
Ambiente	R ₁	1,03	0,72	1,35	1,13
	R ₂	1,02	0,43	1,48	1,02
	R ₃	1,03	0,76	0,85	1,44
	Média (%)	1,03	0,64	1,22	1,20
80 °C	R ₁	0,39	1,05	1,47	1,06
	R ₂	0,61	1,11	0,97	1,12
	R ₃	0,89	0,82	0,80	1,25
	Média (%)	0,63	0,99	1,08	1,14
100 °C	R ₁	0,97	1,15	1,51	1,44
	R ₂	0,69	1,41	1,09	1,28
	R ₃	1,10	1,16	1,66	1,36
	Média (%)	0,92	1,24	1,42	1,36
120 °C	R ₁	1,12	1,86	3,09	2,82
	R ₂	1,45	1,89	2,28	3,91
	R ₃	1,39	1,70	3,76	2,50
	Média (%)	1,32	1,81	3,04	3,08

Quadro 4B – Trincas simples (%) determinadas em amostras do milho aos 1, 60, 120 e 180 dias de armazenagem em silos metálicos, após secagens com temperaturas ambiente e de 80, 100 e 120 °C

Temperatura do Ar de Secagem	Repetição	Tempo de Armazenagem (dias)			
		0	60	120	180
Ambiente	R ₁	6,0	10,0	10,0	13,0
	R ₂	5,0	10,0	9,0	16,0
	R ₃	6,0	9,0	16,0	16,0
	Média (%)	5,67	9,67	11,67	15,00
80 °C	R ₁	6,0	8,0	8,0	10,0
	R ₂	8,0	6,0	10,0	7,0
	R ₃	5,0	8,0	7,0	6,0
	Média (%)	6,33	7,33	8,33	7,67
100 °C	R ₁	8,0	8,0	6,0	10,0
	R ₂	4,0	15,0	12,0	16,0
	R ₃	9,0	8,0	12,0	6,0
	Média (%)	7,00	10,33	10,00	10,67
120 °C	R ₁	16,0	21,0	17,0	25,0
	R ₂	18,0	20,0	20,0	22,0
	R ₃	18,0	17,0	11,0	21,0
	Média (%)	17,33	19,33	16,00	22,67

Quadro 5B – Trincas duplas (%) determinadas em amostras do milho aos 1, 60, 120 e 180 dias de armazenagem em silos metálicos, após secagens com temperaturas ambiente e de 80, 100 e 120 °C

Temperatura do Ar de Secagem	Repetição	Tempo de Armazenagem (dias)			
		0	60	120	180
Ambiente	R ₁	0,0	2,0	1,0	5,0
	R ₂	0,0	2,0	2,0	5,0
	R ₃	0,0	1,0	2,0	5,0
	Média (%)	0,0	1,67	1,67	5,00
80 °C	R ₁	0,0	3,0	3,0	1,0
	R ₂	0,0	4,0	4,0	2,0
	R ₃	0,0	0,0	2,0	3,0
	Média (%)	0,0	2,33	3,00	2,00
100 °C	R ₁	5,0	3,0	4,0	6,0
	R ₂	2,0	7,0	2,0	8,0
	R ₃	0,0	6,0	4,0	6,0
	Média (%)	2,33	5,33	3,33	6,67
120 °C	R ₁	17,0	21,0	11,0	9,0
	R ₂	5,0	16,0	10,0	15,0
	R ₃	6,0	20,0	19,0	11,0
	Média (%)	9,33	12,33	13,33	11,67

Quadro 6B – Trincas múltiplas (%) determinadas em amostras do milho aos 1, 60, 120 e 180 dias de armazenagem em silos metálicos, após secagens com temperaturas ambiente e de 80, 100 e 120 °C

Temperatura do Ar de Secagem	Repetição	Tempo de Armazenagem (dias)			
		0	60	120	180
Ambiente	R ₁	0,0	2,0	1,0	9,0
	R ₂	2,0	0,0	2,0	4,0
	R ₃	0,0	2,0	0,0	4,0
	Média (%)	0,67	1,33	1,00	5,67
80 °C	R ₁	2,0	0,0	1,0	1,0
	R ₂	0,0	2,0	1,0	1,0
	R ₃	2,0	0,0	0,0	1,0
	Média (%)	1,33	0,67	0,67	1,00
100 °C	R ₁	3,0	3,0	1,0	9,0
	R ₂	1,0	2,0	1,0	0,0
	R ₃	1,0	4,0	1,0	5,0
	Média (%)	1,67	3,00	1,00	4,67
120 °C	R ₁	9,0	8,0	2,0	8,0
	R ₂	2,0	14,0	3,0	10,0
	R ₃	3,0	15,0	12,0	11,0
	Média (%)	4,67	12,33	5,67	9,67

Quadro 7B – Concentração de CO₂ (%) determinada em amostras de ar coletadas no interior da massa do milho aos 1, 60, 120 e 180 dias de armazenagem no silo D-05 (após secagem a 80 °C)

Silo	Temperatura de Secagem	Sonda - Repetição	Tempo de Armazenagem (dias)			
			0	60	120	180
D – 05	80 °C	S ₁ R ₁	0,048	0,049	0,072	0,054
		S ₁ R ₂	0,036	0,049	0,071	0,054
		S ₁ R ₃	0,036	0,057	0,071	0,054
		Média (%)	0,040	0,052	0,071	0,054
D – 05	80 °C	S ₂ R ₁	0,036	0,046	0,053	0,048
		S ₂ R ₂	0,036	0,047	0,054	0,048
		S ₂ R ₃	0,036	0,046	0,054	0,049
		Média (%)	0,036	0,046	0,054	0,049
D – 05	80 °C	M ₁ R ₁	0,036	0,073	0,069	0,059
		M ₁ R ₂	0,036	0,073	0,069	0,059
		M ₁ R ₃	0,036	0,072	0,068	0,059
		Média (%)	0,036	0,073	0,069	0,059
D – 05	80 °C	M ₂ R ₁	0,036	0,048	0,266	0,296
		M ₂ R ₂	0,036	0,048	0,252	0,281
		M ₂ R ₃	0,052	0,047	0,261	0,306
		Média (%)	0,041	0,048	0,260	0,294

Quadro 8B – Concentração de CO₂ (%) determinada em amostras de ar coletadas no interior da massa do milho aos 1, 60, 120 e 180 dias de armazenagem no silo D-06 (após secagem a 100 °C)

Silo	Temperatura de Secagem	Sonda - Repetição	Tempo de Armazenagem (dias)			
			0	60	120	180
D – 06	100 °C	S ₁ R ₁	0,036	0,057	0,072	0,091
		S ₁ R ₂	0,036	0,053	0,070	0,092
		S ₁ R ₃	0,036	0,053	0,068	0,089
		Média (%)	0,036	0,054	0,070	0,091
D – 06	100 °C	S ₂ R ₁	0,036	0,047	0,051	0,118
		S ₂ R ₂	0,036	0,045	0,051	0,116
		S ₂ R ₃	0,036	0,046	0,052	0,115
		Média (%)	0,036	0,046	0,051	0,117
D – 06	100 °C	M ₁ R ₁	0,036	0,069	0,052	0,086
		M ₁ R ₂	0,036	0,070	0,055	0,085
		M ₁ R ₃	0,036	0,067	0,050	0,085
		Média (%)	0,036	0,069	0,052	0,085
D – 06	100 °C	M ₂ R ₁	0,059	0,037	0,259	0,241
		M ₂ R ₂	0,061	0,038	0,262	0,231
		M ₂ R ₃	0,060	0,038	0,265	0,234
		Média (%)	0,060	0,038	0,262	0,235

Quadro 9B – Concentração de CO₂ (%) determinada em amostras de ar coletadas no interior da massa do milho aos 1, 60, 120 e 180 dias de armazenagem no silo D-07 (após secagem a 120 °C)

Silo	Temperatura de Secagem	Sonda - Repetição	Tempo de Armazenagem (dias)			
			0	60	120	180
D – 07	120 °C	S ₁ R ₁	0,046	0,057	0,056	0,092
		S ₁ R ₂	0,046	0,056	0,061	0,091
		S ₁ R ₃	0,047	0,058	0,063	0,091
		Média (%)	0,046	0,057	0,060	0,091
D – 07	120 °C	S ₂ R ₁	0,130	0,039	0,083	0,056
		S ₂ R ₂	0,129	0,039	0,083	0,058
		S ₂ R ₃	0,126	0,040	0,080	0,056
		Média (%)	0,128	0,039	0,082	0,057
D – 07	120 °C	M ₁ R ₁	0,036	0,061	0,054	0,119
		M ₁ R ₂	0,062	0,061	0,055	0,195
		M ₁ R ₃	0,059	0,061	0,055	0,182
		Média (%)	0,052	0,061	0,055	0,192
D – 07	120 °C	M ₂ R ₁	0,064	0,046	0,129	0,151
		M ₂ R ₂	0,066	0,046	0,132	0,149
		M ₂ R ₃	0,065	0,047	0,130	0,148
		Média (%)	0,065	0,046	0,130	0,149

Quadro 10B – Porcentagem de germinação determinada em amostras do milho aos 1, 60, 120 e 180 dias de armazenagem em silos, após secagens com temperaturas ambiente e de 80, 100 e 120 °C

Temperatura do Ar de Secagem	Repetição	Tempo de Armazenagem (dias)			
		0	60	120	180
Ambiente	R ₁	96	94	88	78
	R ₂	86	88	90	66
	R ₃	90	94	92	64
	R ₄	88	96	90	72
	Média (%)	90	93	90	70
80 °C	R ₁	78	78	80	34
	R ₂	86	78	76	40
	R ₃	88	70	78	44
	R ₄	86	68	72	28
	Média (%)	84.5	73.5	76.5	36.5
100 °C	R ₁	72	52	48	34
	R ₂	88	52	54	30
	R ₃	78	56	38	20
	R ₄	86	50	52	24
	Média (%)	81	52.5	48	27
120 °C	R ₁	64	48	34	08
	R ₂	74	44	40	18
	R ₃	56	52	40	14
	R ₄	68	42	48	18
	Média (%)	65.5	46.5	40.5	14.5

Quadro 11B – Porcentagem de plântulas anormais, pela segunda contagem do teste-padrão de germinação, determinada em amostras do milho aos 1, 60, 120 e 180 dias de armazenagem em silos, após secagens com temperaturas ambiente e de 80, 100 e 120 °C

Temperatura do Ar de Secagem	Repetição	Tempo de Armazenagem (dias)			
		0	60	120	180
Ambiente	R ₁	5	2	4	1
	R ₂	3	4	4	6
	R ₃	1	1	4	6
	R ₄	2	2	2	7
	Média (%)	5,5	4,5	7,0	10,0
80 °C	R ₁	2	2	3	6
	R ₂	3	1	7	2
	R ₃	2	6	7	4
	R ₄	5	6	9	4
	Média (%)	6,0	7,5	13,0	8,0
100 °C	R ₁	6	6	10	11
	R ₂	1	7	9	13
	R ₃	4	8	10	1
	R ₄	4	10	6	6
	Média (%)	7,5	15,5	17,5	15,5
120 °C	R ₁	2	3	6	2
	R ₂	2	3	6	3
	R ₃	4	7	9	3
	R ₄	3	5	6	5
	Média (%)	5,5	9,0	13,5	6,5

Quadro 12B – Porcentagem de sementes mortas, pela segunda contagem do teste-padrão de germinação, determinada em amostras do milho aos 1, 60, 120 e 180 dias de armazenagem em silos, após secagens com temperaturas ambiente e de 80, 100 e 120 °C

Temperatura do Ar de Secagem	Repetição	Tempo de Armazenagem (dias)			
		0	60	120	180
Ambiente	R ₁	3	1	2	1
	R ₂	3	2	1	1
	R ₃	4	2	0	2
	R ₄	5	0	3	3
	Média (%)	7,5	2,5	3,0	3,5
80 °C	R ₁	3	9	7	17
	R ₂	5	10	5	18
	R ₃	4	9	4	14
	R ₄	1	10	5	15
	Média (%)	6,5	19,0	10,5	32,0
100 °C	R ₁	8	18	16	20
	R ₂	5	17	14	19
	R ₃	7	14	21	27
	R ₄	3	15	18	18
	Média (%)	11,5	32,0	34,5	42,0
120 °C	R ₁	16	23	27	31
	R ₂	11	25	24	33
	R ₃	18	17	21	33
	R ₄	15	0	20	26
	Média (%)	30,0	32,5	46,0	61,5

Quadro 13B – Atividade de água (%) determinada em amostras do milho aos 1, 60, 120 e 180 dias de armazenagem em silos, após secagens com temperaturas ambiente e de 80, 100 e 120 °C

Tempo de Armazenagem (dias)	Temperatura de Secagem (°C)			
	Ambiente	80	100	120
0	0,66	0,70	0,70	0,68
60	0,60	0,62	0,60	0,57
120	0,56	0,62	0,60	0,60
180	0,60	0,63	0,63	0,58

Quadro 14B – Análises de aflatoxinas B1, B2, G1 e G2 (ng/g) determinadas em amostras do milho aos 1, 60, 120 e 180 dias de armazenagem em silos, após secagens com temperaturas ambiente e de 80, 100 e 120 °C

Tempo de Armazenagem (dias)	Temperatura de Secagem (°C)			
	Ambiente	80	100	120
0	ND	ND	ND	ND
60	ND	ND	ND	ND
120	ND	ND	ND	ND
180	ND	ND	ND	ND

*ND = não detectada.

Quadro 15B – Análises de zearalenona (ng/g) determinadas em amostras do milho aos 1, 60, 120 e 180 dias de armazenagem em silos, após secagens com temperaturas ambiente e de 80, 100 e 120 °C

Tempo de Armazenagem (dias)	Temperatura de Secagem (°C)			
	Ambiente	80	100	120
0	ND	ND	ND	ND
60	ND	ND	ND	ND
120	ND	ND	ND	ND
180	ND	ND	ND	ND

*ND = não detectada.

Quadro 16B – Análises de fumonisina B₁ (ng/g) determinadas em amostras do milho aos 1, 60, 120 e 180 dias de armazenagem em silos, após secagens com temperaturas ambiente e de 80, 100 e 120 °C

Tempo de Armazenagem (dias)	Temperatura de Secagem (°C)			
	Ambiente	80	100	120
0	2,20	1,79	2,94	3,41
60	12,05	6,08	9,41	7,53
120	7,37	4,92	5,13	4,72
180	3,77	2,68	5,78	4,39

APÊNDICE C

PESAGENS NO INÍCIO DA PESQUISA

Quadro 1C – Pesagens durante a recepção do milho a granel, híbrido Pioneer 30F80, disponibilizado para esta pesquisa na unidade armazenadora da CONAB em Rio Verde, GO

Data	“Ticket”	Peso Bruto	Impurezas	Umidade	Peso Líquido
-	Nº.	kg	%	kg	kg
1 ^o /04/01	4436	31.180	2,6	810,68	28.310
1 ^o /04/01	4437	17.090	4,0	683,60	15.294
02/04/01	4440	31.040	2,8	869,12	28.368
02/04/01	4442	31.990	2,0	639,80	29.657
02/04/01	4443	17.650	1,2	211,80	16.476
02/04/01	4444	30.650	4,0	1.214,00	27.395
03/04/01	4447	17.090	6,4	1.093,76	14.893
03/04/01	4451	30.210	3,2	966,72	27.563
03/04/01	4454	17.260	4,4	759,44	15.553
04/04/01	4465	31.040	2,1	651,84	28.851
04/04/01	4466	17.110	2,2	376,42	15.887
04/04/01	4470	31.910	1,8	574,38	29.751
04/04/01	4471	17.590	2,0	351,80	16.267
05/04/01	4474	31.570	1,6	505,12	29.315
05/04/01	4478	31.580	1,2	378,96	29.587
05/04/01	4480	17.420	2,4	418,08	16.220
05/04/01	4484	31.590	2,4	758,16	29.095
05/04/01	4486	17.420	2,8	487,76	15.959
06/04/01	4490	30.540	2,4	732,96	28.060
06/04/01	4491	17.430	3,2	557,76	15.883
06/04/01	4493	31.400	2,4	753,60	28.920
06/04/01	4494	17.590	3,6	633,24	16.021
06/04/01	4498	30.840	2,6	801,84	28.484
06/04/01	4501	17.680	2,4	424,32	16.284
07/04/01	4502	31.660	2,0	633,20	29.279
07/04/01	4504	17.500	2,4	420,00	16.197
07/04/01	4505	32.710	2,0	654,20	30.582
07/04/01	4506	17.750	2,0	355,00	16.595
07/04/01	4509	32.410	1,4	453,74	30.524
07/04/01	4510	17.660	1,6	282,56	16.598
07/04/01	4513	31.410	1,4	439,74	29.333
08/04/01	4515	17.510	2,0	350,20	16.253
Total	-	795.180	-	19.243,00	733.434

Quadro 2C – Pesagens de milho a granel, híbrido Pioneer 30F80, após secagem de sete cargas do secador com temperatura do ar de secagem de 80 °C

Data	“Ticket”	Horário	Placa	Peso Líquido (kg)
07/04/01	4503	08:45	KBN-4522	30.770
07/04/01	4507	13:50	KAV-3139	16.880
07/04/01	4508	14:00	KAV-3139	16.790
07/04/01	4511	17:35	KAV-3139	16.530
07/04/01	4512	18:00	KAV-3139	17.040
08/04/01	4516	13:50	KBN-4522	27.550
08/04/01	4517	14:15	KBN-4522	14.340
09/04/01	4527	14:55	KBN-4522	30.420
09/04/01	4530	21:10	KAV-3139	16.620
09/04/01	4531	21:30	KAV-3139	16.830
09/04/01	4532	21:50	KAV-3139	16.860
09/04/01	4533	22:10	KAV-3139	16.580
09/04/01	4534	22:30	KAV-3139	8.270
Total	-	-	-	245.480

Quadro 3C – Pesagens de milho a granel, híbrido Pioneer 30F80, após secagem de sete cargas do secador com temperatura do ar de secagem de 100 °C

Data	“Ticket”	Horário	Placa	Peso Líquido (kg)
02/04/01	4441	16:30	KBN-4522	30.420
03/04/01	4449	08:00	KAV-3139	16.480
03/04/01	4450	08:15	KAV-3139	16.490
03/04/01	4452	13:45	KBN-4522	30.770
04/04/01	4459	15:00	KAV-3139	16.450
04/04/01	4461	15:15	KAV-3139	16.750
04/04/01	4462	15:30	KAV-3139	16.950
04/04/01	4463	15:45	KAV-3139	16.920
04/04/01	4467	19:30	KAV-3139	16.600
04/04/01	4468	19:45	KAV-3139	16.140
04/04/01	4469	20:00	KAV-3139	8.350
08/04/01	4519	19:30	KAV-3139	17.120
08/04/01	4520	19:45	KAV-3139	17.420
09/04/01	4524	20:00	Trator	600
Total	-	-	-	237.460

Quadro 4C – Pesagens de milho a granel, híbrido Pioneer 30F80, após secagem de sete cargas do secador com temperatura do ar de secagem de 120 °C

Data	“Ticket”	Horário	Placa	Peso Líquido (kg)
05/04/01	4475	09:00	KBN-4522	31.580
05/04/01	4481	13:30	KAV-3139	16.480
05/04/01	4483	14:20	KAV-3139	16.810
05/04/01	4485	19:00	KBN-4522	30.050
05/04/01	4487	20:00	KAV-3139	16.430
05/04/01	4488	20:15	KAV-3139	16.500
06/04/01	4495	16:15	KAV-3139	16.810
06/04/01	4497	16:25	KAV-3139	16.590
06/04/01	4499	17:45	KBN-4522	29.830
06/04/01	4500	18:05	KBN-4522	14.130
08/04/01	4521	21:30	KAV-3139	16.730
08/04/01	4522	22:00	KAV-3139	16.890
09/04/01	4525	07:30	Trator	1.610
Total	-	-	-	240.440

PESAGENS AO FINAL DA PESQUISA

Quadro 5C – Pesagens de milho a granel, híbrido Pioneer 30F80, após secagem a 80 °C e armazenagem durante 180 dias em silo metálico (D-05)

Data	“Ticket”	Horário	Placa	Peso Líquido (kg)
09/10/01	6595	10:45	BSG-6539	30.320
09/10/01	6606	13:30	BSG-6539	29.390
09/10/01	6609	14:00	BSG-6539	30.010
09/10/01	6612	14:30	BSG-6539	29.080
11/10/01	6671	11:15	BSG-6539	31.320
11/10/01	6672	13:30	BSG-6539	27.730
11/10/01	6681	14:50	BSG-6539	31.370
11/10/01	6684	16:15	BSG-6539	31.510
Total	-	-	-	240.730

Quadro 6C – Pesagens de milho a granel, híbrido Pioneer 30F80, após secagem a 100 °C e armazenagem durante 180 dias em silo metálico (D-06)

Data	“Ticket”	Horário	Placa	Peso Líquido (kg)
09/10/01	6613	15:45	BSG-6539	29.620
09/10/01	6615	16:45	BSG-6539	29.540
10/10/01	6617	07:30	BSG-6539	29.690
10/10/01	6630	08:15	BSG-6539	30.920
10/10/01	6632	08:45	BSG-6539	30.340
10/10/01	6634	09:30	BSG-6539	30.310
10/10/01	6638	10:20	BSG-6539	30.770
10/10/01	6641	13:30	BSG-6539	20.570
Total	-	-	-	231.760

Quadro 7C – Pesagens de milho a granel, híbrido Pioneer 30F80, após secagem a 120 °C e armazenagem durante 180 dias em silo metálico (D-07)

Data	“Ticket”	Horário	Placa	Peso líquido (kg)
10/10/01	6647	14:00	BSG-6539	30.360
10/10/01	6651	14:30	BSG-6539	30.560
10/10/01	6654	15:30	BSG-6539	30.770
10/10/01	6655	16:30	BSG-6539	31.000
11/10/01	6662	07:30	BSG-6539	31.180
11/10/01	6664	08:15	BSG-6539	31.300
11/10/01	6666	09:30	BSG-6539	30.990
11/10/01	6669	10:45	BSG-6539	18.890
Total	-	-	-	235.050