



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
FACULDADE DE AGRONOMIA “ELISEU MACIEL”
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AGROINDUSTRIAL
LABORATÓRIO DE PÓS-COLHEITA, INDUSTRIALIZAÇÃO E QUALIDADE DE GRÃOS**

Campus Universitário UFPel, Cx. Postal: 354 - CEP 96010-900 - Capão do Leão, RS
Fone/fax (53)3275-7258 www.labgraos.com.br e-mail: eliasmc@ufpel.edu.br

TECNOLOGIAS DE PRÉ-ARMAZENAMENTO, ARMAZENAMENTO E CONSERVAÇÃO DE GRÃOS

Prof. Moacir Cardoso Elias, Eng^o Agr^o, Dr., DCTA-FAEM-UFPEL

Prof. Maurício de Oliveira, Eng^o Agr^o, Dr., DCTA-FAEM-UFPEL

Prof. Nathan Levien Vanier, Eng^o Agr^o, Dr., DCTA-FAEM-UFPEL

**PÓLO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ALIMENTOS DA REGIÃO SUL
COREDE-SUL * SCT-RS * UFPEL**

2017

CAPÍTULO I

ASPECTOS EVOLUTIVOS DA ARMAZENAGEM DE GRÃOS NO BRASIL. NÍVEIS E SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO.

1

1.1) SITUAÇÃO DO ARMAZENAMENTO DE GRÃOS NO BRASIL

O crescimento demográfico, a urbanização crescente observada na sociedade brasileira, com cada vez menos pessoas no campo produzindo para alimentar cada vez maiores populações nas cidades, as alterações nos hábitos de consumo da população, a substituição de modelos de produção típicos de subsistência, com comercialização de excedentes, por escalas mais empresariais, ao lado do avanço do conhecimento científico, dentre outros fatores, têm forçado profissionais e produtores à busca do desenvolvimento de tecnologias voltadas para melhorar a conservação dos produtos agropecuários, ampliando conceitos de conservabilidade, com a incorporação cada vez maior de parâmetros qualitativos à idéia quantitativa de perdas que sempre acompanhou a atividade agrícola.

Os modernos sistemas mercadológicos, cada vez mais dinâmicos, juntos com os novos conceitos de globalização, exigem que os processos produtivos se tornem competitivos quanto à qualidade dos produtos e ao preço de comercialização. Este preço, de mercado, precisa cobrir todos os custos de produção e garantir remuneração, com margem de lucro, a todos os participantes da cadeia produtiva, desde a exploração de jazidas donde saem matérias-primas utilizadas na produção de alguns insumos, até a comercialização dos produtos finais industrializados em nível de consumidor.

Num passado não muito distante, na grande maioria dos sistemas produtivos, as margens de lucro desejadas eram acrescentadas aos custos de produção e se obtinha o preço final do produto. Nos últimos tempos, a margem de lucro é a variável dependente, enquanto o preço final dos produtos é estipulado pelo mercado, em função das relações entre oferta e demanda. Logo, quando se quer aumentar as margens de lucro de um sistema produtivo, o principal aspecto a ser trabalhado é o custo de produção.

Cada vez mais aumenta a conscientização de que é preciso se produzir mais com menos. Isto significa que estão mais estreitos e escassos os caminhos para aqueles que atuam no mercado com uma postura amadora. Ninguém mais está disposto a pagar pela incompetência dos outros. Para se produzir bem e sobreviver num mercado competitivo, se fazem necessários profissionalismo e competência.

No Brasil, até a década de 1960-70 do século XX, pouco se sabia sobre processos de secagem forçada ou mecânica de grãos. Desde 1500 até essa época, a história não registra grandes evoluções no armazenamento de seus produtos, uma vez que, na maior parte desse período, as atividades econômicas exercidas eram predominantemente extrativistas, como as de madeira, minérios e borracha. Após cerca de três séculos, começou a haver uma lenta e gradual incorporação de sistemas mais organizados de produção, os quais apresentavam características tipicamente de lavouras de subsistência, com comercialização de excedentes,

¹Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos, Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial da Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel", Universidade Federal de Pelotas (UFPEL).

Material de apoio aos cursos de Graduação em Agronomia e Engenharia Agrícola, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial e ao Pólo de Inovação Tecnológica em Alimentos da Região Sul, convênio da UFPEL com a Secretaria da Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (SCT-RS) e o Conselho de Desenvolvimento da Região Sul (COREDE-SUL).

sendo raras, regionalizadas, e relativamente recentes, as estruturas produtivas com características e escalas empresariais.

A necessidade de conhecimentos sobre conservação de grãos fica evidenciada quando são analisadas as potencialidades brasileiras de produção agrícola e são verificadas as astronômicas perdas de grande parte do que se produz, em função da falta e/ou inadequação tecnológica da infra-estrutura de unidades de secagem e armazenamento.

Atualmente, muitos dos equipamentos e das estruturas de secagem, disponíveis no país, em geral não são apropriados para as condições nacionais e apresentam custos elevados, se tornando incompatíveis com o poder aquisitivo dos pequenos e médios produtores rurais. Se há adequações no sistema de secagem, no armazenamento a situação não é muito diferente. Um pequeno percentual da capacidade armazenadora está localizado nas propriedades rurais e apresenta grandes deficiências estruturais e tecnológicas.

A maior parte da produção brasileira de grãos é proveniente de pequenos e médios produtores. Nesse segmento produtivo, para a armazenagem, são utilizados depósitos, galpões ou paióis tecnicamente deficientes, que estão sujeitos a intensos ataques de insetos, ácaros, roedores e fungos. Ademais, armazenamento sem uma prévia e eficiente secagem, além do previsível e preocupante desenvolvimento de insetos, ácaros e microrganismos, estimula o metabolismo dos próprios grãos, consumindo substâncias de reservas, provocando deteriorações e reduzindo sua qualidade. Umidade e temperatura elevadas no interior das unidades de armazenamento, associadas a deficiências no manejo operacional, potencializam esses efeitos.

A produção brasileira de cereais, grãos leguminosos e oleaginosos apresenta safras quantitativa e qualitativamente irregulares, como reflexos de problemas culturais e de deficiências históricas na política agrícola do país, ou mesmo setorial, que poucas vezes criou possibilidades efetivas de capitalizar a atividade. Em consequência disso, são enormes as dificuldades de implantação de unidades com secadores de escala comercial, o que leva grande número de agricultores, de propriedades familiares ou de pequenas e médias escalas, a esperar a secagem dos grãos na própria planta, no campo, promovê-la em terreiros, ou utilizar outros métodos não forçados, que empregam ar ambiente, na condição natural, sem aquecimento e nem uso de ventiladores, através do retardamento da colheita, com todos os seus inconvenientes.

Quando a secagem é realizada em terreiros ou em estruturas adaptadas, em geral não são empregadas tecnologias adequadas. Na pós-colheita, a agricultura de pequena escala é a que possibilita maior controle operativo, mas mostra menor economia operacional e expõe os grãos a grandes alterações biológicas e riscos de ataques dos organismos associados, no armazenamento, com perdas quantitativas, nutricionais, de qualidade funcional e de sanidade, o que lhes reduz o valor comercial.

Milho e sorgo, por exemplo, são grãos utilizados, no país, predominantemente na alimentação animal. Nos estados do sul, a expansão de seus cultivos tem estreita associação com os avanços da produção de suínos e aves, principalmente, mas também dependem da lucratividade dos produtores com outras culturas de sequeiro, cuja estrutura de produção é similar e pode usar os mesmos insumos e recursos. As tentativas de produção dessas espécies em várzea irrigável, típica de cultura orizícola, buscam alterar esse panorama. Os produtores de soja passam a observar mais o mercado interno, os de arroz a se preocuparem com os estoques e os de trigo com o que acontece na importação. São novas realidades a exigirem novos comportamentos.

Se, por um lado, são observados investimentos na área de produção, em especial os relacionados com a produtividade, por outro lado pouco se tem investido na conservabilidade dos grãos produzidos, o que provoca reflexos diretos na comercialização, a qual enfrenta

altos e baixos nos últimos tempos, embora o recente aumento de interesse verificado nos aspectos qualidade e conservação dos grãos armazenados.

No sul do país, os grãos destinados ao consumo interno, em sua maioria, são produzidos nas pequenas e médias propriedades, assim como acontece com os voltados à exportação, como soja. A diferença fica por conta do arroz. Nessa região, a par das elevadas tecnologias de produção empregadas em algumas culturas, as condições climáticas adversas e a concomitância das épocas de colheita, os aspectos peculiares das diferentes safras, a falta de tecnologias específicas de conservação e as estruturas de secagem deficientes, principalmente, provocam elevados índices de perdas de produtos, o que reduz nos agricultores o estímulo ao aumento de produção, com diminuição de cuidados com alguns aspectos de qualidade dos produtos oferecidos para o consumo e seu valor comercial, conseqüentemente.

Ao reduzir os investimentos na atividade, geralmente os produtores acabam optando por aplicarem seus recursos na etapa de produção, deixando de lado a de pós-colheita. Esse procedimento cria um círculo vicioso: por não terem adequadas estruturas de limpeza/seleção, secagem e armazenamento, os agricultores acabam vendendo sua produção na safra, quando a oferta de produtos é grande e os preços são menores, o que lhes diminui as receitas, também porque não limpando, secando e nem selecionando os grãos, não lhes agregam valor; por não terem receitas suficientes, não investem em estruturas de pós-colheita na propriedade rural. Com isso, grande parte do que poderia ser o lucro da atividade acaba indo para os intermediários, que então dominam o mercado, ditando os preços de compra (dos produtores) e de venda (aos consumidores). Nessa ciranda, perde o produtor e perde o consumidor, ou seja, perde a sociedade.

A utilização do armazenamento em nível de propriedade rural deve ser vista como uma forma de incrementar as produções agrícolas, para reduzir o estrangulamento da comercialização de grãos, ou mesmo evitá-lo, e permitir a regularização dos fluxos de oferta e demanda, com a manutenção de estoques e a racionalização do sistema de transportes, evitando-se, assim, os efeitos especulativos.

Para o agricultor, a armazenagem da produção na propriedade pode representar vantagens, como a redução dos custos de transporte, ou de frete, a comercialização do produto em épocas de menor oferta e de maior demanda (entressafra), com melhor remuneração e aproveitamento dos recursos disponíveis na propriedade para a secagem e o armazenamento adequados, bem como a disponibilidade de produtos com mais qualidade e mais adaptados às condições de consumo e/ou comercialização. Também, o aproveitamento dos resíduos das operações de pré-limpeza e limpeza dos grãos, na alimentação animal, se tratados adequadamente, pode agregar valor ao complexo produtivo.

Para o consumidor, as resultantes de um adequado sistema de armazenamento se refletem nos menores preços pagos, em conseqüência das menores perdas que resultam em maior oferta de produtos, e na melhor qualidade desses, em conseqüência da maior conservabilidade que a armazenagem adequada pode proporcionar. Havendo maior conscientização da população urbana, que é esmagadora maioria dos eleitores, sobre esse fato, menos difícil se torna o estabelecimento de políticas agrícolas mais equilibradas, com criação de programas e destinação de recursos também para a fase de pós-colheita da atividade. A atividade agrícola não termina mais na colheita e a colheita não é mais sinônimo de produto na porteira da propriedade, para quem pratica agricultura de maneira verdadeiramente profissional.

Mesmo com os avanços tecnológicos, o armazenamento em espiga, na palha, e o convencional, em sacaria, ainda se constituem nos principais métodos utilizados pelos produtores de milho no Brasil, principalmente os pequenos. Embora desempenhem papel importante na redução de perdas na pós-colheita, quando bem operados, esses métodos se

caracterizam por dificuldades no controle tecnológico da manutenção da qualidade dos grãos no armazenamento.

Armazenamento em silos ou em armazéns dotados de adequado sistema de termometria, aeração e/ou outros recursos para manutenção de qualidade dos grãos, são as formas mais empregadas por cooperativas, agroindústrias e grandes produtores. Se adequadamente dimensionados e manejados corretamente, esses sistemas podem ser empregados também por médios e pequenos produtores.

As deficiências quantitativas e qualitativas verificadas na armazenagem, nas propriedades rurais, e a concentração da estrutura existente em locais afastados das principais zonas produtoras (Figura 1.1), são pontos de estrangulamento na cadeia agroindustrial dos grãos.

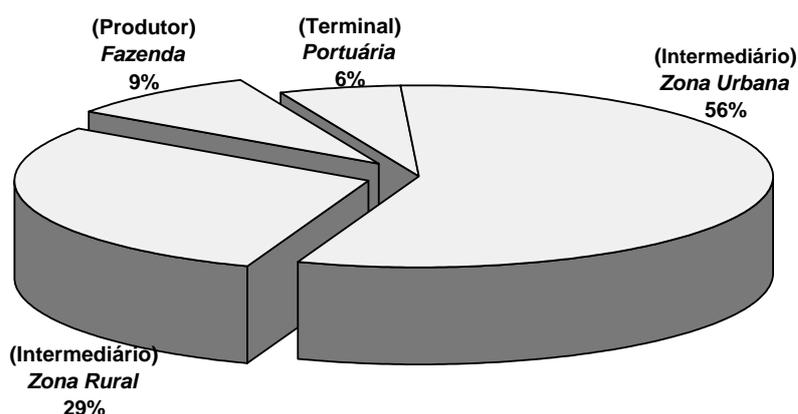


Figura 1.1. Distribuição, por nível, localização e capacidade estática das unidades armazenadoras de grãos no Brasil.

Fonte: CONAB (2016)

Apesar dos avanços da pesquisa em tecnologia pós-colheita, a secagem ainda é praticamente o único método utilizado para a conservação de grãos no Brasil, assim como o é em grande parte do mundo. Esse fato, associado às deficiências na armazenagem em nível de propriedade e à concentração da estrutura nos níveis sub-terminal e terminal, em locais afastados das principais regiões produtoras, determina estrangulamentos na cadeia produtiva, causando grandes perdas à economia do país.

A secagem, forma mais empregada na conservação de grãos, pode ser efetuada antes da colheita, ou após essa. A dependência das condições climáticas, as perdas por tombamento e/ou deiscência, os ataques de insetos, pássaros, roedores e outros animais, a contaminação por microrganismos e o maior tempo de ocupação das lavouras têm sido os fatores mais limitantes na utilização da secagem previamente à colheita, com os grãos ainda na planta-mãe. Por outro lado, a necessidade de estrutura adequada, os custos daí decorrentes e a exigência da adoção de tecnologias compatíveis restringem a utilização da secagem posteriormente à colheita, apesar de sua maior eficiência.

Os pequenos produtores não utilizam a secagem artificial, ou ainda poucos a utilizam, por falta de recursos, de conhecimentos e/ou de tecnologias compatíveis com a sua condição. Já os produtores com mais disponibilidades de recursos financeiros e tecnológicos encontram no curto período das safras agrícolas a necessidade de fazerem grandes investimentos nas estruturas de secagem, armazenamento e transporte, o que resulta em grande ociosidade do capital investido, uma característica marcante da atividade.

Para alguns casos, há tecnologias que permitem retardar ou mesmo substituir a secagem. A preservação dos grãos, a liberação do solo para outros cultivos, a diminuição das perdas do

produto e a dispensa da secagem forçada, dentre outros, são aspectos vantajosos na conservação de grãos com umidade de colheita, sem secagem, pois essa técnica permite melhorar a utilização da estrutura armazenadora disponível na propriedade e a alimentação de animais na entressafra, com um produto de qualidade.

A silagem de grãos úmidos é uma das alternativas. Outra, o retardamento ou mesmo a substituição da secagem pela utilização de ácidos orgânicos de cadeia carbônica curta, como acético e propiônico, associado com a hermeticidade ou não, como método de conservação de grãos, ainda que por períodos não muito longos, representa uma alternativa eficiente, especialmente para pequenos e médios produtores, que não dispõem de estruturas ou recursos para a instalação de complexos sistemas de secagem e de armazenamento.

Para cooperativas, indústrias e grandes produtores, retardar a secagem possibilita racionalizar o dimensionamento e a utilização do sistema, sem aumentar as perdas ou até mesmo as diminuindo, através da redução da ociosidade das estruturas de secagem, dos transportes e de seus reflexos nos fretes.

Num caso ou noutro, não basta guardar os grãos. É preciso conservá-los. E isso exige cuidados, conhecimento, muita dedicação e grande dose de profissionalismo. A capacidade de preservação da qualidade, da sanidade e do valor nutritivo dos grãos, durante o período de armazenagem, não depende só das condições de produção e de colheita, mas das de armazenamento e de manutenção das condições adequadas de estocagem do produto.

Os grãos, apesar das características morfológicas de resistência e rusticidade próprias de cada espécie, estão sujeitos aos ataques de insetos, ácaros, microrganismos, roedores, pássaros e outros animais; às danificações mecânicas, às alterações bioquímicas e às químicas não enzimáticas, desde antes do armazenamento.

Esse conjunto de fatores indesejáveis provoca perdas quantitativas e/ou qualitativas, pelo consumo de reservas e por modificações na composição química dos grãos, redução do valor nutritivo e desenvolvimento de substâncias tóxicas, com diminuição do valor comercial. Por conseqüência, acaba comprometendo a utilização do produto para o consumo e, mesmo, para industrialização, caso não forem adotadas técnicas adequadas e métodos eficientes de conservação.

Nos grãos destinados ao armazenamento, devem ser considerados fatores como: integridade biológica, integridade física, estado sanitário, grau de pureza e umidade.

As operações de pré-armazenamento incluem colheita, transporte, recepção, pré-limpeza, secagem, limpeza e/ou seleção e expurgo preliminar. Nem sempre é necessária a realização de todas as operações. Todavia, a pré-limpeza e a secagem são, geralmente, compulsórias.

As operações de armazenamento e de manutenção dependem do próprio sistema de conservação, e podem incluir movimentação, acondicionamento, aeração, transilagem, intra-silagem, expurgo, combate a roedores, proteção contra o ataque de pássaros e retificação da secagem e/ou limpeza.

O tipo de manutenção a aplicar, sua periodicidade e sua intensidade ficam na dependência de resultados observados ao longo do período de armazenamento e das medidas de controle de qualidade obtidas em testes. Dentre outros, devem ser considerados parâmetros como variação de umidade relativa e temperatura do ar, umidade e temperatura dos grãos, grau de desenvolvimento de microrganismos, presença de insetos, ácaros, roedores e outros animais, incidência de defeitos e variação de acidez do óleo.

A qualidade dos grãos durante o armazenamento deve ser preservada ao máximo, em vista da ocorrência de alterações químicas, bioquímicas, físicas, microbiológicas e da ação de seres não microbianos a que estão sujeitos. A velocidade e a intensidade desses processos

dependem da qualidade intrínseca dos grãos, do sistema de armazenagem utilizado e dos fatores ambientais durante a estocagem.

As alterações que ocorrem durante o armazenamento são refletidas em perdas quantitativas e/ou qualitativas. As quantitativas são as mais facilmente observáveis, refletem o metabolismo dos grãos e/ou organismos associados, resultando na redução do conteúdo da matéria seca dos grãos. Já as qualitativas são devidas, sobretudo, às reações químicas e enzimáticas, à presença de materiais estranhos, impurezas e ao ataque microbiano, resultando em perdas de valor nutricional, germinativo e comercial, com a possibilidade da formação de substâncias tóxicas no produto armazenado, se o processo não for adequadamente conduzido.

Dentre as perdas qualitativas, especial cuidado deve receber a ocorrência de grãos ardidos e/ou contaminados por fungos produtores de micotoxinas, que desvalorizam o produto e ameaçam a saúde humana e a dos rebanhos.

A boa conservação de grãos começa na lavoura. O ataque de pragas e de microrganismos, antes da colheita, pode reduzir a conservabilidade durante o armazenamento, mesmo que a limpeza e a secagem sejam bem feitas.

À medida que passa o tempo após a maturação, diminui a resistência dos grãos ao ataque das pragas e dos microrganismos. A colheita deve, portanto, ser realizada no momento próprio e de forma adequada, pois o retardamento e as danificações mecânicas podem determinar que sejam colhidos grãos com qualidade já comprometida ou com pré-disposição para grandes perdas durante o armazenamento.

1.2) EVOLUÇÃO DO ARMAZENAMENTO NO BRASIL

A história econômica do Brasil pode ser dividida em dois grandes ciclos, e o armazenamento de produtos tem íntima relação com eles.

a) Ciclos extrativistas:

Na época, a grande preocupação da armazenagem era a guarda de produtos (madeira, minérios, borracha), para protegê-los contra roubos e intempéries, e menos para a conservação de suas características naturais. A então escassez de conhecimentos científicos e a natureza dos produtos determinavam aqueles procedimentos.

b) Ciclos produtivos:

Com os ciclos da cana-de-açúcar, do cacau, do café e do gado, principalmente, ocorrem grandes modificações nos sistemas econômicos, sociais e políticos do país. Nessa época, as atividades de produção em larga escala são regionalizadas. O Brasil tem expressiva população rural e agricultura tipicamente de subsistência, com vendas de excedentes. As unidades armazenadoras são quase exclusivamente convencionais, com os produtos embalados, e se localizam nas regiões litorâneas, predominantemente, com expansão para a parte centro-sul do país, com grande destaque para o café, onde algodão e amendoim também marcam suas épocas. Só mais recentemente, com a entrada da soja e outros fatores, se altera esse contexto.

No início da segunda metade do Século XX, é implantada a indústria metal-mecânica no país. Com ela, são ampliadas as malhas rodoviárias e as fronteiras agrícolas avançam. Simultaneamente, com a reestruturação universal do pós-guerra, a revolução verde, a disseminação do conhecimento e outros acontecimentos no exterior, são verificados grandes avanços tecnológicos, em todo o mundo, que acabam tendo reflexos no Brasil.

Evolução			
1500 →	1960/70	→ após 1970	2000
(Sem mudanças significativas nos modelos de produção agrícola, nem na tecnologia de armazenagem)	(Instala-se a indústria metal-mecânica no país. Desenvolvem-se a mecanização, a granelização e a automação)		(Lei 9973, de armazenagem)

Figura 1.2. Síntese esquemática da evolução da produção e do armazenamento de grãos no Brasil.

Com o ciclo da soja, a partir da década de 70 do último século, novas áreas de cultivo são incorporadas, as existentes são expandidas e a produtividade aumenta, mas o período de colheita de cada cultura permanece praticamente o mesmo. A mecanização é introduzida desde o preparo do solo até a colheita e o transporte, permitindo o cultivo de grandes áreas e passando a haver grande oferta de grãos em cada período de safra. Em conseqüência, a colheita também acaba tendo de ser realizada em curto espaço de tempo, aproximadamente dois meses por safra, resultando em desuniformidade de umidade nos grãos e sendo necessária a secagem forçada, também denominada artificial ou mecânica.

A conservabilidade dos grãos depende de sua própria fisiologia e da atividade dos organismos associados. A velocidade e a intensidade da ação destes fatores dependem das características do grão e do ambiente, principalmente com relação à água disponível e à temperatura.

O desenvolvimento de ciências como a microbiologia (a partir das últimas décadas do Século XIX) e a bioquímica (a partir da segunda metade do Século XX) têm proporcionado o embasamento científico para um melhor entendimento dos fenômenos e processos metabólicos vinculados à deterioração dos grãos, assim como de outros produtos agrícolas, da mesma forma que a evolução da engenharia tem criado condições técnicas, científicas e operacionais que permitem a geração de tecnologias voltadas à sua conservação.

Os reflexos efetivos de todos esses fatores, no Brasil, se fazem sentir mais nitidamente a partir dos anos 1960/70, quando então o armazenamento evolui da concepção de guarda para a de guarda e preservação (Figura 1.2). É, então, criado o PRONAZEM (Programa Nacional de Armazenagem), com financiamentos em condições creditícias incentivadoras dos investimentos. As novas unidades armazenam o produto a granel, as quais se somam às convencionais existentes e as novas fronteiras agrícolas geram necessidades de construções de silos e armazéns no interior, nas regiões centro-oeste, norte e nordeste, ou seja, a localização litorânea centro-sul passa a ser acrescida de unidades resultantes da interiorização das produções, aumentando a participação de unidades em nível de produtor, que se somam às intermediárias e terminais. Implanta-se, de fato, uma rede armazenadora de grãos com características nacionais.

No início do século XXI, a rede de armazenamento instalada no Brasil ainda apresenta capacidade estática para atender toda produção de grãos. Entretanto, com distribuição espacial inadequada e qualidade do armazenamento deixando a desejar, com a quase totalidade das unidades localizadas nos estados de Rio Grande do Sul, São Paulo, Paraná, Minas Gerais, Santa Catarina, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Bahia e Rio de Janeiro, a distribuição ainda predominantemente litorânea demonstra que as estruturas de armazenamento não acompanham a maior característica da atividade agrícola do país, ou seja, a expansão das fronteiras para o interior.

Com a interiorização da agricultura e a incorporação de novas áreas ao processo produtivo (as novas fronteiras agrícolas), há necessidade de instalação de novas unidades de armazenamento nos locais de produção e também de melhoria das existentes, de acordo com os preceitos técnicos modernos.

Muito ainda há por fazer, numa área relativamente nova como conhecimento e prática, mas que tem se caracterizado como gargalo na evolução da cadeia produtiva de grãos e seus derivados. O armazenamento na propriedade, realizado em boas condições técnicas, permite aumento do poder de barganha do produtor, de qualidade e regularidade de oferta de produtos para o consumidor, com reflexos diretos na estabilidade dos preços.

Se bem operado, o armazenamento a granel permite os melhores desempenhos técnicos de conservabilidade. Entretanto, produto mal armazenado em silo tem muito mais perdas do que se mal armazenado em sacaria. O sistema convencional permite a autoventilação por convecção natural do ar. Como os silos apresentam comportamento semi-hermético, há necessidade do uso de ventilação forçada, a aeração, para reduzir e uniformizar a temperatura dos grãos, visando controlar o metabolismo deles próprios e dos organismos associados.

1.3) NÍVEIS DE ARMAZENAMENTO

Organizacionalmente, o complexo de armazenamento de grãos, assim como de outros produtos agrícolas, pode ser dividido em três níveis, tendo o intermediário dois subníveis. São eles:

a) armazenamento em nível de produtor, com unidades localizadas na unidade de produção.

b) armazenamento em nível intermediário, com os subníveis coletor (próximo aos locais de produção) e sub-terminal (nos entroncamentos rodohidroferroviários).

c) armazenamento em nível terminal, com unidades basicamente portuárias, localizadas nos centros de exportação, de distribuição de produtos e/ou nos grandes centros consumidores.

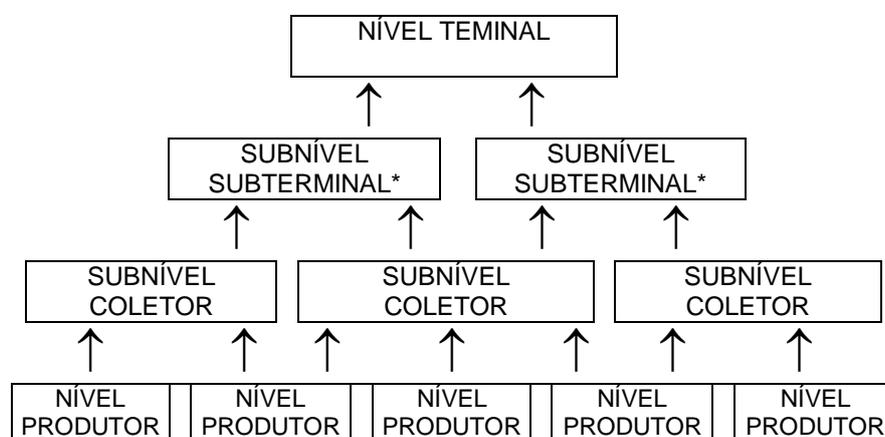


Figura 1.3. Diagrama sintético de rede de armazenagem de grãos.

Sem uma boa rede de armazenamento, não é possível a um país ter uma boa política de abastecimento. Sem uma adequada política de abastecimento, não há meios eficazes de controle de preços de alimentos e outros produtos de origem agropecuária.

Produção, armazenamento, agroindustrialização e distribuição constituem os principais componentes da cadeia produtiva dos agronegócios, os quais têm efeitos decisivos nos preços dos alimentos e demais produtos de origem agropecuária.

1.3.1. UNIDADES EM NÍVEL DE PRODUTOR

No Brasil, as unidades de armazenamento, em nível de produtor, correspondem a cerca de 9% da capacidade instalada (Figura 1.1) e pertencem à iniciativa privada. Apresentam como principais características:

- constituírem quase exclusivamente unidades individuais, unitárias. Por questões culturais e econômicas, são pouco freqüentes os armazéns comunitários, cooperativos, em sistema associativista;
- receberem o produto bruto, sujo e úmido, diretamente da lavoura;
- possuírem alta relação proporcional entre as estruturas de pré-armazenamento e de armazenamento. Por receberem grãos diretamente da lavoura, que não foram submetidos a nenhuma operação de pós-colheita, as capacidades instaladas de recepção, limpeza e secagem necessitando ser proporcionalmente grandes em relação à capacidade instalada para armazenamento;
- utilizarem a estrutura de pré-armazenamento durante pouco mais de dois ou quatro meses (colheita) por ano, a qual permanece ociosa nos outros quase dez (onde só há uma safra por ano, como no sul do Brasil), ou oito meses (onde só há duas anuais), respectivamente;
- terem baixa cadência operacional (equipamentos com baixas velocidades ou pequenas capacidades horárias de operação, o que determina fluxos lentos). Numa unidade armazenadora típica de propriedade rural, uma correia transportadora com capacidade de 10 toneladas por hora pode ser considerada grande. Numa unidade portuária, como a do terminal da PORTOBRAS, em Rio Grande-RS, há correias cuja capacidade de transporte atinge 500 toneladas de grãos por hora;
- constituírem unidades versáteis. A diversificação de produção operada na propriedade, a diversidade de produtos e o pequeno volume relativo da atividade dos pequenos e médios produtores os obrigam a usar armazéns convencionais, de sacaria, em grande parte das vezes. Em locais de diversificação de produção, são armazenados diversos produtos (milho, trigo, soja, feijão, sorgo) no mesmo armazém. Nas propriedades maiores, tem havido grande aumento no armazenamento a granel, principalmente em silos metálicos. É o que acontece, por exemplo, com as culturas de arroz irrigado, milho e soja, em muitas áreas das regiões sul, centro-oeste e sudeste, assim como em algumas das regiões norte e nordeste (Tabela 1.3);
- apresentarem capacidade dinâmica de armazenamento baixa ou baixo índice de rotação em relação à sua capacidade estática. Como só recebem grãos por ocasião das colheitas, não há rotatividade de produto, ao contrário do que acontece com os armazéns de cerealistas, agroindústrias, cooperativas e portos, por exemplo.

A armazenagem convencional, ainda muito empregada no país (Tabela 1.1), utiliza como armazéns e/ou depósitos estruturas de construção relativamente simples, de alvenaria ou madeira, na quase totalidade, com o acondicionamento dos grãos em sacaria. A maior área específica de trocas térmicas e hídricas; o maior risco de contaminação microbiana e de ataques de insetos, ácaros e roedores durante a armazenagem, os custos das embalagens e a menor operacionalidade se constituem nas mais importantes limitações do armazenamento convencional.

Também a tradição; a versatilidade de utilização das instalações, que permite o armazenamento, na mesma construção, de mais de uma espécie e/ou cultivar de grãos, com destinos distintos; a utilização das edificações para outros fins que não a armazenagem, como a guarda de maquinaria agrícola e fertilizantes; o custo de investimento bastante inferior em relação ao silo, ou ao armazém graneleiro, tornam o sistema convencional predominante em nível de propriedade rural.

No sistema convencional de armazenamento, a principal vantagem está na versatilidade, pois esse permite a estocagem de vários produtos, na mesma construção, embora não favoreça a automação no manuseio, nem no controle da qualidade, durante a armazenagem. Nesse sistema, nas mesmas condições ambientais, para manter similar qualidade nos produtos, não é possível se realizar eficientemente a aeração forçada, devendo os grãos ser armazenados com cerca de um ponto percentual de umidade a menos do que a admitida para armazenamento a granel, em silos ou armazéns dotados de sistema de termimetria e aeração.

Com exceção da região do arroz irrigado e de algumas grandes propriedades produtoras de milho, trigo e soja, há predominância do armazenamento de grãos pelo sistema convencional, que é mais oneroso, operacionalmente mais trabalhoso e tecnicamente menos eficiente (ver item 1.4.1). É preciso introduzir melhorias no sistema.

A armazenagem a granel se caracteriza pela dispensa do uso de embalagem, utilizando, para a estocagem dos grãos, estruturas como silos, armazéns graneleiros e/ou granelizados, metálicos ou de concreto, ou outros materiais de construção disponíveis ou adaptados, principalmente em situações emergenciais. O maior aproveitamento do espaço disponível e a menor dependência de mão-de-obra são aspectos vantajosos em relação ao sistema de armazenagem convencional. Ainda assim, para manutenção da qualidade, são necessários dispositivos como termometria e aeração.

Em qualquer um dos sistemas ou métodos de armazenamento na propriedade, a grande vantagem é que o produtor aumenta seu poder de barganha. Ao serem reduzidas as perdas qualitativas e quantitativas, diminuem os efeitos de safra e entressafra. Produtor e consumidor perdem menos.

O aumento da participação do armazenamento na propriedade rural deve ser incentivado para diminuir perdas pelos produtores, estabilizar as ofertas de produtos com melhor qualidade e reduzir os preços pagos pelos consumidores, como ocorre em países como Estados Unidos, França, Canadá e Argentina, por exemplo. O nível tecnológico a ser recomendado deve ser compatível com a capacidade de investimento de cada produtor. Para pequenos, não adiantariam indicações de tecnologias onerosas e sofisticadas pois, não havendo descompassos nas relações entre custos e benefícios, poderiam levar os produtores à falência.

1.3.2) UNIDADES EM NÍVEL INTERMEDIÁRIO

Nesse nível, estão incluídas a maior quantidade e a maior capacidade de armazenamento de grãos do Brasil (Figura 1.2). Nele predominam os silos e os armazéns de cooperativas, cerealistas, atacadistas, agroindústrias e companhias de armazenamento dos governos estaduais (CESA-RS e congêneres) e federal (CONAB).

Nas últimas décadas, as cooperativas agrícolas que permaneceram com atividades apenas no setor primário faliram ou enfrentam grandes dificuldades financeira e operacionais, enquanto progrediram as que diversificaram e verticalizaram (industrializaram) suas atividades.

1.3.2.1) UNIDADES DO SUBNÍVEL COLETOR

São localizadas na região produtora e têm como principais características:

- apresentarem relação proporcional mediana entre estruturas para operação de pré-armazenamento e de armazenamento;
- serem unidades coletivas, com produtos de múltiplos produtores;
- permitirem cadência operacional média;
- admitirem bom nível de automação operacional;

- trabalharemos simultaneamente com produtos brutos (úmidos e sujos) e acabado (secos e limpos). Por esse fato, em muitos casos, têm que dispor de estruturas operacionais, técnicas e administrativas que atendam a complexidade necessária ao trabalho com grãos que chegam diretamente da lavoura e com a intensidade de fluxo que permita rapidez na expedição;
- apresentarem baixa capacidade dinâmica de armazenamento ou baixo índice de rotação em relação à sua capacidade estática.

1.3.2.2) UNIDADES DO SUBNÍVEL SUBTERMINAL

São localizadas nos pontos estratégicos de captação e distribuição de cargas. Em geral, são construídas nos entroncamentos rodohidroferroviários, próximas às regiões de grande consumo ou exportação e apresentam como principais características:

- só trabalharemos com produto acabado (seco e limpo), muitas vezes já classificado, para atender as especificações necessárias à comercialização;
- terem pequena relação proporcional entre estruturas para operação de pré-armazenamento e de armazenamento. Como os grãos ingressam na unidade já limpos, secos e selecionados (quando for o caso), não há necessidade de a unidade contar com ampla estrutura de máquinas de pré-limpeza, secagem, limpeza/seleção;
- apresentarem mediana capacidade dinâmica de armazenamento ou médio índice de rotação em relação à sua capacidade estática, com alta cadência operacional, havendo predominância de operações automatizadas;

1.3.3) UNIDADES EM NÍVEL TERMINAL

São localizadas nos grandes centros de exportação e/ou de consumo. Predominam unidades portuárias de empresas públicas, dos governos federal e estaduais, como PORTOBRAS, IBC (Instituto Brasileira do Café), CESA-RS (Companhia Estadual de Silos e Armazéns, do Rio Grande do Sul), dentre outras, mas há também de cooperativas e de outras empresas da iniciativa privada. São as responsáveis pela movimentação de grande parte dos grãos destinados à exportação, como as unidades de Paranaguá, Rio de Janeiro, Rio Grande, Santarém e Santos. Suas principais características são:

- apresentarem altíssima cadência operacional e alta capacidade dinâmica de armazenamento ou alto índice de rotação em relação à sua capacidade estática, com predominância absoluta de operações automatizadas. A alta velocidade e o grande volume de carga movimentada são as principais características das operações nessas unidades;
- terem insignificante relação proporcional entre estruturas para operação de pré-armazenamento e de armazenamento, havendo apenas estrutura para retificações de índices de umidade e/ou de impurezas. De maneira análoga ao que ocorre nas subterminais, como os grãos ingressam na unidade já limpos, secos e selecionados (conforme o caso), não há necessidade de a unidade contar com estrutura de máquinas de pré-limpeza, secagem, limpeza/seleção;
- apresentarem pequeníssima estrutura instalada para o sistema de manutenção de qualidade, porque o tempo de permanência dos grãos na unidade armazenadora é mínimo, não passando, em alguns casos, de poucas horas, ou de alguns dias, na maior parte das vezes;
- em geral, nelas não ocorrerem perdas por deterioração, pelo reduzido tempo de permanência do produto nas unidades armazenadoras. Também quase não há perdas

operacionais. As impurezas que se separam numa operação de transporte, por exemplo, são reincorporadas na carga;

- os produtos são expedidos conforme chegam. Quando necessários, os tratamentos devem ser previamente executados.

1.4) UNIDADES E SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO

Os métodos de armazenamento de grãos utilizam unidades armazenadoras que podem ser agrupados em sistemas. Os principais sistemas usados no Brasil são: convencional, a granel, hermético e emergencial.

O sistema convencional é o mais diversificado, tendo desde unidades bastante rústicas, como os paióis, galpões ou celeiros, até unidades maiores e mais tecnificadas, como os armazéns convencionais. Já nas unidades de armazenamento a granel, há os silos, os armazéns graneleiros e os armazéns granelizados, em geral dotados de sistemas de termometria e aeração, para grandes volumes, assim como as caixas e tulhas, por exemplo, para pequenas quantidades. No sistema hermético, que não se aplica para grandes volumes, predominam os tonéis, as bombonas e outros recipientes, para quantidades pequenas, e “silos plásticos” para aquelas um pouco maiores, enquanto nos emergenciais os modelos mais utilizados são “as piscinas de sacaria”, as unidades infláveis e estruturais, além de outras estruturas adaptadas.

1.4.1) CONVENCIONAL

Sistema convencional é aquele em que os grãos são armazenados dentro de embalagens, em geral sacarias.

As unidades armazenadoras desse sistema são paióis, galpões ou celeiros e armazéns convencionais. São unidades não herméticas, onde a conservação dos grãos, já secos, ocorre por ventilação não forçada, através de convecção natural do ar ambiente, não aquecido. Permitem individualização da carga. A inspeção e a coleta de amostras podem ser feitas diretamente.

Os paióis, destinados ao armazenamento de milho em espigas, na palha, em geral utilizam tecnologias muito rudimentares, com sistema de controle de qualidade bastante deficiente. São interessantes em regiões de invernos rigorosos e para quem alimenta animais na própria propriedade com milho, sabugo e palha, por exemplo. Mesmo em paiol-secador, as perdas costumam ser grandes, pelas dificuldades que o ar encontra para atingir os grãos na intensidade e na velocidade necessárias para que ocorra secagem rápida e até umidade reduzida.

Podem ser introduzidas melhorias nas unidades, como piso suspenso dotado de proteção anti-rato e paredes que facilitem a aeração natural. É o que ocorre nos paióis telados, nos ripados e mesmo nos de paredes de bambu ou “pau a pique”, os quais terão sua eficiência melhorada se forem dotados de lonas laterais presas em forma de cortina tipo persiana, que possibilitem fechar em dias de chuva ou mesmo em períodos muito úmido, mas se mantendo suspensas, para favorecer a ventilação, quando em condições favoráveis.

Outra melhoria é a conjugação da facilidade de ventilação com a possibilidade de realização de expurgo, conforme ocorre em paióis-secadores e de expurgo, cujo exemplo mais conhecido é o modelo “Chapecó”.

Os galpões são microarmazéns ventilados. Embora sejam mais versáteis do que os paióis, pela possibilidade que oferecem de armazenamento de vários produtos na mesma unidade, apresentam eficiência conservativa menor.

Podem ser introduzidas melhorias nas unidades, como piso suspenso dotado de proteção anti-rato, colocação da porta na parte inferior da parede, do lado da maior incidência dos ventos dominantes, e janela(s) na parte superior da parede oposta, para facilitar a circulação do ar por convecção a partir das alterações de temperatura e densidade do ar ambiente que ocorrem quando em contato com os grãos mais aquecidos por metabolismos no interior do galpão.

Os armazéns convencionais são utilizados para armazenamento em maior quantidade do que nos paióis e nos galpões. São mais empregados em cerealistas e em cooperativas, que armazenam várias espécies de grãos simultaneamente na mesma unidade. Suas principais características são:

- pé direito, com altura de 6 metros ou, em casos excepcionais, 7 metros;
- existência de lanternins para facilitar a circulação do ar e evitar o acúmulo de calor no interior do armazém;
- a presença de dispositivos de combate ao incêndio deve ser rigorosamente observada;
- a iluminação deve variar de 20 a 40 lux, sendo evitada a incidência direta dos raios solares sobre a sacaria;
- rua principal, com largura 10 a 15% (espaço de segurança) maior do que o equipamento mais largo que precise ser utilizado, como esteiras ou empilhadeiras. As ruas secundárias, entre os blocos, servem para movimentação de equipamentos, como empilhadeiras, e devem ter largura compatível com sua movimentação;
- entre um bloco e a parede deve ser deixada distância de 0,5m, para inspeção, amostragem e expurgo (cobrir com lona). A parede não é construída para suportar peso de pilha;
- cada bloco deve ser formado por várias pilhas. Quando feita a desocupação verticalmente (várias pilhas justapostas), podem ser retirados 25% dos sacos, por exemplo, e reocupar o espaço. Quando da desocupação horizontal (base larga), só se pode reocupar o espaço após a retirada de toda a pilha;
- o piso deve ser impermeabilizado. Mesmo assim, é importante a utilização de estrados para facilitar a ventilação da parte inferior e dificultar a condensação de umidade;
- a maior dimensão horizontal de uma pilha não deve ultrapassar 19m. Mais do que isso dificulta o trabalho do carregador de sacos, cuja função é denominada braçagista.
- a disposição dos sacos nas pilhas deve ser uniforme para evitar que a pilha tombe e facilitar as posteriores contagens de conferência de estoques. Se não houver boa disposição da sacaria, pode haver ruptura de algum um saco e os grãos que se coloquem entre os sacos dificultem a circulação de ar, pelo aumento da pressão estática, diminuindo a conservabilidade do produto.
- a soma dos espaços não ocupados equivale a 20% da área do armazém, sendo aproveitados 80% da área construída.

Assim:

Fórmula 1
$S (\text{útil}) = 0,8S$ onde $S = \text{área do piso}$ $S (\text{útil}) = \text{área útil}$

Fórmula 2
$V (\text{útil}) = 0,8S (h-1,5m)$ onde $V (\text{útil}) = \text{volume útil}$

Sendo: S a superfície ou área do piso do armazém, h a altura da parede (pé direito) e 1,5m a distância recomendada entre a parte mais alta da pilha e o telhado. Por questões operacionais e de segurança, a altura máxima da pilha deve ser de 4,5 ou 5,5m.

O pé direito dos armazéns convencionais geralmente é de 6m, ou excepcionalmente, 7m. Assim, a pilha terá 4,5 ou 5,5m de altura. O estrado pode ser simples (0,15m de altura), ou duplo (0,25m de altura).

Podem ser construídas pilhas contíguas, formando blocos. Entre as pilhas ou os blocos e as paredes, deve ficar um espaço livre mínimo de 0,5m, para evitar que o peso de uma pilha mal aprumada comprometa a estrutura da parede, permitir a circulação do ar e das pessoas, possibilitando também a cobertura das pilhas ou dos blocos quando da operação de expurgo. Os demais espaços entre as pilhas e/ou os blocos são necessários para circulação do ar, movimentação das pessoas, dos sacos, das máquinas carregadoras, dos equipamentos, etc.

Considerando-se como “pé direito” do armazém a altura de 6m (seis metros) e que a distância entre a camada superior da pilha (em seu nível mais alto) e a altura do “pé-direito” seja de 1,5m (um metro e meio), conforme as razões já expostas, fica prático o cálculo da capacidade armazenadora de um armazém convencional, em função de suas dimensões, com a aplicação dos dados da Tabela 1.1.

Tabela 1.1. Capacidade armazenadora de armazém convencional em função de suas dimensões

Grão	Dimensões dos sacos empilhados*			(para **h = 6m) nº de sacos por		Toneladas por	
	a	b	c	m ³	m ²	m ³	m ²
Arroz beneficiado	0,81	0,54	0,20	8,10	36,45	0,486	2,18
Arroz em casca	0,92	0,61	0,20	6,29	28,30	0,377	1,69
Feijão	0,82	0,54	0,20	7,98	35,91	0,478	2,15
Milho	0,80	0,53	0,20	8,36	37,62	0,502	2,26
Trigo	0,79	0,52	0,20	8,63	38,83	0,518	2,33
Soja	0,79	0,52	0,20	8,63	38,83	0,518	2,33

* a = comprimento; b = largura; c = altura dos sacos

** h = altura da parede.

Para o manuseio da Tabela 1.4, podem ser considerados os exemplo a seguir:

1) Calcular a capacidade armazenadora de um armazém convencional de 40m de comprimento e 20m de largura, com altura de “pé direito” de 6m e altura efetiva de pilha de 4,5m, destinado a armazenar feijão em sacaria de juta.

Resolução:

1.1) Cálculo da área útil (Fórmula 1):

$$\text{Área total} = 40\text{m} \times 20\text{m} = 800\text{m}^2$$

$$\text{Área útil} = 800\text{m}^2 \times 0,8 = 640\text{m}^2$$

$$\underline{\text{Área útil} = 640\text{m}^2}$$

1.2) Cálculo da capacidade armazenadora:

Capacidade armazenadora = área útil X número de sacos por metro quadrado (Tabela

1.4)

$$\text{Capacidade armazenadora} = 640\text{m}^2 \times 35,91 \text{ sacos.m}^{-2}$$

$$\underline{\text{Capacidade armazenadora} = 22.982 \text{ sacos}}$$

2) Calcular a capacidade armazenadora de um armazém convencional de 40m de comprimento e 20m de largura, com altura de “pé direito” de 6,5m e altura efetiva de pilha de 5m, destinado a armazenar feijão em sacaria de juta.

Resolução:

2.1) Cálculo da área útil (Fórmula 1):

$$\text{Área total} = 40\text{m} \times 20\text{m} = 800\text{m}^2$$

$$\text{Área útil} = 800\text{m}^2 \times 0,8 = 640\text{m}^2$$

$$\underline{\text{Área útil} = 640\text{m}^2}$$

2.2) Cálculo do volume útil (Fórmula 2):

$$\text{Volume útil} = \text{Área útil} \times \text{altura da pilha}$$

$$\text{Volume útil} = 640\text{m}^2 \times 5\text{m}$$

$$\underline{\text{Volume útil} = 3.200\text{m}^3}$$

2.3) Cálculo da capacidade armazenadora:

1.4) Capacidade armazenadora = área útil X número de sacos por metro quadrado (Tabela)

$$\text{Capacidade armazenadora} = 3.200\text{m}^3 \times 7,98 \text{ sacos.m}^{-3}$$

$$\underline{\text{Capacidade armazenadora} = 25.536 \text{ sacos}}$$

1.4.2) UNIDADES PARA ARMAZENAMENTO A GRANEL

Nessas unidades, os grãos são armazenados sem de embalagens. Constituídas de silos e armazéns graneleiros ou granelizados, consistem em sistemas semi-herméticos, onde a conservação dos grãos, já secos, ocorre por ventilação forçada do ar ambiente, não aquecido, através da ação de ventiladores, em processo conhecido por aeração, por transilagem, se houver movimentação total da carga de uma unidade para outra, ou intra-silagem, se houver movimentação parcial dos grãos dentro da mesma unidade.

O armazenamento a granel não possibilita a individualização da carga, nem a inspeção direta, sendo difícil a coleta de amostras. Medidas de manutenção ou controle de qualidade, em geral, são feitas de forma indireta, por termometria, onde predominam os sistemas de cabos com termopares, formados por ligas como de constantan e cobre.

Nas unidades do sistema a granel, diferentemente das convencionais, não há necessidade de espaço interno para movimentação de pessoas, máquinas e /ou equipamentos, mas é necessário um espaço não preenchido, na parte superior, correspondente a 1,5m na altura da parede, que serve para inspeção e também atua como reserva para dilatação volumétrica da carga e amortecimento térmico.

Assim, o volume útil $V(\text{útil})$ de uma unidade graneleira é calculado pela seguinte fórmula:

$V(\text{útil}) = S (h-1,5\text{m}).$

Sendo: S a superfície ou área do piso da base do silo ou do piso armazém, h a altura da parede (pé direito) e 1,5m é a distância recomendável entre a superfície dos grãos e a cobertura do silo ou o teto do armazém.

Nos silos, predomina a dimensão vertical, enquanto nos armazéns, graneleiros ou granelizados, predomina a dimensão horizontal, por isso há altas pressões estáticas nos primeiros e complexidade no estabelecimento de sistemas de aeração nos últimos.

Nos armazéns graneleiros, há estruturas específicas para carga, descarga e aeração, enquanto nos armazéns granelizados, que resultam de adaptação funcional de armazéns convencionais, costuma não haver esses dispositivos, sendo essa a razão principal de sua menor eficiência conservativa.

O sistema de armazenamento a granel apresenta unidades com maiores facilidades para automação operacional do que as do convencional.

Pelas características exibidas de pressão estática, as unidades de armazenamento a granel se mostram adequadas para a operação de ventilação forçada ou aeração.

1.4.3) UNIDADES PARA ARMAZENAMENTO HERMÉTICO

Para grandes quantidades de grãos, em geral não compensa o armazenamento hermético, pois é muito difícil a manutenção da hermeticidade e a tecnologia não se justifica pelo elevado custo relativo.

As unidades herméticas de armazenamento de grãos são constituídas de bombonas plásticas, tonéis, filmes plásticos subterrâneos (tipo tubulão), garrafas plásticas, alguidar ou outros dispositivos, onde os grãos são armazenados limpos, secos e/ou com adição de ácidos orgânicos de cadeia carbônica curta e/ou em atmosfera modificada por redução de parte do oxigênio por queima de chumaço de algodão embebido em álcool ou de uma vela. Podem conservar bem os grãos por períodos de até dois anos.

Pequenas quantidades de grãos podem ser armazenadas convenientemente em galões, caixas ou tonéis com produto abrasivo e higroscópico, como areia fina lavada e seca ou cinza peneirada e seca.

Num recipiente que apresente condições de ser fechado hermeticamente, por exemplo, como os citados no parágrafo anterior, podem ser colocados, sucessivamente, camadas (4 a 5 cm) de feijão secado até valores próximos a 14% e de areia ou cinza (1 a 2 cm), até carregá-lo e fechá-lo.

Alguns agricultores costumam incorporar junto alguns restos de cultura, mas essa prática não é recomendável, pois pode se constituir em fonte de inóculo.

A armazenagem hermética de grãos, secos ou úmidos, é baseada na redução do oxigênio disponível no ecossistema de armazenamento a níveis letais ou limitantes para os organismos vivos associados, podendo essa redução ser obtida espontaneamente através do processo respiratório dos grãos e organismos existentes, ou forçadamente, com o uso de N_2 e/ou CO_2 , com a supressão do O_2 , por exaustão do ar, ou com a queima de velas, algodão ou outro material, no interior do recipiente, que reduz O_2 e acumula CO_2 .

O CO_2 é um dos produtos finais do metabolismo de substratos orgânicos em organismos vivos. O seu efeito conservativo sob condições herméticas advém de sua ação inibitória sobre a atividade enzimática dos próprios grãos e organismos associados e/ou a morte destes últimos.

A ação conservativa do CO_2 , em grãos armazenados sob condições herméticas, está relacionada com as concentrações dissolvidas na atmosfera intergranular e a sua adsorção na estrutura porosa interna dos grãos. Inibição e/ou bloqueio de sistemas enzimáticos e formação de carbonatos com grupos funcionais de proteínas são mecanismos relacionados com o processo.

As condições herméticas de armazenamento de grãos atuam seletivamente sobre as populações de insetos através da diminuição da sua atividade, inibição e/ou paralisação biológica. O grau de umidade dos grãos, o tempo de armazenamento, a temperatura da atmosfera intergranular, as características específicas de resistência da espécie e os diferentes estádios de desenvolvimento são os principais fatores que influem na sua eficiência e/ou intensidade.

O metabolismo incompleto dos carboidratos, através do processo respiratório dos grãos e organismos associados, em condições de aerobiose restrita e/ou anaeróbicas, juntamente

com a presença de bactérias e leveduras, conduz à formação de álcool etílico e ácidos orgânicos de cadeia carbônica curta, como o acético, o lático e o butírico. Esses produtos exercem um efeito conservativo secundário, podendo alterar as características sensoriais dos grãos armazenados, como odor e sabor, nem sempre removidos ao final do processo. A hidrólise parcial de certos nutrientes, como carboidratos e proteínas, em açúcares simples e aminoácidos, em formas prontamente assimiláveis, pode representar vantagem nutricional, na alimentação animal, com grãos estocados hermeticamente.

A produção de CO₂, durante a estocagem de grãos sob hermeticidade, resulta em considerável excesso de pressão interna nas estruturas armazenadoras, o qual apresenta proporcionalidade direta com o grau de umidade dos grãos armazenados. Tal aspecto é um importante parâmetro técnico a ser considerado no planejamento de estruturas herméticas para a estocagem de grãos.

O grau de umidade dos grãos, as variações climáticas, as estruturas de estocagem, as espécies de grãos e as operações de pré-armazenamento, determinam efeitos conservativos específicos em ecossistemas de armazenamento herméticos. A obtenção e a manutenção da hermeticidade são os principais aspectos técnicos para a eficiência do sistema.

1.4.4) UNIDADES PARA ARMAZENAMENTO EMERGENCIAL

Nessas unidades, os grãos são armazenados por tempo muito curto, até que ocorra sua remoção por comercialização imediata ou que sejam destinados ao consumo ou ao armazenamento definitivo.

São constituídos principalmente de “piscinas de sacaria”, unidades infláveis e unidades estruturais. São sistemas de conservação deficiente, embora permitam a inspeção direta e a coleta de amostras, mas não possuem dispositivos que permitam uso de medidas de manutenção ou controle de qualidade.

Nos armazéns infláveis, uma lona é presa no solo e um ventilador ligado mantém a lona suspensa. Já nos estruturais, unidades de concepção e finalidades similares, as lonas são mantidas por armação tipo barraca de acampamento, construída em estrutura simples, constituída por madeira bruta, canos de pvc, ou outro material simples, muitas vezes disponível na propriedade.

O sistema emergencial serve onde não há outro meio. Mesmo assim, apenas no período de emergência.

CAPÍTULO II

CARACTERIZAÇÃO E PROPRIEDADES DOS GRÃOS

2.1. ESTRUTURA BOTÂNICA E PARTICULARIDADES DOS GRÃOS DE ARROZ, FEIJÃO, MILHO, TRIGO E SOJA

A estrutura botânica e a composição química dos grãos variam de acordo com a sua família botânica. Para facilitar o entendimento sobre as diferenças na composição química dos grãos é fundamental conhecer a estrutura botânica dos mesmos. Os grãos de cereais são o fruto seco das plantas da família Poaceae (gramíneas). Este fruto, denominado cariopse, é composto por três partes principais: o pericarpo, o endosperma e o embrião. Alguns exemplos são: arroz (*Oryza sativa*), milho (*Zea mays*) e trigo (*Triticum sp.*). Já os frutos de plantas da família Fabaceae (leguminosas), como o feijão (*Phaseolus vulgaris*) e a soja (*Glycine max*), são compostos basicamente por tegumento (ou casca), cotilédone e eixo embrionário.

Ao invés de armazenar reserva de energia no endosperma como fazem as plantas da família Poaceae, nas plantas da família Fabaceae toda a reserva do endosperma é transferida para o cotilédone na fase de formação dos grãos. Esta é a razão pela qual os cereais apresentam maior teor de amido do que as leguminosas; enquanto os cereais apresentam uma estrutura exclusiva para armazenamento de energia (o endosperma), as leguminosas têm que acumular no cotilédone tanto o amido como, principalmente, os lipídeos e as proteínas.

A diferenciação do tecido de reserva é uma característica das plantas monocotiledôneas. Já as plantas dicotiledôneas podem ou não apresentar um tecido específico de reserva de energia. Na Figura 1 são apresentados os embriões de dicotiledôneas e monocotiledôneas. Enquanto nas dicotiledôneas os dois cotilédones recebem nutrientes do endosperma durante o desenvolvimento do grão para tornarem-se tecidos bem desenvolvidos, nas monocotiledôneas o embrião permanece como tal e os nutrientes se depositam no endosperma.

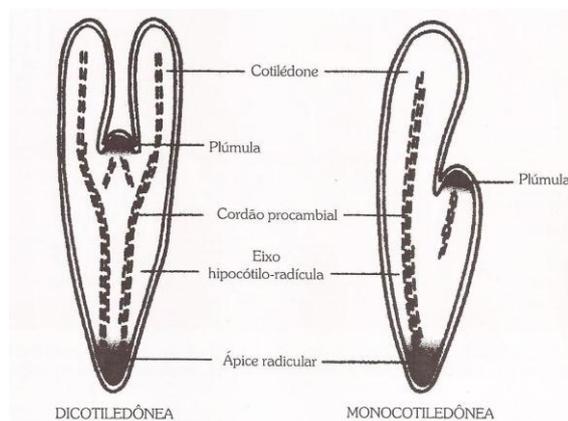


Figura 1. Embrião de dicotiledôneas e monocotiledôneas.

Conforme já mencionado, os grãos de cereais são formados por pericarpo, endosperma (ou albúmen) e embrião. O pericarpo, que corresponde a 5% da massa da cariopse (no milho pode ser maior), é composto basicamente por carboidratos de parede celular – as fibras – e tem a função de regular as trocas gasosas do grão. De acordo com relatos da literatura o pericarpo é composto por cerca de 20% de celulose. O endosperma é composto por uma camada de células de aleurona, ricas em proteína, vitaminas e minerais, e por células que armazenam energia nos amiloplastos na forma de amido. O embrião, que corresponde apenas entre 2,5 e 3,5% da massa do grão, é composto principalmente por lipídeos (48%), proteínas (25%) e carboidratos (18%) e, por conter tecidos meristemáticos, sua função é a formação de uma nova planta.

Nos grãos de feijão e soja, o tegumento (ou casca) é composto principalmente por carboidratos de parede celular (celulose, hemicelulose e substâncias pécticas), enquanto o cotilédone é rico em proteínas, lipídeos, carboidratos, vitaminas e minerais. Em feijão o tegumento corresponde a aproximadamente 10% da massa seca do grão, variando de acordo com o genótipo e com as condições ambientais de cultivo.

Detalhes sobre a estrutura botânica dos grãos de arroz, milho e trigo são apresentados, respectivamente, nas Figuras 2, 3 e 4.

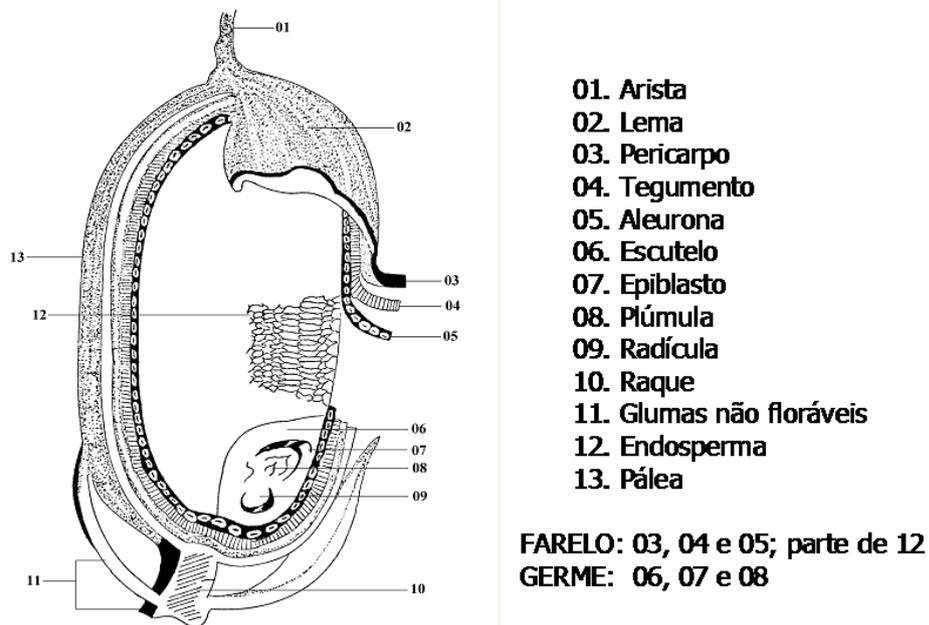


Figura 2. Estrutura botânica do grão de arroz.

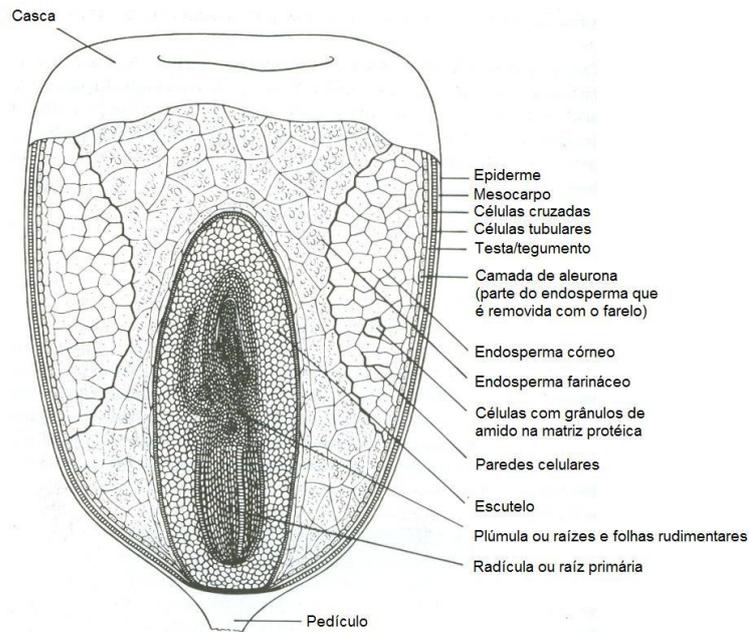


Figura 3. Estrutura botânica do milho. Fonte: Adaptado de Delcour e Hosney (2010).

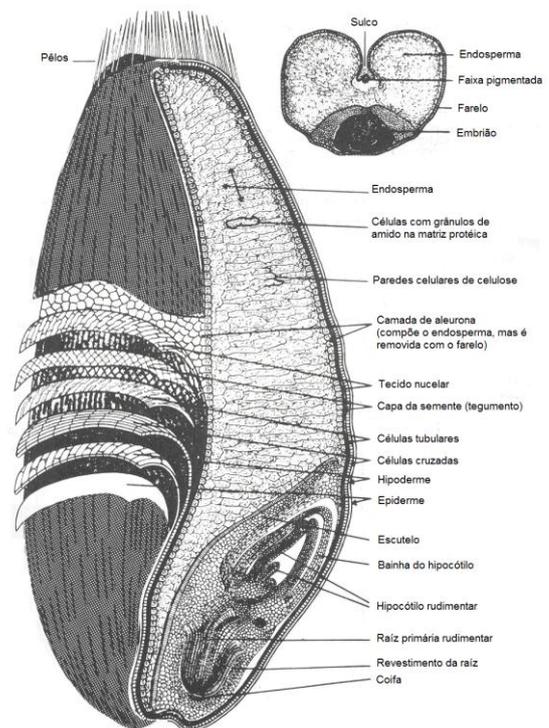


Figura 4. Estrutura botânica do trigo. Fonte: Adaptado de Delcour e Hosney (2010).

A cariopse dos grãos de arroz apresenta-se envolta por folhas modificadas, a pálea e a lema (Figura 2). Arroz, aveia (*Avena sativa*) e cevada (*Hordeum vulgare*) são os únicos cereais onde as folhas modificadas (casca) ficam aderidas à cariopse após a colheita. A casca constitui cerca de 20% da massa do arroz e é composta por lignina (30%), celulose (25%), cinzas (21%), dentre outros. A remoção da casca do arroz, que

no início do século passado era realizada com o auxílio do pilão, é feita por abrasão, através da passagem dos grãos por roletes (mais detalhes no capítulo 3).

Ainda no que se refere à industrialização do arroz, há de se ressaltar a operação de polimento, que consiste na remoção do pericarpo, do embrião e da camada de aleurona dos grãos. Esta operação possibilitou a melhor conservação dos grãos durante o armazenamento, pois há significativa redução no teor de lipídeos (presentes no embrião e na camada de aleurona), os quais constituem a fração mais instável à deterioração dos alimentos.

O milho, utilizado na alimentação humana, animal e como fonte energética, pode apresentar diferentes proporções das frações córnea (vítrea) e farinácea do endosperma (Figuras 3 e 5). A diferenciação entre estas frações depende da composição de aminoácidos das proteínas e do grau de associação entre os grânulos de amido e a matriz protéica no endosperma. Em regiões onde há a presença de Zeína, proteína do milho capaz de formar forte Associação com os grânulos de amido, o endosperma apresenta-se córneo (ou vítreo).

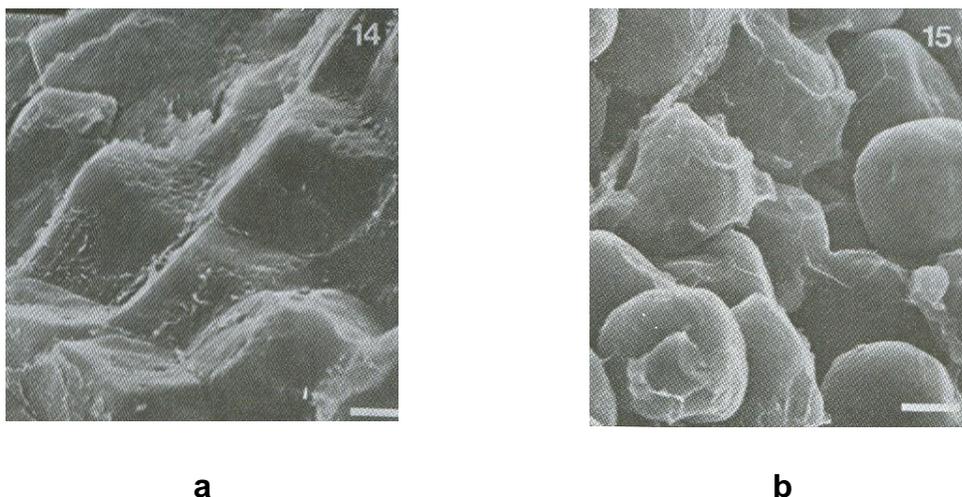


Figura 5. Microscopia eletrônica de varredura do endosperma vítreo (a) e farináceo (b) do milho. No endosperma vítreo (a) é possível verificar maior aproximação dos grânulos de amido comparados ao endosperma farináceo (b). Fonte: Delcour e Hosney (2010).

Os grãos de trigo (Figura 4), assim como centeio e triticale, apresentam uma cavidade ventral proeminente. Esta peculiaridade pode servir de entrada e abrigo para micro-organismos e, também, dificulta a melhoria do rendimento de moagem. Cereal mais cultivado no mundo, os grãos do gênero *Triticum* podem ser utilizados para diversas finalidades. As duas principais espécies do gênero *Triticum* são *Triticum aestivum* e *Triticum durum*. Cultivares da espécie *Triticum aestivum* apresentam menor teor protéico (entre 9 e 12% b.s.) comparadas aos grãos de *Triticum durum*. Uma vez que as proteínas do trigo que constituem o glúten interagem com o amido para formar uma massa dura, insolúvel em água, o baixo teor protéico caracteriza interação mais

fraca entre proteínas e proteínas-amido e, logo, os grãos são destinados à panificação e fabricação de biscoitos (trigo mole). Grãos da espécie *Triticum durum* apresentam maior teor protéico (aproximadamente 14-15%b.s.) e, portanto, mais forte é a rede de glúten formada entre as proteínas e entre proteínas e amido.

O endosperma do trigo, assim como no milho, pode ser vítreo ou opaco (Figura 6). Isso é controlado por fatores ambientais e genéticos. O endosperma vítreo está associado, geralmente, à dureza e ao elevado teor protéico. Já o endosperma opaco está associado ao trigo mole, com baixo teor protéico, que acumula espaços com ar. Essa diferenciação entre endosperma vítreo e opaco ocorre durante a secagem dos grãos, ainda na planta, quando as proteínas dos grãos inicialmente hidratadas começam a perder água e encolhem. Se ocorrer a ruptura das proteínas haverá formação de espaços com ar no endosperma. Este fenômeno é o que acontece na parte farinácea do endosperma do milho. Se a proteína não romper o endosperma será vítreo.

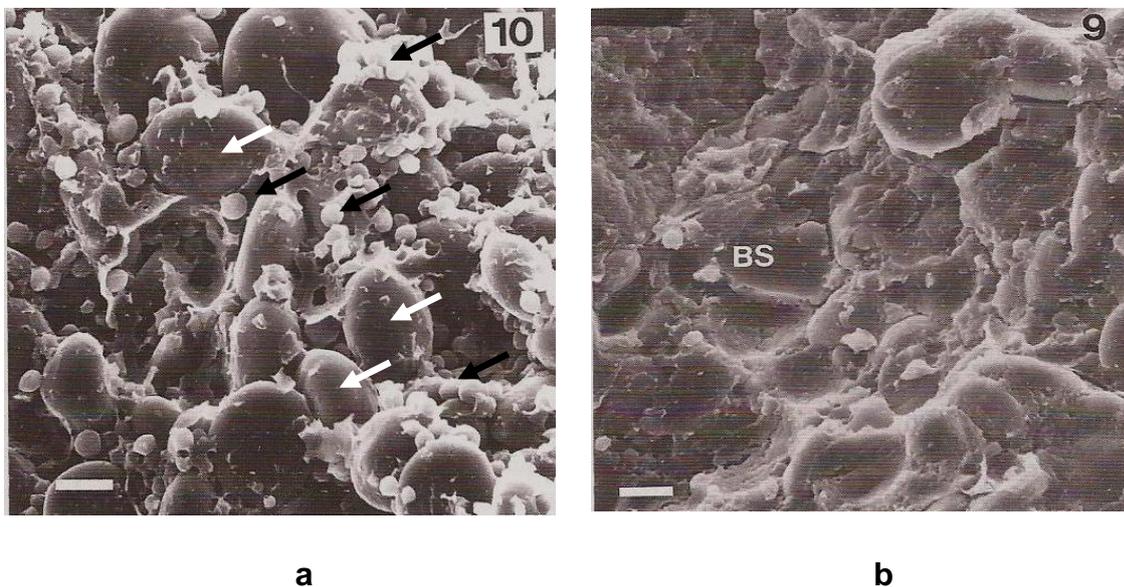


Figura 6. Microscopia eletrônica de varredura do endosperma de trigo mole (a) e de trigo duro (b). Na imagem “a” é possível diferenciar corpos protéicos (círculos menores indicados por setas escuras) de grânulos de amido (grânulos maiores indicados por setas claras). O mesmo não é possível de diferenciar na imagem “b”. Fonte: Delcour e Hosney (2010).

No país o trigo é dividido nas classes: brando, pão, melhorador, trigo para outros usos e durum. Em trigo brando são enquadrados os grãos de genótipos de trigo aptos para a produção de bolos, bolachas (biscoitos doces), produtos de confeitaria, pizzas e massa do tipo caseira fresca. Na classe trigo pão estão os grãos de genótipos de trigo com aptidão para a produção do tradicional “pãozinho” (do tipo francês ou d’água) consumido no Brasil. Esse trigo também pode ser utilizado para a produção de massas alimentícias secas, de folhados ou em uso doméstico, dependendo de suas características de força de glúten (W). A classe de trigo melhorador envolve os grãos de genótipos de trigo aptos para mesclas com grãos de genótipos de trigo brando,

para uso na panificação, na produção de massas alimentícias, em biscoitos do tipo crackers e em pães industriais (como pão de forma e pão para hambúrguer). Na classe do trigo durum, que compreende especificamente os grãos da espécie *Triticum Durum* L., estão os grãos de genótipos de trigo para a produção de massas alimentícias secas (do tipo italiana). Detalhes sobre a industrialização de trigo estão no Capítulo 3.

2.2. QUÍMICA DE GRÃOS: AMIDO, LIPÍDEOS E PROTEÍNAS

2.2.1. AMIDO

O amido é o constituinte majoritário dos cereais e dos feijões. Formado por dois polímeros de glicose que apresentam diferenças estruturais, a amilose e a amilopectina, este constituinte dos grãos é, juntamente com os lipídeos, o principal responsável pelas alterações na qualidade dos grãos durante as etapas de cultivo e armazenamento. Diferentemente dos fungos que se alimentam apenas da fração lipídica dos grãos, os insetos têm nos carboidratos do endosperma (amido) uma importante fonte de energia.

A sacarose formada a partir da assimilação de carbono durante a fotossíntese realizada pelas folhas é o carboidrato precursor do amido. Após a fecundação do óvulo da flor os compostos mais simples, como sacarose e aminoácidos, são translocados via floema para o tecido de reserva da cariopse em formação: o endosperma. No apoplasto das células do endosperma a sacarose é hidrolisada por uma enzima invertase para dar origem aos seus dois precursores: a frutose e a glicose. Após uma série de reações enzimáticas, ambas as moléculas serão transferidas para o amiloplasto da célula, onde darão origem à ADPGpp (uma molécula capaz de ser reconhecida pela enzima que sintetiza amido). Por fim, a enzima que sintetiza amido é capaz de unir uma molécula de glicose em outra para formar dois tipos de polímeros: (1) a amilose, onde cerca de 1.500 unidades de glicose são unidas linearmente por ligações glicosídicas; e (2) a amilopectina, que é formada por 600.000 unidades de glicose ligadas por ligações glicosídicas numa arquitetura ramificada. A síntese de amilopectina envolve outras enzimas capazes de fazer ramificações em um polímero linear de glicose. Fazendo-se uma analogia entre ambos os polímeros que formam o grânulo de amido, se o grânulo fosse um edifício, a amilopectina seria responsável pela estrutura e, portanto, seriam consideradas as vigas dão sustentação ao edifício. Já a amilose poderia ser considerada um tijolo, pois é bem menor do que a amilopectina e não é tão bem organizada estruturalmente.

De forma geral, a amilopectina é o principal constituinte dos grânulos de amido, respondendo por 70% da constituição do grânulo de amido. Variações podem ocorrer. O arroz, por exemplo, é classificado em função do teor de amilose: baixa (aprox. 6%), média (aprox. 20%) e alta amilose (aprox. 30%). Neste cereal esta classificação é extremamente importante, pois está diretamente associada ao comportamento de cocção dos grãos. O consumidor brasileiro geralmente prefere os grãos de arroz de

alta amilose, pois estes tendem a ser menos pegajosos após a cocção, enquanto o consumidor oriental prefere os grãos de baixa amilose (mais pegajosos).

A deposição de amilopectina no grânulo ocorre em camadas, por sobreposição (Figura 7). Essas camadas são denominadas “anéis de crescimento”. A origem dos anéis não está bem elucidada. Um trabalho muito antigo, datado de 1962, apontou as flutuações diurnas como responsáveis. Essa suposição tem como base grãos de trigo e de cevada cultivados com iluminação contínua, os quais não apresentaram anéis. O mesmo não aconteceu com batata.

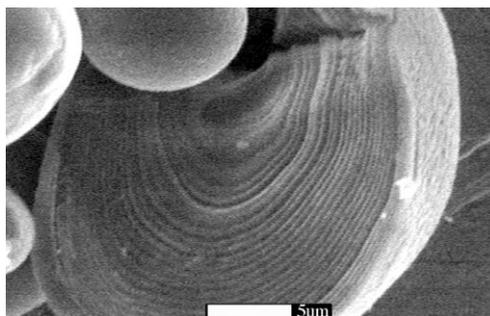


Figura 7. Formação do grânulo de amido em camadas (anéis de crescimento).

Os grânulos de amido no interior do endosperma dos cereais e dos cotilédones dos feijões podem apresentar diferentes formatos. No endosperma farináceo do milho e no endosperma dos grãos de arroz os grânulos são comprimidos por uma matriz protéica muito forte, originando grânulos poliédricos. Já nos grãos de trigo os grânulos podem ser grandes e lenticulares ou pequenos e esféricos. Em feijão, os grânulos são lenticulares e grandes, comparados aos demais.

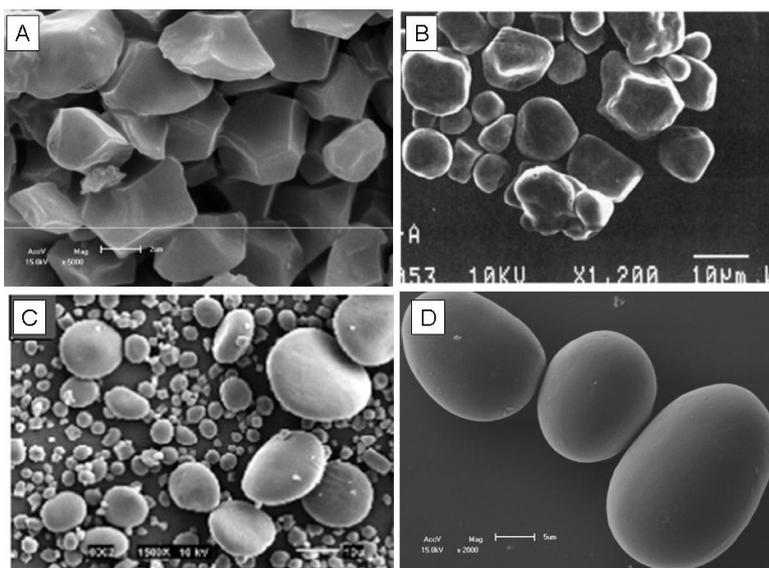


Figura 8. Microscopia eletrônica de varredura do amido isolado de grãos de arroz (A), milho (B), trigo (C) e feijão (D). Fontes: Adaptado de Zavareze (2010), Singh et al. (2003), Ao e Jane (2007) e Vanier et al. (2012).

O amido isolado dos grãos pode ser usado em uma série de produtos alimentares e não-alimentares. Alguns exemplos são a utilização de amido como espessante em alimentos, a utilização de amido na indústria de papel, a produção de embalagens biodegradáveis de amido e o uso do amido em têxteis para polimento de fios. Atualmente, a principal fonte de amido utilizada comercialmente é o milho.

2.2.2. LIPÍDEOS

Os lipídios são um conjunto de substâncias químicas que, ao contrário das outras classes de compostos orgânicos, não são caracterizadas por algum grupo funcional comum, e sim pela sua alta solubilidade em solventes orgânicos, como clorofórmio, hexano, éter, tolueno, e baixa solubilidade em solventes polares, como a água, característica esta denominada de hidrofobicidade.

Os lipídios apresentam um número grande de funções junto aos organismos, tais quais: fornecimento de energia, manutenção de propriedades sensoriais, transporte e absorção de vitaminas lipossolúveis (A, D, E, K), proteção dos órgãos (carotenóides), composição de membranas celulares, isolante térmico e físico, precursor de hormônios, cofatores enzimáticos e transportadores de elétrons.

Nos vegetais os lipídios são uma importante forma de armazenamento de energia em grãos de diferentes espécies, principalmente as fabáceas. Os triacilglicerídeos – lipídios de armazenamento, constituídos de uma molécula de glicerol esterificada por até três ácidos graxos – se acumulam durante o fase de maturação do grão, na fase final de desenvolvimento da cultura. Em espécies da família poaceae, como arroz, milho, trigo, cevada e aveia, os lipídios se acumulam principalmente no embrião, já em espécies da família fabaceae, como soja e feijão, os lipídios encontram-se distribuídos nos cotilédones.

Os lípidios de armazenamento presentes nos vegetais podem ser encontrados na forma de ácidos graxos de cadeia saturadas e insaturadas. As condições de secagem e a qualidade no armazenamento estão diretamente relacionadas com o tipo e com o teor de lipídios na composição do grão. Os principais ácidos graxos de composição dos óleos vegetais são o ácido palmítico (16:0, onde 16 é o número de carbonos da cadeia e 0 é o número de insaturações), ácido esteárico (18:0), ácido oléico (18:1), ácido linoléico (18:1), ácido linolênico (18:3).

O processo de formação dos ácidos graxos dos triacilglicerídeos ocorre nos plastídios das células, a partir de moléculas de acetil-Coenzima A (acetil-CoA). Enzimas específicas são responsáveis pela adição subsequente de dois carbonos no ácido graxo em formação, alongando o comprimento da cadeia. A esterificação dos ácidos graxos formados nos plastídeos em uma molécula de glicerol ocorre em outra

organela, no retículo endoplasmático (Figura 9). O triacilglicerol está presente nas células numa estrutura denominada oleossomo (Figura 10).

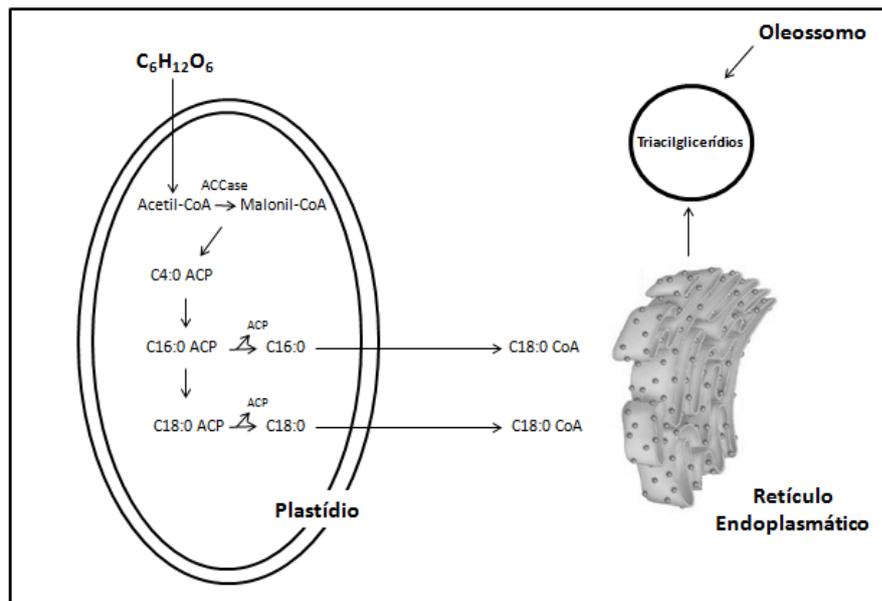


Figura 9. Formação de ácidos graxos e triacilglicerol na célula. Fonte: Adaptado de Buchanan et al. (2000).

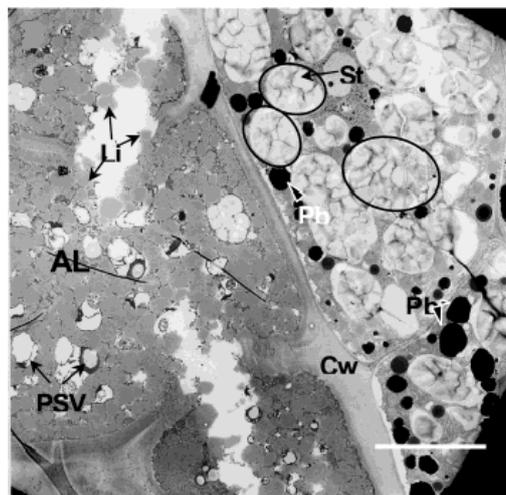


Figura 10. Microscopia eletrônica de transmissão do endosperma de arroz. À esquerda é possível verificar a camada de aleurona (AL) contendo oleossomos (Li). Fonte: Kim et al. (2004).

A utilização de lipídios de origem vegetal na alimentação em substituição aos de origem animal teve início no mundo após a segunda guerra mundial, no ano de 1939, devido à grande demanda por alimentos energéticos para alimentação da população. No Brasil, a introdução de vegetais para extração de óleo para consumo humano foi com a expansão da cultura da soja, na década de 70, onde aumentou a disponibilidade de matéria prima facilitando assim a introdução destes na alimentação. Na área alimentícia, os lipídios são usados na produção de óleos de cozinha, margarinas,

manteigas, maioneses, cremes e tantos outros produtos que fazem estes produtos estarem diariamente presentes na mesa dos brasileiros.

O processo de degradação dos triacilglicerídios presentes nos oleossomos durante o processo de armazenamento dos grãos se inicia quando as condições de temperatura e umidade são inadequadas à boa conservação dos grãos. Quando isso ocorre, as enzimas lipases são ativadas e promovem a rancificação hidrolítica dos lipídeos. Esse processo consiste na liberação dos ácidos graxos da molécula de glicerol, aumentando a quantidade de ácidos graxos livres. Durante esta fase, produtos intermediários são formados, como os peróxidos, além de ocorrer alterações na estrutura da cadeia dos ácidos graxos, através do rompimento das ligações duplas (insaturações). Com a ativação de enzimas, aceleração do metabolismo dos grãos e com micro-organismos associados, a deterioração é intensa e irreversível (Figura 11).



Figura 11. Grãos de soja deteriorados.

2.2.3. PROTEÍNAS

As proteínas são macromoléculas que contêm um número elevado de aminoácidos com diferentes associações. As proteínas podem apresentar diferentes funções: (1) função estrutural ou plástica, dando rigidez, consistência e elasticidade aos tecidos; (2) função hormonal, como a insulina, que participa da regulação do nível de glicose no sangue; (3) função de defesa, como os anticorpos, que realizam o reconhecimento e neutralização de substâncias estranhas; (4) função energética, pois precisam ser ingeridas para fornecimento dos aminoácidos necessários para a manutenção das atividades do organismo; e (5) função enzimática, onde proteínas biologicamente ativas catalisam reações bioquímicas, como as já citadas lipases.

As proteínas dos cereais podem ser classificadas de acordo com a sua solubilidade: (1) albuminas - solúveis em água; (2) globulinas - solúveis em soluções salinas diluídas; (3) glutelinas - solúveis em soluções ácidas ou alcalinas diluídas; e (4) prolaminas - solúveis em soluções alcoólicas a 70-80%. As proporções dessas

classes de proteínas diferem muito entre os diversos cereais, conferindo propriedades químicas, físicas, funcionais e nutricionais diversas.

As prolaminas e as glutelinas são o grupo de proteínas de reserva dos grãos de cereais, e encontram-se no endosperma destes, podendo formar interações proteína-proteína, ou mesmo proteína-amido. Em feijões, as globulinas compreendem a maior parte das proteínas do cotilédone.

As interações proteína-proteína são as que apresentam a maior força nas ligações, conferindo uma maior dureza aos grãos. No caso das interações amido-proteína, presente no endosperma vítreo dos cereais como o milho (Figura 5a), estas exercem uma pressão sobre a estrutura dos grânulos de amido, alterando o seu formato e o seu tamanho.

No trigo, as glutelinas são as principais proteínas de composição, estando diretamente relacionadas com a qualidade do produto, pois o glúten, constituinte de maior importância na farinha do trigo, é composto por gliadina e glutenina, e a relação entre estas confere as características do perfil de alveografia. A gliadina confere a propriedade de extensibilidade, sendo extremamente pegajosas quando hidratadas. Já a glutenina confere à farinha de trigo as propriedades de elasticidade e tenacidade. No processo de panificação, quando se acrescenta água à farinha, as proteínas gliadina e glutenina se aglomeram, formando uma massa pegajosa e fibrosa. Na medida em que essa massa é trabalhada, o glúten faz com que ela adquira adesividade e elasticidade. Essa aglomeração permite que os produtos tenham expansão durante o aquecimento, pois os gases formados durante a fermentação ficam retidos no interior da massa, devido à forte intensidade das ligações das proteínas.

2.3. PROPRIEDADES DOS GRÃOS

Uma massa de grãos, ao ser armazenada, fica sujeita à ação de diversos fatores, como umidade, oxigênio, organismos associados, enzimas e outros. Tanto o início dos processos depreciativos dos grãos, como o grau de atuação de cada um dos fatores, estão ligados às características dos grãos, que lhes conferem propriedades específicas. As características abrangem do tipo de tegumento à constituição química e ao arranjo celular dos grãos.

São as características que vão determinar propriedades como a longevidade, a manutenção da qualidade e a aptidão industrial e/ou de consumo de uma massa de grãos, face à atuação dos fatores a que está exposta. Embora suas ações e seus efeitos sejam complexos e integrados, para efeitos de entendimento, nesta obra são apresentadas cinco características: porosidade, condutibilidade, higroscopicidade, ângulo de talude e respiração, com suas definições, formas, causas que nelas interferem e conseqüências.

2.3.1. POROSIDADE

2.3.1.1. Formas ou tipos:

Intergranular ou intersticial –entre os grãos.

Intragranular – dentro dos grãos.

Os grãos formam uma massa porosa, composta por grãos e espaços intersticiais ou intergranulares. Em armazenamento de trigo, sorgo, soja e milho, entre 55 e 60% do volume são ocupados pelos grãos. Já em arroz com casca e aveia, menos da metade dos espaços construídos são ocupados pelos grãos. De um modo geral, a porosidade da massa, constituída pela soma dos espaços intergranulares e intragranulares se situa entre 45 e 50%, na média, o que, juntamente com a composição química específica, lhes conferem características higroscópicas e de má condutibilidade térmica.

Para se determinar o espaço poroso intersticial, basta se encher, com grãos, um recipiente graduado, como uma proveta, adicionar um líquido não absorvível pelos grãos, como óleo mineral (pode também ser utilizado óleo vegetal não aquecido), e medir seu volume, que corresponde aos espaços intergranulares que preencheu.

A porosidade total é o espaço não ocupado por sólidos no armazém. Para secagem e armazenamento de grãos, mais interessam o número e as dimensões dos poros, pois esses aspectos estão intimamente relacionados com a maior ou menor pressão estática, e essa com a menor ou maior facilidade de circulação do ar.

Na construção de silos e armazéns, são destinados mais espaços ao ar do que para a parte sólida constituída pela massa de grãos.

2.3.1.2. Fatores que interferem

A porosidade está sujeita à interferência de fatores como:

- Formato (irregular, esférico, cordiforme, elíptico, riniforme);
- Tegumento (liso ou rugoso);
- dimensões (comprimento, largura e espessura. Quanto menores forem os grãos, maior será o número de poros, menor será seu diâmetro médio e maior será a porosidade);
- Integridade física (a presença de grãos quebrados e/ou danificados altera a porosidade);
- integridade biológica (quanto mais grãos chochos e imaturos contiver a massa de grãos, maior será a porosidade);
- Integridade fitossanitária ou estado sanitário (a presença, numa massa de grãos, de esclerócios e/ou de grãos brocados, por exemplo, altera sua porosidade);

- Grau de impurezas/matérias estranhas (impurezas são partes da própria planta que originou o grão, enquanto matérias estranhas são os outros materiais, que podem ser inertes, como areia, ou biologicamente ativas, como sementes de plantas daninhas).

Os três primeiros fatores relacionados fazem parte das características intrínsecas do grão, por isso variam em função da espécie e da variedade ou cultivar, enquanto os demais dependem das condições ambientais e de manuseio dos grãos.

Tabela 1. Porosidade intersticial dos principais grãos

Espécie de grão	Porosidade intergranular(%)
Arroz em casca	53
Milho	39
Soja	38
Trigo	39

1.3.1.3. Conseqüências

Trocas Fluidas

Através dos espaços intergranulares, durante o armazenamento, os grãos permanecem em constante troca de calor e umidade com o ar circundante, no ambiente de armazenagem.

A água é uma substância e a umidade é uma propriedade do grão. Logo, quando se refere à água deve ser utilizada a expressão teor de água e quando se refere à umidade, deve ser utilizada a expressão grau de umidade.

Toda substância que contém água apresenta pressão de vapor. Quanto maior for o grau de umidade, maior será a pressão de vapor. Essa tem relação direta com a atividade de água, que por sua vez se relaciona com a umidade relativa do ambiente. A propósito, atividade de água é numericamente igual ao centésimo da umidade relativa de equilíbrio.

As trocas de calor e água entre os grãos e o ar ambiente são dinâmicas e contínuas até o limite da obtenção do equilíbrio higroscópico, em determinadas condições de temperatura. A pressão de vapor do ar é diretamente proporcional à temperatura absoluta e à quantidade de água.

Quando a pressão de vapor do ar for maior do que a pressão de vapor dos grãos, ocorre o fenômeno de sorção, que pode ser por adsorção (com menos energia) e/ou por absorção, ambas as formas resultando em reumedecimento dos grãos.

Absorção é a fixação de uma substância, em geral líquida ou gasosa, no interior de outra substância ou material, em geral, sólido. É resultante de um conjunto

complexo de fenômenos de capilaridade, atração eletrostática, reações químicas, etc. Já adsorção é a fixação de uma substância (o adsorvato) na superfície da outra (o adsorvente).

PV ar > PV grãos ----- re(umedecimento)

Quando a pressão de vapor do ar for menor do que a pressão de vapor dos grãos, ocorrerá a dessorção, que conduzirá à secagem.

PV ar < PV grãos

Se a pressão de vapor do ar for menor do que a pressão de vapor na periferia do grão, a água periférica sofre evaporação e se forma um desequilíbrio interno de umidade, que gera um gradiente hídrico e faz ocorrer um processo de movimentação da água por difusão, do interior para a periferia, através dos poros. Quando atinge a periferia e nela se acumula, formando novos gradientes de pressão, entre o interior e a periferia dos grãos e entre a periferia e o ar, ocorre mais evaporação, formando um novo gradiente hídrico, que provoca uma nova difusão, e assim prossegue, até que se equilibre a distribuição interna da água no grão com a periferia e a pressão de vapor desta com o ar circundante, quando entram em equilíbrio ar e grãos, cessando o processo. Esse é o **mecanismo de secagem por ar não aquecido ou ar ambiente**.

Se o ar for aquecido, com o aumento de temperatura, a umidade relativa diminui (a umidade absoluta permanece constante) e, conseqüentemente, a capacidade de absorver umidade aumenta. No grão, com o aumento de temperatura, há um aumento de energia cinética, sem que haja aumento da superfície (até um certo limite, não há expansão do grão), fazendo com que aumente a pressão interna no grão (uma parte das moléculas não é água) e, conseqüentemente, aumente também a velocidade de difusão, que proporciona aumento de umidade na periferia, intensificando a evaporação. Nesse caso, além do gradiente hídrico formado pela evaporação da água da periferia, como ocorre na secagem com ar não aquecido, há a ocorrência simultânea de outro fator que promove a difusão: o gradiente de pressão interna, causado pelo acúmulo de calor no interior do grão. Esse é o **mecanismo de secagem com ar aquecido**.

O mecanismo de secagem é constituído, portanto, de dois fenômenos fundamentais:

difusão - movimento da água do interior do grão para a periferia;

evaporação - retirada da água do grão para o meio ambiente.

O grau crítico de umidade dos grãos, em equilíbrio higroscópico, para o desenvolvimento de microrganismos associados, é de 14%. Para insetos e ácaros está entre 8 e 10%.

Elevadas umidade dos grãos em equilíbrio higroscópico e temperatura do ar ambiente aumentam o metabolismo dos grãos, o que favorece o crescimento microbiano e das pragas, acelerando a sua atividade metabólica.

Um exemplo de aplicação prática de consequência do equilíbrio higroscópico é o que ocorre em produtos onde são colocados dois componentes diferentes, como o arroz e o charque na mesma embalagem: a conservação do produto somente é garantida se o arroz for muito seco (o charque, para se conservar, deve ter pressão de vapor baixa), caso contrário, haveria migração de água do arroz para o charque e esse rancificaria. Suplementarmente ou alternativamente, outras técnicas poderiam ser utilizadas, como pré-cozinhar (assim diminuindo a atividade enzimática) o componente de maior potencial metabólico; armazenar em embalagem hermética (diminui-se, assim, a entrada de água e de ar, que contém oxigênio); reduzir a atividade metabólica (modificar a atmosfera interna com N_2 ou CO_2) ou embalar à vácuo.

Disponibilidade de Oxigênio

A disponibilidade de oxigênio favorece a atividade metabólica de microrganismos aeróbios, assim como intensifica a respiração dos próprios grãos. Em armazenagens herméticas, deixando-se um espaço vazio de 20%, pode ser diminuída a quantidade de oxigênio ao se queimar uma vela ou chumaço de algodão com álcool e se fechar o recipiente enquanto a vela ou o chumaço queimam. Este procedimento altera a relação O_2/CO_2 e pode reduzir a taxa de O_2 a valores próximos a 1%, se a queima for de álcool. Quando o procedimento for com vela, a redução da quantidade de oxigênio ocorre até cerca de 4%.

Em ambientes com 4% de O_2 , os insetos adultos não toleram, mas persistem outras formas, enquanto a 1% de oxigênio não há a presença de inseto em nenhuma das formas, do adulto ao ovo. Os organismos anaeróbios e os facultativos são favorecidos, por isso os grãos devem ser secados e limpados antes do armazenamento.

Não havendo possibilidade, ou interesse, de limpar e secar os grãos antes do armazenamento, a preservação contra fungos pode ser feita com a incorporação de 1% de uma mistura paritária de ácidos acético e propiônico, se em armazenamento hermético, ou de 2% dessa mistura, se em ambientes semi-herméticos ou não herméticos. Essa tecnologia pode substituir a secagem, se o armazenamento ocorrer em condições ambientais de baixa temperatura, ou se o tempo de armazenamento não for prolongado além de seis a oito meses.

2.3.2. CONDUTIBILIDADE TÉRMICA

A taxa de propagação de calor é medida pela intensidade de calor que passa de uma zona mais quente para uma parte mais fria. Os grãos são maus condutores de calor. A cada 25 centímetros, são capazes de isolar 12,3 em cada 13°C, porque a característica das substâncias orgânicas, com ligações covalentes e/ou covalentes dativas, torna difícil a transferência da calor. Além disso, a descontinuidade de massa, representada pela porosidade também desfavorece a condução do calor.

2.3.2.1. Formas/Tipos

- Condução

Nessa forma, o calor se propaga de molécula a molécula. É uma forma lenta, favorecida em estado organizado e é, por essa razão, característica dos sólidos;

- Convecção

Nessa forma, o calor se propaga em ondas ou correntes convectivas, por movimentação molecular. É rápida, favorecida em estado organizado e é, por essa razão, característica dos fluidos;

- Irradiação

A irradiação do calor independe do meio físico e é pouco expressiva nos processos tecnológicos que envolvem os grãos.

Havendo gradiente térmico numa massa de grãos, o calor se propaga por condução (que ocorre com o contato entre as moléculas vizinhas, que transmitem o calor às outras por vibração) ou por convecção (onde a transferência de calor ocorre por correntes convectivas, que acontece em líquidos e gases em movimento, ou seja, nos fluidos).

Ao se colocar uma chaleira com água sobre uma chapa aquecida, ou sobre uma boca de fogão acesa, a água quente se desloca em movimento ascendente, enquanto a água fria desce para ocupar o lugar das moléculas que subiram, formando correntes de convecção. Nos grãos armazenados, esse fenômeno ocorre por micro-convecção, decorrente do fluxo do ar intergranular. É uma forma rápida de propagação de calor.

Na irradiação, o calor se propaga por meio de dissipação (calor irradiante).

2.3.2.2. Fatores que interferem

Gradiente Térmico

Qualquer que seja a forma de propagação, a transferência de calor é diretamente proporcional ao gradiente térmico.

Características específicas:

- Na condução:

- Continuidade de massa

A condutibilidade térmica dos grãos é baixa, porque eles apresentam alta porosidade, intra e intergranulares, o que lhes caracteriza como massa descontínua;

- Composição/constituição

Os grãos são maus condutores de calor, pois na sua constituição predominam as substâncias orgânicas (que se caracterizam por apresentarem baixa mobilidade eletrônica), já que o teor de sais minerais, onde participam predominantemente os metais, bons condutores de calor, é menor do que 3%.

- Na convecção:

- Proporção fluidos/sólidos

Quanto maior for essa proporção, maior será a propagação térmica.

- Velocidade/fluxo de circulação do ar

Quanto maior for o fluxo de ar (que pode em função do tempo m^3/s , ou da área m^3/m^2), maior será a propagação térmica.

2.3.2.3. Conseqüências

Propagação por condução

Os grãos são maus condutores de calor. Em função disso, há pouca propagação de calor por condução numa massa de grãos. Se ocorrer aquecimento dessa massa, a causa mais provável é o metabolismo de grãos e/ou de organismos associados e a menos provável é a decorrente da variação ambiental.

Exemplos práticos:

1cm de cortiça (isolante térmico natural) e 3 cm de grãos têm a mesma capacidade isolante, assim como 1cm de grãos tem a mesma capacidade isolante que 9cm de concreto.

Em dias quentes, ou nas horas mais quentes, a parede e a cobertura do silo começam a receber calor e a temperatura aumenta. Estando os silos carregados, os grãos e o ar próximos da parede se aquecem. Se esse aquecimento atingir 13°C , em média, a medida da temperatura dentro do silo, a uma distância de 25 cm da parede, terá um diferencial de $0,7^\circ\text{C}$. Ou seja, se $TA_1 = TA + 13^\circ\text{C}$, então, em 25 cm de grãos $TI_1 = TI + 0,7^\circ\text{C}$, o que significa que 25cm de grãos são capazes de isolar $12,3^\circ\text{C}$ em cada 13°C .

Propagação por convecção

O ar parado é isolante, mas estando em movimento forma correntes e propaga o calor por convecção.

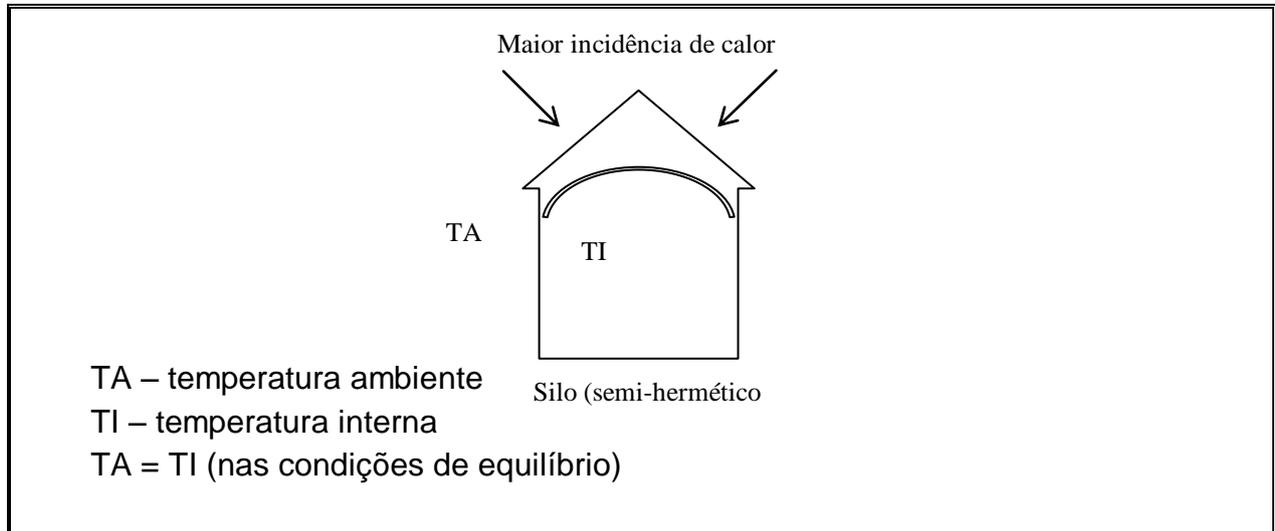


Figura 12. Propagação de calor no interior de unidades a granel.

Transferências de calor e água por correntes convectivas

Quando a temperatura externa ao silo é maior, ou em dias quentes, quando há um aumento de temperatura, os grãos próximos às paredes se aquecem mais do que os outros, assim como o ar que está próximo da parede, fazendo com que sua densidade diminua e sejam formadas correntes ascendentes de ar junto da parede, ocasionando com isso que moléculas centrais formem uma corrente descendente de ar frio.

As moléculas de ar que circulam são insaturadas (têm capacidade de receber água) e quando passam por regiões mais quentes absorvem calor e têm sua entalpia aumentada, aumentando sua capacidade de troca de energia térmica pelas moléculas de água dos grãos por onde passam. Depois de um período de correntes convectivas, na região central do terço inferior do silo, no ponto mais frio da massa de grãos, ocorre condensação da água que atingiu o ponto de orvalho. Os grãos localizados nesta região se umidificam, sofrendo então problemas de deterioração.

De forma análoga, quando a temperatura ambiente for mais baixa (horas e/ou dias frios), o ar próximo à parede do silo se esfria e forma uma corrente convectiva descendente, provocando uma corrente convectiva ascendente do ar que está no centro da massa de grãos, fazendo com que haja uma região de condensação no topo do silo, já que a cobertura do silo está fria e no cone se forma então uma zona de

condensação. Em climas temperados, os fenômenos de transferência de calor acontecem todos os dias.

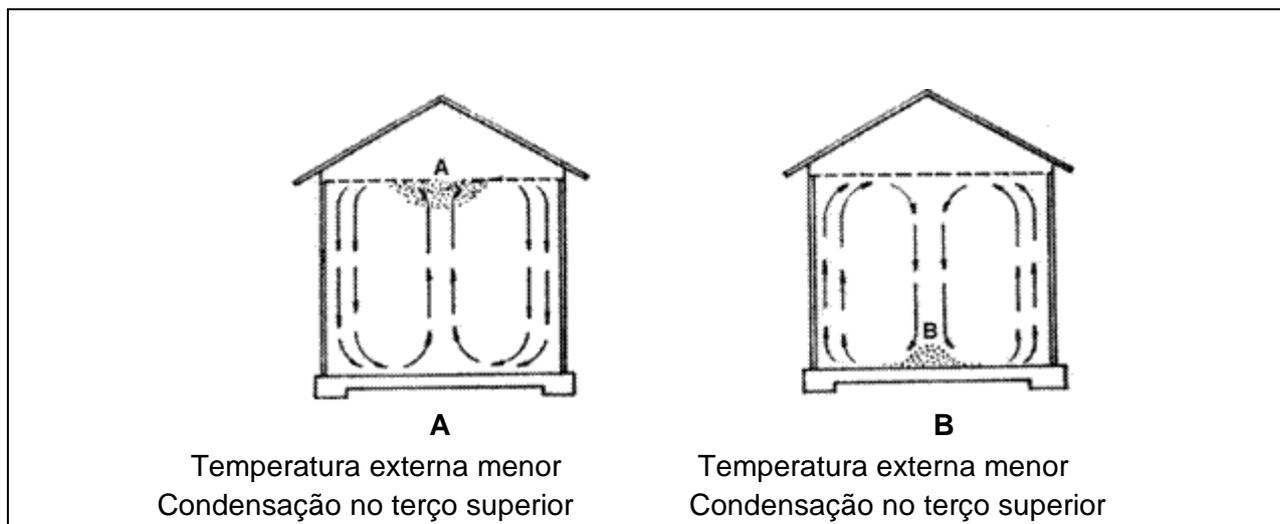


Figura 13. Transferência de calor e água por correntes convectivas.

- Dinâmica Metabólica

Em qualquer sistema de armazenamento, no mínimo, haverá grãos, ar e microrganismos (pela constituição dos grãos e pela umidade com que são armazenados, predominam os fungos).

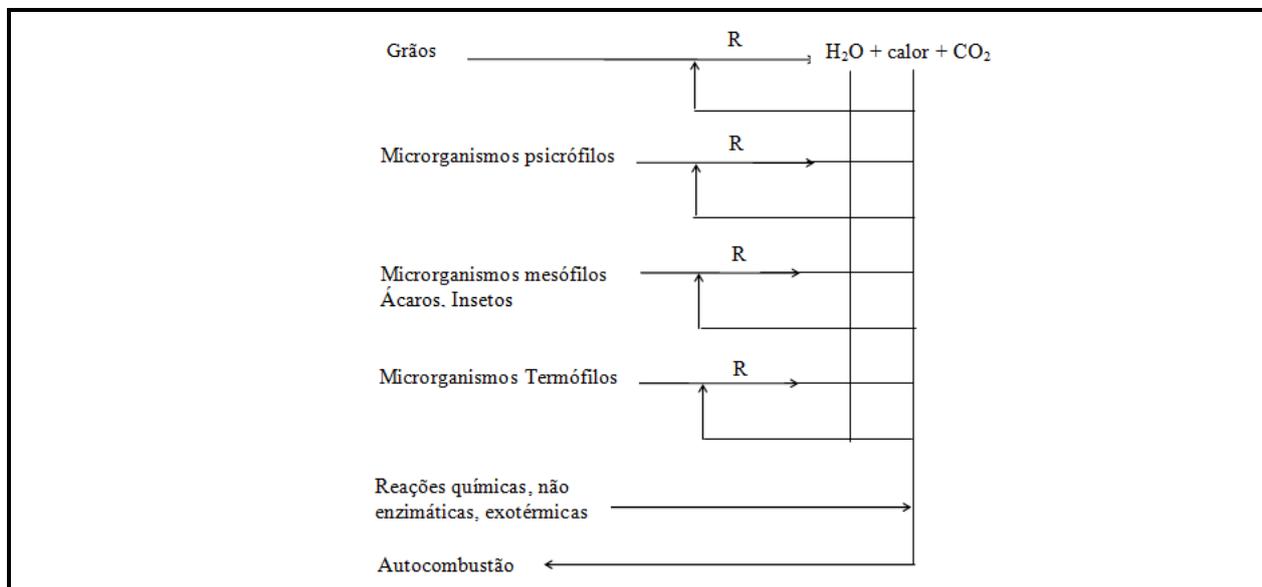


Figura 14. Dinâmica metabólica no armazenamento.

Os grãos são organismos armazenados vivos. Em conseqüência, respiram, produzindo água, calor e gás carbônico, da mesma forma que ocorre com os organismos associados, iniciando-se uma série de reações e fenômenos seqüenciais.

Se o sistema for hermético, o CO₂ produzido estabiliza o processo e cessa a respiração, com a diminuição da relação oxigênio/gás carbônico. Se o sistema não for hermético, o gás é dissipado para a atmosfera.

Com a respiração dos grãos, há produção de água e calor, o que favorece a intensificação dos processos respiratórios e o ataque por microrganismos psicrófilos, mesófilos, ácaros, insetos e microrganismos termófilos, com o aumento da atividade enzimática. Com mais aumento de calor, há desnaturação das proteínas e a conseqüente inativação enzimática. A partir desse limite, o calor acumulado é tanto que permite a ocorrência de reações exotérmicas não enzimáticas, produzindo ainda mais calor, até que o sistema entra em autocombustão. A aeração remove o calor e uniformiza a temperatura do sistema, reduzindo os efeitos das correntes convectivas e dificultando a deterioração.

2.3.3. HIGROSCOPICIDADE

2.3.3.1. Formas/tipos

PV ar > PV grãos → sorção { Adsorção
Absorção } **umedecimento**

PV ar < PV grãos → dessorção → **secagem**

PV ar = PV grãos → **equilíbrio higroscópico**

2.3.3.2. Fatores que interferem

Gradiente hídrico

A intensidade de troca de água é diretamente proporcional à diferença de umidade entre ar e grãos

Temperatura

A temperatura interfere na inversamente na umidade relativa: quanto maior for a temperatura, menor será a umidade relativa do ar.

Composição do grão

Os grãos são formados por macromoléculas orgânicas (carboidratos, proteínas, lipídios) e minerais, que são quantificados pelo conteúdo de cinzas no grão. A higroafinidade das moléculas varia em função dos seus grupos químicos.

Em meio aquoso, o grupo amina é mais eletronegativo do que o grupo carboxila, atraindo mais o H⁺, transformando o grupo amina (-NH₂) em radical de amônia (-NH₃⁺), assim como o grupo carboxila passa para a forma iônica, formando pólos moleculares que são altamente higroscópicos.

2.3.3.3. Conseqüências

Equilíbrio higroscópico

Quanto maior for a quantidade de proteína, maior será a umidade de equilíbrio.

Quanto maior for a quantidade de gordura, menor será a umidade de equilíbrio.

Umidade de conservação

Quanto mais gordura tiverem, e menores forem os grãos, menor será a umidade de conservação.

Fenômeno da histerese

Os grãos da mesma partida, em ar com a mesma umidade relativa, podem ter diferentes conteúdos de umidade. As curvas de dessorção e reumedecimento em um mesmo grão são diferentes em função do tempo. Este fenômeno é a histerese.

A histerese é responsável pela variação que o grão sofre na aproximação do equilíbrio higroscópico, no qual ganha água (adsorção) ou cede água (dessorção). No entanto a capacidade de dessorção é cerca de sete vezes maior do que a de sorção. Há duas hipóteses para o fato:

1ª- Os grãos são constituídos de poros, com espaços de pequeno diâmetro, formando um gargalo entre “tubos” menores e maiores. Quando a água migra, na dessorção, pode haver preenchimento de ar nestes espaços. Dessa forma, para haver reumedecimento destes mesmos espaços, a água teria que deslocar o ar, o que geraria uma dificuldade a mais na ocorrência do fenômeno.

2ª- Os poros se encolhem na dessorção e até podem se dilatar na sorção, porém em menor proporção.

Outras dificuldades são devidas ao fato de o caminho interno no grão na dessorção (secagem) não ser o mesmo quando da sorção (reumedecimento), porque em ambos existem as camadas de lipídeos e as interações entre proteínas, carboidratos, lipídeos e minerais. Além disso, os grãos não seriam materiais estruturados, com malhas internas definidas de tubos capilares.

Capacidade de absorção de água pelos grãos

São mais aceitas duas formas de classificação da água dos grãos: Puzzi (2000) e Lasseran (1978).

Segundo a classificação de Puzzi (2000), a água no interior do grão se apresenta sob três formas:

Água livre: é suportada pelas moléculas responsáveis pela fixação da estrutura orgânica, entre os espaços intercelulares. Facilmente se evapora pela ação do calor.

Água adsorvida: na sua maior parte está associada às substâncias absorventes do material sólido, presa pelo sistema de atração molecular.

Água combinada: chamada de água de constituição, faz parte da estrutura química, presa aos componentes do grão. É parte integrante das estruturas de reserva.

É difícil a delimitação entre estas formas de acomodação da água no interior dos grãos. Sendo difícil separar água livre de água combinada, por valores fixos, a determinação da umidade também é arbitrária.

A origem do conceito de teor de água ou grau de umidade reside no fato de os grãos serem constituídas por uma certa quantidade de água e de um complexo de substâncias sólidas, que compõem sua fração de matéria seca. Este grau de umidade presente nos grãos é o fator mais importante e determina não apenas a qualidade, mas o metabolismo do próprio grão e de organismos associados que poderão prejudicar seu valor. Sua determinação deve ser feita desde antes da colheita até o beneficiamento.

Segundo Puzzi (2000), portanto, a água contida nos grãos se apresenta sob três diferentes formas: a primeira é chamada de água adsorvida e se encontra aderida à superfície sólida do grão; a segunda é denominada água absorvida, se apresentando retida por forças capilares nos micro-interstícios do material sólido, enquanto a terceira é denominada água de constituição e se encontra associada à matéria seca por ligações químicas.

Na prática, não existe um valor específico de conteúdo de água no grão que delimite a separação entre as águas adsorvida e absorvida. Quando da determinação do grau de umidade, a água adsorvida e a água absorvida são consideradas como uma só fração, denominada água livre, passível de ser separada do material sólido sem promover alterações em sua constituição. Exprime-se o resultado obtido como percentual de umidade em base úmida (quando se relaciona a quantidade de água existente com o peso total de grãos), ou como percentual de umidade em base seca (quando o resultado é relacionado ao peso da matéria seca).

Lasseran (1978) propõe a classificação da água presente nos grãos em quatro tipos, correspondentes aos diferentes níveis de hidratação do produto e de acordo com a natureza das ligações físico-químicas existentes entre os componentes da matéria e as moléculas de água.

O “primeiro tipo” é constituído por uma camada monomolecular de água, ligada a certos agrupamentos moleculares da matéria biológica, fortemente polarizados, como o grupo das hidroxilas.

Na denominada água do “segundo tipo” é incluída aquela representada por uma camada polimolecular, fixada sobre a camada monomolecular precedente. Essas diferentes camadas monomoleculares se encontram ligadas à matéria por meio de ligações eletromagnéticas, conhecidas por forças de Van der Waals, e constituem a água não solvente, sem papel biológico e que se encontra fortemente adsorvida.

A presença de apenas esses dois tipos de água indica níveis de hidratação relativamente baixos.

O “terceiro tipo” de água encontrado nos grãos é composto por água líquida sob tensão osmótica. Trata-se de água solvente, que retém substâncias dissolvidas nas células, como açúcares, ácidos, amido, sais, etc. Esse tipo de água, fracamente adsorvida, tem função biológica, podendo permitir reações enzimáticas, além do desenvolvimento de fungos, outros microrganismos e pragas. Corresponde aos níveis de hidratação que vão de 13 a 27% (a 15°C). A água osmótica pode ser facilmente evaporada, porém, em razão da sua localização e da espessura dos grãos, sua migração no momento da secagem é um pouco lenta, pois é resultante da diferença de pressão osmótica de célula para célula.

Tendo-se em vista que as paredes celulares semipermeáveis constituem uma espécie de obstáculo ao escoamento da água, ocorre um pouco mais de dificuldade na difusão de água das camadas mais internas para as externas, na evaporação dos últimos dez pontos percentuais de água dos grãos. Neste momento, aumentos na entalpia do sistema de secagem, pelo aquecimento do ar, podem favorecer a difusão.

O “quarto tipo” corresponde à água de impregnação, que alguns denominam “água livre”. Na realidade, essa água não está efetivamente “livre”, nem se constitui verdadeiramente em água de embebição, tal como ocorre em uma esponja, pois, segundo Lasseran (1978), inexistem vasos capilares nos grãos. Ela se encontra mecanicamente retida no grão pelas paredes celulares, vindo a se juntar à água “osmótica”, igualmente solvente. Sua presença nos grãos colhidos a granel é indesejável e pode lhe causar prejuízos irreparáveis, comprometendo suas propriedades funcionais, por exemplo, se não for removida adequadamente, em tempo hábil e de forma eficiente. A água de impregnação é bastante móvel e evapora facilmente por ocasião da secagem.

Na determinação do grau de umidade, se considera água livre tanto a adsorvida como a absorvida que seja possível de ser separada do material sólido sem alterar sua constituição. O resultado pode ser expresso em percentagem de água existente em relação ao peso total de grãos, denominada de umidade em base úmida, ou em relação ao peso da matéria seca, chamada de umidade em base seca.

Forças físicas envolvidas na adsorção

A) Forças moleculares

Manifestam-se na formação dos líquidos, cristais e outros complexos.

Origem das forças

- Efeito dipolar

Parte do princípio de que o centro da gravidade das cargas positivas não coincide com o das cargas negativas (momento dipolar). Ocorre em água, álcool e amônia. Quando duas moléculas de efeito dipolar se aproximam, há uma atração eletrostática entre o pólo positivo (+) de uma molécula e o pólo negativo (-) de outra.

- Indução

Moléculas com cargas facilmente móveis, se colocadas próximas a um dipolar forte, íons ou campos elétricos, provocam uma distorção das cargas negativas. Assim, ocorrem deslocamentos dos centros de gravidade das cargas positivas e negativas, aparecendo o efeito dipolar.

Várias são as combinações. A água tem papel importante na adsorção, pois tem um dipolar permanente e é molécula pequena, com grande momento dipolar por superfície.

B) Adsorção em função da estrutura química

A adsorção é maior nos açúcares, neste é maior do que nas proteínas e nestas é maior do que nos lipídeos.

Amido

As moléculas de amido apresentam grande número de grupos hidroxílicos e pontes de hidrogênio, que são pontos de polaridade. Quanto maior o número de pontes, maior a retenção de água.

Proteínas

Proteínas são polímeros de aminoácidos, possuindo vários grupos iônicos polares, que são capazes de interagir com água. Possuem também elevado potencial de formação de pontes de hidrogênio.

As proteínas apresentam caráter anfótero, de acordo com os aminoácidos que as compõem, que também possuem caráter anfótero, caracterizado pela presença de grupamentos -OH, -NH, -NH₂, -COOH, -CONH₂, -R, ligados a seu carbono assimétrico.

A água adsorvida pela proteína, na primeira camada, fica ligada ao lado polar da cadeia e, dependendo dos grupos presentes nos aminoácidos de que é composta a proteína, pode prender mais ou menos moléculas de água.

Grupo amino: 3

Grupo oxidrila: 3

Grupo carboxílico: 4-5

Grupo carbonílico: 2

Lipídeos

Os lipídeos não têm facilidade de formar pontes de hidrogênio. Como são ésteres, a água, ao invés de ser adsorvida, pode promover hidrólise, liberando ácidos graxos e participando das reações de rancificação. Por isso, quanto maior for a quantidade de gorduras no grão, menor deve ser sua umidade no armazenamento, ao contrário dos grão protéicos, que devem ser armazenadas em condições de maior umidade. O grão com maior quantidade de lipídeos perde água mais facilmente, pois tem menor afinidade com a água.

Movimento de água nos grãos durante o armazenamento

Para explicar esse fenômeno, há duas teorias:

- A)** A migração de umidade é devida ao movimento de convecção do ar através do produto (condutibilidade térmica);
- B)** A difusão é a responsável pelo movimento da água das camadas mais úmidas do interior para a periferia.

Fenômenos do equilíbrio higroscópico

➤ **Sorção: absorção e adsorção**

A sorção ocorre durante o reumedecimento do grão, quando a pressão de vapor do ar for maior que a pressão de vapor do grão.

➤ **Dessorção**

A dessorção, fenômeno inverso da sorção, ocorre durante a secagem, quando o grão perde água. Para isso, é necessário que a pressão de vapor do ar seja menor que a pressão de vapor na superfície do grão.

A água do grão passar para o ar sob a forma de vapor (evaporação), da mesma forma que na sorção, a água contida no ar se condensa para umedecer o grão (condensação).

Ambos os fenômenos, sorção e dessorção, variam em função da temperatura, da pressão de vapor, da umidade relativa, da composição química e da umidade inicial dos grãos.

Os grãos têm a propriedade de ceder ou absorver umidade do ar que os envolve. A umidade contida nos grãos fica em equilíbrio com determinada umidade relativa do ar, para uma mesma temperatura. Tudo tende ao ponto de equilíbrio, no qual a pressão de vapor de água em todo o grão, interior e periferia, é igual à pressão de vapor de água contida no ar. No equilíbrio higroscópico ou equilíbrio hídrico, não há diferença entre a pressão parcial de vapor na superfície do grão e a do ar.

Como já foi citado, a atividade de água do grão é numericamente igual a um centésimo da umidade relativa do ar, no equilíbrio higroscópico. A umidade sempre se movimenta da substância com maior pressão de vapor (mais água) para a de menor, até atingir o ponto de equilíbrio hídrico. Evidentemente, isso caracteriza um processo dinâmico. Devido ao fato de os grãos formarem massa porosa, os mesmos ficam em contato com a umidade do ar intergranular.

Os grãos armazenados em sacos de juta, algodão ou outro material higroscópico, têm o seu grau de umidade alterado freqüentemente pelas oscilações da umidade relativa do ar atmosférico. Em ambientes de armazenamento a granel ou em recipientes hermeticamente fechados, a umidade relativa do ar é que será influenciada pela umidade do grão. Os grãos ricos em óleo apresentam umidade de equilíbrio mais baixa do que os amiláceos e os protéicos, devido ao fato das matérias graxas não absorverem água.

Desde que a variação da temperatura não seja muito acentuada, o equilíbrio higroscópico não é grandemente afetado pelas suas alterações. O grau de umidade do grão do trigo, por exemplo, diminui aproximadamente 0,7% para cada 10°C de aumento da temperatura.

➤ **Fundamentos da secagem**

A secagem permite o armazenamento de grãos por maior tempo, porque diminui o teor de água do produto até níveis que permitam a conservação segura de suas qualidades e de seu valor nutritivo.

Se o produto for armazenado com graus de umidade acima dos limites estabelecidos, podem ocorrer prejuízos por metabolismo do próprio grãos e pelo desenvolvimento de mofo, fermentos, bactérias, ácaros e insetos. Se a temperatura se eleva, juntamente com a umidade, são intensificados os processos respiratórios,

tendo como conseqüências o consumo dos elementos que constituem as reservas nutritivas dos grãos, além das alterações ligadas à dinâmica metabólica no armazenamento.

Basicamente, a secagem consiste na evaporação da água contida nos grãos, rompendo o equilíbrio das pressões entre a massa e o ar que a circunda, tendo como condição que durante todo o processo a umidade relativa do ar seja menor que a atividade de água (a_w) do grão no equilíbrio. Esta diferença pode ser proporcionada por algumas ações.

➤ **Ação do calor sobre o grão**

O uso do calor, na secagem, tem finalidades específicas.

- Aquecimento do produto

Conforme já explicado no mecanismo de secagem com ar aquecido, o aumento da temperatura dos grãos aumenta a pressão de vapor interna, pelo aumento da energia cinética, facilitando a difusão;

- Diminuição da umidade relativa do ar

O aumento da temperatura do ar ambiente reduz sua umidade relativa, aumentando a capacidade do ar em receber água e reduzindo a atividade de água em que o grão entra em equilíbrio higroscópico, reduzindo o grau limite de umidade em que o grão pode atingir na secagem.

➤ **Ação sobre o meio ambiente**

A redução da pressão de vapor no meio ambiente pode ser efetivada pelo vácuo ou pela desidratação do ar, através de sua passagem por um absorvente de vapor de água, como leito de sílica-gel, óxidos de metais alcalinos e/ou alcalino-terrosos, sulfatos e outras substâncias, ou por evaporador tipo o de máquina frigorífica, para condensar o excesso de água pela passagem do ar em temperaturas abaixo de seu ponto de orvalho, seguido de reaquecimento, para reduzir sua umidade relativa e favorecer a secagem.

➤ **Dinâmica do processo de secagem**

No início da secagem, nos níveis altos umidade, o processo é mais rápido e vai se tornando mais difícil à medida que o produto vai ficando mais seco. Também, no início, a água evapora da superfície do grão e, em seguida, com a desidratação mais avançada, como a evaporação só se processa na superfície, é necessário que a água chegue até ela, do interior, por difusão.

Nos primeiros instantes, o movimento interno da água depende da condutibilidade térmica e da intensidade da difusão do calor no grão, a qual, por sua vez, condiciona a maior ou menor facilidade de deslocamento da água de dentro para fora do grão. Já a segunda fase, que é a evaporação superficial da umidade, depende da diferença de pressão de vapor entre a superfície dos grãos e do ar que os circunda, obedecendo à lei de Dalton: A rapidez de evaporação é diretamente proporcional à superfície mutável e à diferença das pressões de vapor, dependendo do coeficiente de proporcionalidade, da natureza dos grãos, da rapidez da difusão interna e da renovação da camada de ar que envolve o grão.

Quanto mais espesso for o grão, mais difícil será a difusão, e maior a diferença entre a umidade superficial e a do interior. Existem também diferenças no tempo de deslocamento da água de uma espécie para outra. Nos grãos de soja, por exemplo, o movimento é mais lento que nos de trigo, porque as gorduras são hidrófobas e, como conseqüência, mais lenta é sua secagem.

➤ **Ação do calor durante a secagem**

O desenvolvimento progressivo da secagem e sua intensidade têm aproveitamento dependente das características térmicas especiais dos grãos e da peculiaridade do meio constituído pela massa granular. A propagação de calor de um ponto a outro no interior da massa de grãos é devida ao deslocamento das moléculas aquecidas, por convecção ou por condução.

Efeitos de altas temperaturas de secagem e longa exposição do produto podem ocasionar vários problemas, os danos térmicos, como:

- grãos oleaginosos se tornarem mais sensíveis à rancidez;
- a desnaturação de proteínas, podendo comprometer a qualidade de panificação (perda de expansibilidade e de viscoelasticidade em farinhas de trigo) e/ou a germinação de sementes (pela inativação de enzimas decorrentes de desnaturação protéica);
- alterações das ligações de amido, alterando sua capacidade de gelatinização ou geleificação;
- escurecimentos não enzimáticos, como caramelização de açúcares e/ou formação de melanoidinas por reação de Maillard.
- queima do grão e/ou morte das sementes.

➤ **Efeitos dos choques térmicos nos grãos**

Danos térmicos podem ocorrer tanto em secagem com ar muito aquecido e resfriamento rápido, como em secagem de grãos que iniciam o processo em

temperaturas muito baixas e com ar em temperaturas iniciais elevadas. Portanto, choques térmicos podem ocorrer tanto na fase inicial como no final do processo de secagem, seja por contato de ar muito quente com grãos ainda frios ou por contato de ar frio com grãos ainda quentes.

Os principais efeitos verificados são o trincamento e o endurecimento da periferia, em consequência de formação de crostas. A dilatação, seguida de contração, causa rachaduras na superfície, pois o grão não tem plasticidade para suportar estas tensões. Além disso, a evaporação muito rápida, associada a desnaturações protéicas e/ou retrogradação de amido, pode formar crostas na periferia dos grãos, dificultando sua rehidratação e aumentando o tempo de cocção, por exemplo.

Em grão endurecido, a moagem é dificultada, a cocção é lenta. Em grãos trincados e/ou danificados, são facilitados os ataques de insetos, ácaros e microrganismos, durante o armazenamento, assim como o metabolismo dos próprios grãos é facilitado, pela ativação do sistema enzimático através da ação de agentes do meio ambiente. O choque térmico pode ocorrer, portanto, no início e final da curva de secagem, se aquecimento e resfriamentos não forem gradualmente aplicados. Para a maioria dos grãos, até 13°C de gradiente térmico não provoca grandes danos.

Tanto o dano como o choque térmicos apresentam muitos efeitos latentes, que vão se manifestar no armazenamento e/ou na fase industrial e/ou de consumo, além dos imediatos, que são perceptíveis mais prontamente.

Na secagem, desempenham papéis fundamentais e bem específicos o calor sensível (que eleva a temperatura) e o calor latente (calor acumulado, que fornece energia necessária à difusão da água).

O ar pode ser forçado para o interior da massa, por dois processos: por insuflação, quando o ar é introduzido por ação de uma ventoinha, ou por sucção, quando o ar é aquecido e aspirado também por ação de uma ventoinha.

➤ **Temperaturas limites de secagem**

Os limites de temperatura na secagem são estabelecidos em função da umidade, da natureza e da utilização posterior dos grãos. Para isto, a temperatura máxima do ar de secagem deve ser um pouco mais elevada do que a temperatura máxima tolerável pelo grão úmido, se o tempo de contato do ar com os grãos for longo, como nos processos estacionários de secagem. A umidade relativa do ar também intervém. Ar muito úmido, em equilíbrio com os grãos os aquecerá com mais rapidez do que o ar seco, e se o ar tiver umidade maior do que a dos grãos, transmitirá calor tanto por convecção quanto por condensação. A temperatura máxima admissível do ar na secagem deve ficar, portanto, na dependência da espécie e da finalidade do produto.

1.3.3.4. Principais métodos de determinação de umidade

Para a determinação do teor de água ou grau de umidade dos grãos, vários são os métodos existentes. São classificados, basicamente, em dois grupos: diretos e indiretos. Os métodos diretos têm boa exatidão, mas sua execução exige tempo prolongado e trabalho metucioso. A determinação é baseada na perda de peso sofrida pelos grãos de uma amostra de peso conhecido, devida à retirada de toda a água livre que contém, obtendo-se o resultado pela relação entre o peso da água removida e o peso da amostra inicial, em geral expressa em porcentagem.

Os principais métodos diretos são o de estufa, o de destilação e o infravermelho. O de maior importância é o da estufa, devido às suas características de boa precisão e exatidão. Várias são as combinações possíveis entre a temperatura empregada, o tempo de secagem, o tamanho da amostra e a forma em que os grãos se apresentam. O método da estufa a, $105\pm 3^{\circ}\text{C}$, com circulação natural de ar, durante 24 horas, sem trituração do material, é o oficial para determinação da umidade de sementes e de grãos no Brasil.

Dentre os métodos indiretos, podem ser destacados os elétricos, devido principalmente à sua ampla utilização nas áreas de produção, de beneficiamento e de armazenamento de sementes e de grãos, pois são de fácil manuseio, de leitura direta e apresentam rapidez na operação, medindo o grau de umidade sempre em base úmida, embora sejam menos precisos do que os diretos. Baseiam-se no princípio de que as propriedades elétricas das sementes e dos grãos são dependentes, em grande parte, do seu grau de umidade.

Os métodos baseados na resistência elétrica indicam o grau de umidade pela maior ou menor facilidade com que a corrente elétrica atravessa a massa de grãos ou de sementes.

Os métodos que utilizam a propriedade da capacitância elétrica são chamados métodos dielétricos. Os grãos são colocados entre duas placas de um condensador, constituindo o dielétrico. Aplica-se uma voltagem de alta frequência, sendo as variações na capacitância do condensador, segundo a umidade do material, medidas em termos de constante dielétrica. A leitura dielétrica numa célula de provas é, essencialmente, uma leitura da quantidade total de água presente na mesma.

Os métodos elétricos estão sujeitos a erros ocasionados principalmente pela distribuição desuniforme da umidade no interior do grão, erros de pesagem e de oscilações de temperatura, sem a devida correção. Também oscilações no fornecimento de energia, como baterias gastas e variações nas correntes elétricas, conforme o sistema de alimentação energética empregado, podem resultar em erros de análises.

Segundo Sasseron (1980), os determinadores de umidade dielétricos medem, além das propriedades dielétricas, uma pequena resistência elétrica através do

material. Assim, grãos com o mesmo conteúdo de água registram graus de umidade menores à medida em que a água se localize mais no interior do grão.

Os aparelhos que utilizam o princípio da constante dielétrica apresentam algumas vantagens sobre aqueles baseados na prova da resistência elétrica, pois estão menos sujeitos a erros resultantes da má distribuição da água nos grãos. Embora não tão precisos quanto os diretos, apresentam confiabilidade aceitável, se adequadamente operados e bem calibrados os aparelhos.

Os determinadores dielétricos, calibrados para sementes ou grãos em equilíbrio termo-hídrico, subestimam o grau de umidade do material durante a secagem intermitente, tornando-se necessário um adequado sistema de ajuste para cada condição.

Independentemente do método e do aparelho utilizado, a amostragem, a calibragem do equipamento e o seu correto uso são fundamentais para a confiabilidade do resultado.

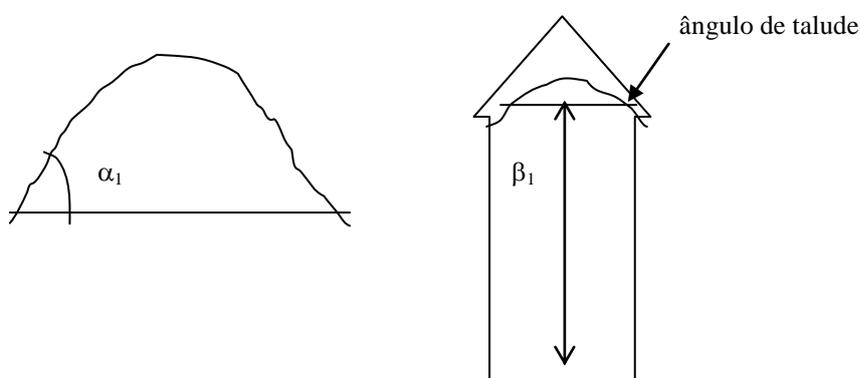
2.3.4. ÂNGULO DE TALUDE

2.3.4.1. Tipos/formas

- Horizontal: ângulo formado pelos grãos com a horizontal são descarregados em uma superfície plana.

Alguns grãos tendem a tomar o maior espaço (área) possível, enquanto outros não. Isto se deve à propriedades intrínsecas dos grãos e aos fatores ambientais

- Vertical: ângulo formado pelos grãos com a vertical quando descarregados em um recipiente ou silo.



$$\alpha_1 + \beta_1 = 90^\circ \text{ (complementares)}$$

Figura 15. Ângulos de talude horizontal (α) e vertical (β).

1.3.4.2. Fatores que interferem

- Formato
- Dimensões
- Tegumento
- Integridade biológica
- Integridade sanitária
- Integridade física
- Impurezas/matérias estranhas
- Umidade – confere adesividade

1.3.4.3. Conseqüências

– O ângulo do talude é diretamente proporcional ao atrito e inversamente proporcional à capacidade de escorrimento.

– O menor ângulo de talude ocorre em grãos esféricos, grandes, lisos. Sadios, íntegros, limpos e secos.

– Capacidade de carga – a capacidade de carga é inversamente proporcional ao ângulo do talude, na medida que aumentando o ângulo do talude, diminui o volume útil do cone.

Volume útil do silo = Volume do cilindro + Volume do cone

– Pressão estática - resistência que a massa de grãos oferece à passagem do ar, sendo maior no plenum. A elevação da pressão estática provoca um aumento de potência para acionar os ventiladores, o que gera maiores custos.

$$\Delta Pe = |Pe_{centro} - Pe_{lateral}|$$
$$Pe_{centro} > Pe_{lateral}$$

Para verificar se há necessidade de usar um espalhador, verifica a diferença entre a pressão estática central e lateral.

A pressão estática depende: do tipo de grão, das impurezas, da umidade e do fluxo de ar. Se a resistência oferecida pelo grão for muito grande, serão necessários ventiladores de alta potência, onerando a operação, podendo inviabilizar o processo.

Quanto maior for a espessura da massa de grãos, maior será a pressão estática.

Grãos pequenos oferecem maior pressão estática, pois têm massa mais compacta, maior porosidade, obrigando o ar a vários desvios, havendo maior perda de carga.

A pressão da carga depende do ângulo de talude: se o ângulo de talude for grande, predomina a componente vertical das tensões e a pressão será maior sobre o piso do silo e se o ângulo de talude for pequeno, predomina a componente horizontal das tensões e a pressão será maior nas paredes. A aeração deve ser uniforme.

O grau de impurezas e/ou de matérias estranhas também exerce grande influência sobre a pressão estática nos silos e armazéns. Partículas menores que o grão aumentam a pressão estática, além de tornar a região contaminada mais susceptível à deterioração, devido a maior higroscopicidade. Neste sentido pode-se, melhorar a limpeza, se for econômico, ou ainda usar um espalhador de impurezas, para que a distribuição das impurezas e/ou matérias estranhas seja mais uniforme, facilitando a posterior uniformidade da passagem do ar e, por conseqüência, da operação de aeração.

- Função do ar durante a secagem

O objetivo do ar durante a secagem, além de reduzir o conteúdo de umidade, é transportar a água contida nos grãos até sua superfície e promover sua evaporação.

A intensidade da corrente de ar influi no tempo e na intensidade da secagem. Empregando-se correntes muito baixas, corre-se o risco de que o ar esteja saturado antes de completar o seu percurso. Já correntes muito intensas podem provocar desuniformidades na operação e danos nos grãos.

- Eficiência da aeração

Denomina-se aeração o processo de secagem que utiliza o ar não aquecido, e tem por objetivo ventilar a massa de grãos. Isto deve ser feito, quando a Umidade relativa do ar for baixa, de maneira que a higroscopicidade se verifique no sentido do grão para o ar. Existem dois sistemas distintos:

- aeração natural: ventilação do ar ambiente, pouco utilizada em função da demora no processo e pelo fato de ser dependente das condições ambientais de umidade relativa e temperatura do ar.

- aeração provocada: renovação mecânica do ar. Tem a vantagem de secar independente dos fatores climáticos. No entanto, a secagem não se dá uniformemente.

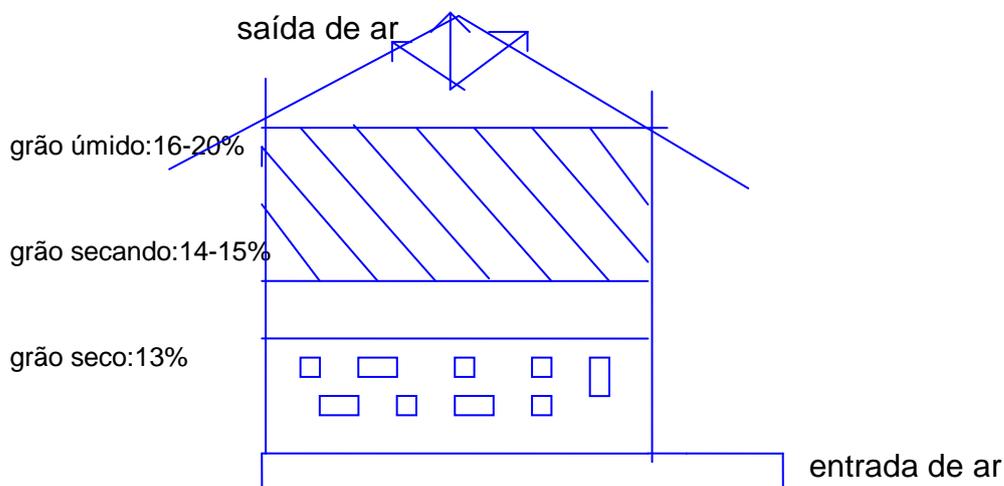


Figura 15. Frente de secagem em secador estacionário de fluxo de ar axial.

2.3.5. RESPIRAÇÃO

2.3.5.1. Formas

Depois de colhidos, os grãos continuam a respirar, produzindo gás carbônico, água e calor (667,2 cal/mol de glicose), predominantemente.

➤ Aeróbia

Em condições aeróbias, tecnicamente, o coeficiente respiratório dos grãos de gramíneas (ou poáceas) se aproxima de $CO_2/O_2 = 1$, ou seja, praticamente equivalente à oxidação completa da glicose, em consequência do alto conteúdo de carboidratos que predomina nas cariopses. Para os grãos oleaginosos, esta relação é menor do que 1, pois as matérias graxas, que são oxidadas durante a respiração, são mais pobres em O_2 e mais ricas em H_2 do que os açúcares, sendo necessária maior quantidade de O_2 para a transformação dos ácidos graxos em CO_2 e água.

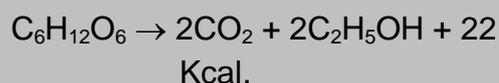
A reação de respiração aeróbio pode ser sintetizada pela equação:



➤ Anaeróbia

Em condições anaeróbias, diferentemente, o aceptor final de hidrogênio não é o oxigênio, mas um radical orgânico, resultando da respiração também o gás carbônico, o calor e uma substância orgânica como o álcool etílico, ao invés de água como em aerobiose. Nesse caso, o oxigênio utilizado provém do próprio grão, num fenômeno de intra-oxidação, característico das fermentações. Dependendo do substrato e do sistema enzimático envolvido, ao invés de etanol podem ser produzidas outras substâncias como ácidos orgânicos de baixo peso molecular, aldeídos, corpos cetônicos, bases nitrogenadas, aminas, amidas, etc. Esse processo libera menos calor do que o aeróbio e caracteriza oxidações incompletas, diferindo no Ciclo de Krebs a partir do piruvato. Por essas razões, nos processos respiratórios anaeróbios são perceptíveis odores.

A reação anaeróbia pode se sintetizada com a equação:



2.3.5.2. Fatores que interferem:

➤ Temperatura

Quanto mais se elevar a temperatura, maior será o risco de deterioração.

Segundo a Lei de Vant'Hoff, a cada 10°C de aumento de temperatura as reações sofrem acelerações de duas a três vezes, até os 40°C. Acima disso, a respiração pode cessar como resultado dos efeitos destruidores que o calor elevado tem sobre as enzimas.

➤ **Teor de água ou grau de umidade**

Grãos armazenados entre 11 e 13% têm discreta respiração, mas, se aumentar a umidade, a respiração se acelera. Pelo caráter hidrófobo das gorduras, os grãos oleaginosos devem ser mantidos com menores valores de umidade.

➤ **Organismos associados (estado sanitário)**

Parte significativa do calor e do gás carbônico produzidos na respiração de grãos úmidos é atribuída ao metabolismo de microrganismos presentes. A exigência em umidade para o desenvolvimento é crescente para fungos, fermentos e bactérias, nesta ordem.

Também o metabolismo de insetos e/ou de ácaros pode exercer importante papel no aumento da temperatura dos grãos no armazenamento.

Enquanto os microrganismos tendem à produção de aquecimento generalizado em toda a massa, os insetos e ácaros o fazem em focos, formando "bolsas de calor". Apenas as pragas primárias atacam grãos íntegros, mas podem atacar também grãos danificados, enquanto insetos-pragas secundárias e ácaros atacam somente grãos fisicamente comprometidos. Ácaros atacam preferentemente materiais pulverulentos.

➤ **Composição do ar ambiente**

As taxas de gás carbônico e de oxigênio afetam o processo respiratório dos grãos. Nos grãos armazenados a granel, é mais difícil o ar penetrar, do que nos grãos em sacarias. Por essa razão, sempre que o armazenamento for feito em silos ou em armazéns graneleiros, a instalação de um adequado sistema de aeração é absolutamente fundamental. Complementa-lhe o monitoramento pelo sistema de termometria.

Em circulação natural o ar não atravessa a massa de grãos de modo a resfriá-la convenientemente, só através de aeração forçada, diferentemente do que ocorre nos sistemas convencionais de armazenamento, onde a circulação do ar por convecção natural deve ser facilitada, através da instalação de portas e janelas amplas e devidamente protegidas para não facilitar a entrada de animais e nem a infestação de pragas.

Alem de o grão se conservar menos, perde peso se o processo respiratório for intenso.

2.3.5.3. Conseqüências

➤ Auto-aquecimento dos grãos

O aquecimento dos grãos é conseqüência do processo respiratório dos grãos, associado ao dos fungos e /ou das pragas. Isto ocorre quando o grau de umidade está acima do satisfatório. Se ocorrer em determinada região da massa de grãos no silo, localizada, forma as chamadas “bolsas de calor”.

Porque o grão tem baixa condutibilidade térmica, o calor se acumula, aumenta a temperatura da massa dos grãos e da massa de ar intergranular, aumentando a respiração dos próprios grãos e, em seqüência, dos microrganismos, insetos e ácaros, seguidos por reações químicas não-enzimáticas, com destaque especial para as exotérmicas, como oxidação de lipídeos, podendo chegar à autocombustão, a partir de uma dinâmica metabólica intensa. Acima de 55°C, o aquecimento é devido à oxidação não biológica do grão.

O aquecimento secundário ocorre mais em grãos oleaginosos do que em outros, em função do alto teor de óleo, que tem moléculas quimicamente instáveis, por serem ésteres e contarem com cadeias insaturadas nos ácidos orgânicos, fatores que lhes conferem grande reatividade. Quanto menores forem os grãos, mais gorduras tiverem em sua composição e mais danificados estiverem, maiores serão as probabilidade de ocorrer autocombustão.

Quando a parede do silo ou do armazém graneleiro se aquece, os grãos que estiverem juntos a ela, na parte mais periférica, também se aquecem, aquecendo o ar que entre eles circula, iniciando as correntes convectivas internas na massa de grãos e as conseqüentes transferências de calor e água, desuniformizando a distribuição dessas formas de energia no interior dos silos e armazéns.

Ao se aquecer, o ar tem sua densidade diminuída, adquire movimento ascendente junto às paredes, se movendo da parte mais quente para a mais fria, aumenta a sua umidade relativa, sua umidade absoluta e sua pressão de vapor. Então, o ar cede água para os grãos, para atingir com eles seu equilíbrio higroscópico. Ao saturar, o ar quente e úmido, em contato com uma região fria, que neste caso está localizada na região mais central do terço inferior do silo, pode ser resfriado até abaixo do ponto de orvalho, condensando sobre a superfície dos grãos, aumentando sua umidade, a taxa de respiração e sua temperatura, provocando novo aquecimento e novo reumedecimento, reiniciando o ciclo das correntes convectivas. Em situações inversas, quando há resfriamento das paredes do silo, o fenômeno ocorre também em direção inversa, condensando a água na superfície da massa de grãos armazenados.

As regiões do silo mais suscetíveis a estas variações são aquelas próximas às paredes, ao piso e à superfície da massa de grãos, na parte superior da carga. Qualquer variação brusca deve ser encarada com bastante cautela. As medidas de manejo operacional para prevenção dos fenômenos e/ou controle de seus efeitos, incluem limpeza e secagem prévias ao armazenamento, com aeração e/ou transilagem

e/ou intra-silagem, podendo haver também expurgo e outras medidas sanitárias complementares.

A aeração homogeneiza a temperatura interna no silo, evitando a formação das correntes convectivas e a ocorrência de bolsas de calor. A medida da temperatura pode ser feita através de pares termoeletrônicos, mais preciso, ou também via tubos perfurados, por onde se introduz o termômetro.

➤ **Dinâmica metabólica**

O aquecimento produzido pelo processo respiratório dos grãos, associado aos dos microrganismos, insetos e ácaros, provoca alterações nas dinâmicas metabólicas, que em geral começa com o metabolismo dos grãos, acumulando calor e água, o que estimula, inicialmente, os desenvolvimentos de microrganismos psicrófilos, seguindo-se os mesófilos e os termófilos. Insetos e ácaros se desenvolvem na mesma condição ambiental dos mesófilos. Todos esses processos consomem reservas e liberam calor e água, gerando fenômenos de autoaceleração, uma vez que os produtos das reações são aceleradores delas próprias.

Como os grãos têm baixa condutibilidade térmica, o calor vai sendo acumulado, aumentando a temperatura, intensificando a respiração dos organismos associados e dos próprios grãos, a qual, em geral, paralisa acima de 50-55°C, pela inativação das enzimas, que são substâncias termolábeis, ainda que microrganismos termófilos possam suportar temperaturas mais elevadas, mas também acabam sendo destruídos pelo calor quando ultrapassa sua termorresistência. Mesmo tendo desaparecido todas as formas de vida, a partir dessa situação, com o grande acúmulo de energia liberada no sistema, reações químicas não enzimáticas continuam ocorrendo. Reações exotérmicas, como oxidação de lipídios, liberam calor para o meio, o qual pode atingir uma quantidade tal que pode chegar à autocombustão, que começa com os metabolismos e continua na oxidação não biológica do grão.

➤ **Manejo conservativo em cada sistema de armazenamento**

A respiração aeróbia produz dois fatores de autoaceleração: a água e o calor. Em consequência disso, uma vez iniciada tende a continuar.

Na respiração aeróbia, o aceptor de hidrogênio é o oxigênio. Por essa razão, os produtos finais são gás carbônico e água, com liberação de calor, caracterizando um processo de oxidação completa.

Na anaeróbia, o aceptor de hidrogênio é um radical orgânico. Por essa razão, juntamente com o gás carbônico produz uma substância orgânica, sempre tóxica, como é o caso das leveduras nos processos fermentativos, caracterizando um processo de oxidação incompleta. As quantidades de calor liberado e de gás carbônico produzido são muito menores do que nos processos aeróbios.

A termometria, por exemplo, é eficiente para detectar metabolismo aeróbio. O manejo dos sistemas onde predomina respiração anaeróbia deve ser feito com medidas preventivas. Às vezes, é recomendável aerar uma vez a cada 30-60 dias, preventivamente, apenas para acabar com anaerobioses, mesmo que não sejam registrados aumentos de temperatura.

Para uma boa conservação hermética, devem ser armazenados grãos bem secos para não se desenvolverem os microrganismos facultativos e anaeróbios.

Um expurgo deve ser feito antes de uma transilagem e/ou uma intrasilagem, para que não ocorram disseminações de focos.

O controle de respiração pode ser feito pelo controle de temperatura. Se a temperatura aumenta é sinal que aumentou a respiração. Para diminuir a temperatura o grão deve ser aerado.

➤ **Monitoramento químico**

Pode ser realizado por análise de acidez do óleo ou índice de peróxido.

➤ **Valor nutritivo**

A perda do valor nutritivo é diretamente proporcional aos processos respiratórios.

Os carboidratos são constituintes dos grãos diretamente consumidos pelo próprio metabolismo e de microrganismos associados, refletindo-se em decréscimo do seu conteúdo total durante o armazenamento.

A fração protéica sofre reações de hidrólise, de descarboxilação, desaminação, o que conduz à formação de ácidos orgânicos e compostos amoniacais e aminas conferindo odores fortes e desagradáveis. Estas transformações provocam o escurecimento dos grãos, a complexação com açúcares redutores, a diminuição do teor de nitrogênio protéico e o aumento do conteúdo de nitrogênio não protéico.

Os lipídios caracterizam a fração constituinte mais suscetível à deterioração dos grãos durante a armazenagem, seja pela redução do seu conteúdo total e/ou suscetibilidade alterações estruturais.

CAPÍTULO III

OPERAÇÕES DE PRÉ-ARMAZENAMENTO E ARMAZENAMENTO DE GRÃOS

Desde a colheita, as operações de pré-armazenamento incluem transporte, recepção, pré-limpeza, secagem, limpeza e/ou seleção e expurgo preliminar. Tudo isso se destina a preparar o produto para a armazenagem, mas nem sempre é necessária a realização de todas elas, embora pré-limpeza e secagem geralmente sejam compulsórias.

Sempre que possível, devem ser consumidos em primeiro lugar os grãos com menor integridade biológica, maior danificação mecânica e/ou estado sanitário mais deficiente, sendo destinados ao armazenamento os de melhor qualidade e de maior potencialidade de conservação.

As operações de armazenamento e de manutenção dependem do sistema de conservação e podem incluir movimentação ou manuseio, expurgo corretivo, intra-silagem, transilagem, aeração, combate a roedores, proteção contra o ataque de pássaros e retificação da secagem e/ou limpeza. Todas devem ser acompanhadas de amostragens periódicas e monitoramento por análises e observações criteriosas.

Colheita e recepção devem ser programadas já no planejamento na semeadura, na seleção dos cultivares, no dimensionamento das áreas e da época de semeadura de cada delas, e assim por diante, o para não ocorrer mistura de produtos de diferentes qualidades ou características.

Os sistemas de manutenção a aplicar, sua periodicidade e intensidade dependem da espécie e do uso a que se destina, dos resultados observados durante o armazenamento e das medidas de controle de qualidade obtidas nas análises e observações, devendo ser considerados valores e variações de umidade relativa e temperatura do ar, umidade e temperatura da massa de grãos, ocorrência microbiana, de insetos, ácaros e/ou roedores, incidência de defeitos e variação de acidez do óleo, dentre outros.

3.1. COLHEITA DOS GRÃOS

A colheita de grãos pode ser realizada tanto manual quanto mecanicamente. A escolha mais adequada depende da espécie cultivada, da extensão e da topografia da área trabalhada, das condições climáticas na época da operação, da disponibilidade de mão-de-obra ou de colheitadeiras, do nível tecnológico empregado na exploração e de outros fatores. Pode haver eficiência em qualquer das situações.

Na colheita manual do sorgo, por exemplo, a panícula é retirada com a utilização de ferramentas adequadas para o corte, como facões ou foices. As panículas cortadas são colocadas em carretas e transportadas para um terreiro, onde permanecem expostas ao sol, para a pré-secagem. Posteriormente, é realizada a trilha, que pode ser executada através de batidura manual ou com trilhadora estacionária. Caso o material tenha sido colhido com umidade baixa, a trilha pode ser efetuada logo após a colheita.

Processada a trilha, é recomendável que a secagem seja completada até valores de umidade que assegurem a conservação dos grãos. Se não houver outro meio mais rápido e mais eficiente, eles devem ser expostos ao sol antes do ensacamento e da armazenagem.

A colheita mecânica é realizada através de colheitadeiras automotrizes, equipadas com cilindro de barra, que proporcionam melhor utilização das máquinas. As regulagens da plataforma e outros detalhes operacionais, que constituem fatores decisivos no adequado uso das máquinas, devem ser buscados nos manuais técnicos que as acompanham, nos agentes autorizados ou com profissionais da área.

A maturação fisiológica de grande parte das espécies de grãos ocorre em umidade próxima a 30%, mas nesse ponto a colheita e as demais operações necessárias ao manejo de pós-colheita são muito prejudicadas, com o que se deve esperar um pouco mais para começar a operação. Grãos de sorgo, milho e arroz podem ser colhidos satisfatoriamente, do ponto de vista mecânico, quando sua umidade se situar entre 18 e 25%, sendo entre 16 e 22% para trigo, aveia, centeio e cevada. Se para armazenagem em espigas, em paióis secadores-armazenadores, como o “Chapecó”, os ripados, os telados, os de bambu, ou similares, o milho deve ser colhido com umidade não superior a 20 ou, excepcionalmente, 22%.

Convém ressaltar que a maturação nas panículas do sorgo, assim como de outras espécies, ocorre de cima para baixo, isto é, o terço superior da panícula é a primeira parte que entra em processo de maturação; logo após é o terço médio, e, por último, o terço inferior. Portanto, para se determinar o ponto de colheita, é preciso se observar a fase de maturação em que se encontra o terço inferior da panícula. Com umidade acima de 25%, aumentam as possibilidades de os grãos não se soltarem das panículas ou espigas, conforme a espécie, por ocasião da trilha. Abaixo de 18%, aumentam as perdas na plataforma.

Se, por um lado, a colheita realizada nas faixas de umidade citadas, minimiza as perdas, por outro lado requer uso da secagem artificial. Caso não haja disponibilidade de secador, é aconselhável aguardar a redução da umidade para valores mais próximos possíveis a 13%. Contudo, é importante realizar a colheita logo que houver condições, pois quanto mais tempo os grãos permanecem expostos às intempéries, no campo, maiores são as perdas, por ataque de pássaros, roedores, insetos e/ou fungos. Inexistindo, no entanto, qualquer possibilidade de secagem pós-colheita, é recomendável que se deixem os grãos mais tempo na lavoura, para que percam água naturalmente, mesmo que isso signifique expor os grãos aos riscos de perdas e danos já referidos. Os efeitos da alta umidade dos grãos no armazenamento são mais prejudiciais do que as perdas ocorridas antes da colheita, em especial os relacionados à qualidade e aos efeitos sanitários do metabolismo microbiano.

Durante a operação de colheita, é recomendável que sejam avaliadas as perdas. Estima-se que uma quantidade entre 180 e 270 grãos por metro quadrado (conforme o tamanho do grão) corresponda a uma perda de um saco (60kg) por hectare.

O milho, conforme já referido, também pode ser colhido através de operação manual ou mecanizada. A colheita manual, geralmente feita em pequenas áreas, pode ser precedida de operações que acelerem a maturação do campo, como o desfolhamento, o despendoamento e/ou a dobradura do colmo, após a maturação fisiológica dos grãos. Com a lignificação dos vasos, a atividade metabólica da planta é reduzida e é alterada a correlação sorção/dessorção de água nos grãos. A inversão da posição das espigas reduz os efeitos das chuvas. Não havendo secagem forçada, o milho deve sofrer secagem natural na espiga, após a colheita, numa das formas preconizadas. A colheita mecanizada e a debulha simultânea ou imediata permitem que o milho seja colhido com umidade mais elevada do que a adequada para a sua conservação.

Para grãos cujo consumo necessite de sua desintegração física, como em forma de farinha, farelo ou outra resultante de moagem ou trituração, é necessária uma elevada integridade física dos grãos para não comprometer sua conservabilidade e sua utilização no consumo

animal e humano. Também são exigidos cuidados quanto aos danos mecânicos (ou mesmo térmicos), em qualquer fase, da colheita ao consumo. Afora os aspectos físicos, o comportamento biológico tem na baixa integridade física um acelerador deteriorativo no armazenamento.

O trincamento e a quebra de grãos, especialmente na colheita e na movimentação, antes da secagem, reduzem seu valor comercial e diminuem sua conservabilidade durante a estocagem, favorecendo o desenvolvimento fúngico e a produção de toxinas, com sérios prejuízos à saúde humana e dos animais quando do consumo.

Danos mecânicos de colheita podem ser minimizados por adequadas regulagens na colheitadeira. As principais são as que dizem respeito à rotação do cilindro de acordo com a umidade dos grãos e ao espaçamento entre o cilindro e o côncavo. Além dos aspectos qualitativos resultantes do trincamento, das fissuras e das quebras dos grãos, essas regulagens também estão relacionadas com as perdas de grãos na colheita. Assim, são importantes as verificações na carreta graneleira, no mecanismo de elevação do sistema de retrilha e na saída da colheitadeira, para as análises, respectivamente, de intensidade da ocorrência de grãos quebrados, do retorno do material para o sistema de debulha e das condições em que estão saindo os sabugos, se muito quebrados ou com grãos ainda presos.

Situação similar à do milho ocorre em relação ao sorgo, onde as dificuldades de separar os grãos das panículas, variáveis de acordo com o cultivar ou híbrido e a umidade, principalmente, determinam as principais regulagens na colheitadeira e são as maiores responsáveis pelas perdas ocorridas.

Cada espécie, mesmo variedade ou híbrido de grão apresenta melhor condição de colheita numa determinada faixa de umidade. Na colheita mecânica, umidades elevadas tendem a provocar dificuldades de liberação dos grãos da panícula ou da vagem, esmagamento na colheitadeira, enquanto umidades muito baixas tendem a provocar trincamentos, perdas na plataforma e maiores riscos de se colher grãos já atacados por pragas e com integridade biológica comprometido. Trigo colhido tardiamente fica mais sujeito a reduções no peso específico durante o armazenamento. A antecipação ou o retardamento da colheita de arroz produz grãos com menores rendimentos de inteiros e maiores incidências de alguns defeitos de classificação, o que reduz sua tipificação, sua conservabilidade e seu valor no mercado.

Por menores que sejam, perdas de produtos na colheita sempre ocorrerão. Cerca de 4%, no milho, por exemplo, são aceitáveis. Elas são devidas a vários fatores, mas, de acordo com sua natureza ou ocorrência, podem ser agrupadas em: 1) perdas em espigas, que ocorrem na pré-colheita (por acamamento das plantas, por exemplo) e durante a colheita, na plataforma; 2) perdas de grãos soltos, que ocorrem nos rolos espigador e de separação; 3) perdas de grãos com o sabugo, as quais são dependentes da uniformidade das espigas e da regulação da distância entre o cilindro e o côncavo; ou se perdem maiores quantidades de grãos com os sabugos ou se quebram mais grãos, o que também representa perdas, ainda que tipicamente de natureza qualitativa.

3.2. SECAGEM E LIMPEZA DE GRÃOS

Os grãos, apesar das características morfológicas de resistência e rusticidade próprias de cada espécie, desde sua formação estão sujeitos ao ataque de microrganismos, ácaros, insetos, pássaros, roedores e outros animais; às danificações mecânicas e a alterações químicas e bioquímicas. Esse conjunto de fatores adversos provoca perdas, quantitativas e/ou qualitativas, pelo consumo de reservas e por modificações na composição química dos grãos, redução do valor nutritivo, formação de substâncias tóxicas e diminuição do valor comercial. Por conseqüência, acaba comprometendo a utilização do produto para o consumo e, mesmo,

para industrialização, se não forem adotados métodos adequados e eficientes de conservação.

A capacidade de manutenção da integridade dos grãos, durante a armazenagem, depende tanto das condições de armazenamento como das de produção e colheita. Para isso, devem ser considerados fatores como integridade biológica, integridade física, estado sanitário, grau de pureza e umidade.

Havendo possibilidade de se realizar secagem forçada, é preferível que os grãos sejam colhidos com umidade mais elevada, devendo ser observados os parâmetros e as razões assinaladas no item Colheita. No caso de não ser possível a utilização de nenhum sistema de secagem pós-colheita, nem mesmo o natural ou um dos naturais melhorados, e desde que sejam observados os fatores de perdas e de integridade biológica do produto, os grãos protéicos e os amiláceos devem ser colhidos com umidade mais próxima possível a 13%, e os oleaginosos a 11 ou 12%, se com maior ou menor teor de óleo, respectivamente.

Em qualquer circunstância, o retardamento da colheita é desaconselhável, pelas perdas quantitativas e qualitativas que provoca, pelos riscos de ocorrência de intempéries e pelo maior tempo de uso da terra.

Quando a colheita, a secagem e a debulha não são mecanizadas (o que se aplica para pequenas quantidades) e todos os fatores são passíveis de controle, podem ser obtidas maiores uniformidades de procedimentos. Isso inclui efetuar a colheita em mais de um período na mesma lavoura, pré-selecionando os grãos de acordo com a qualidade e com o ponto de colheita. Para quantidades maiores, isso não é possível, o que exige correções após a colheita, já a partir da recepção na unidade de secagem e/ou armazenamento.

Em nível de propriedade, duas situações devem ser consideradas: a) o produto é seco e limpo na propriedade, mas comercializado imediatamente; e b) o produto é seco, limpo e armazenado na propriedade.

No primeiro caso, devem ser feitas, nesta ordem, a pré-limpeza, a secagem e a limpeza ou classificação, até a massa de grãos alcançar valores próximos a 1% de impurezas e/ou materiais estranhos e 13% de umidade, para se adequar às respectivas Portarias do Ministério da Agricultura, acerca de Normas e Padrão Comercial.

Os resíduos da pré-limpeza e da limpeza, que sempre contêm grandes quantidades de grãos pequenos e pedaços de grãos, podem ser utilizados na ração animal, imediatamente, ou após algum tempo, se adequadamente secos. O grau de umidade recomendado para uma boa conservação é dependente das condições de armazenamento, da espécie, do tempo de estocagem, da finalidade e da forma de consumo dos grãos.

Para o armazenamento em sacaria, deve ser diminuída a umidade dos grãos em meio a um ponto percentual, para se obter similar conservabilidade.

No segundo caso, é recomendável serem executadas as operações de pré-limpeza, secagem e armazenamento, nessa ordem, ficando a limpeza e/ou seleção para mais tarde. A pré-limpeza pode ser feita até valores próximos a 4-5% de impurezas e/ou materiais estranhos, o que é conseguido pela regulagem dos fluxos de ar e de grãos, na alimentação da máquina, e pelo uso de uma peneira adequada. Logo após, os grãos devem ser secados até a umidade recomendada para o armazenamento, sendo os grãos então armazenados. A operação de limpeza será efetuada depois do "pique" (ou pico) da safra, quando, então, as mesmas máquinas requeridas para a pré-limpeza são usadas, desde que trocadas as peneiras, ajustando o fluxo de ar e reduzido o de grãos para valores próximos a um terço daqueles usados na pré-limpeza.

Outra alternativa é os grãos serem submetidos a passagens consecutivas em duas máquinas, com jogos de peneiras mais seletivas na segunda. Esse procedimento tem o inconveniente de

movimentar a massa de grãos, para limpeza, após terem sido armazenados. Contudo, apresenta as vantagens de reduzir a diversificação e a quantidade total de máquinas, diminuindo, também, a ociosidade das instalações. O resíduo da pré-limpeza pode ser utilizado como ração animal, desde que imediatamente, assim como o produto da limpeza, considerado para esta a sua maior duração para o consumo, conforme já referido.

Em nível industrial, pode ser adotado, por similaridade, o segundo caso citado para a propriedade rural. Se os grãos forem recebidos secos, devem ser utilizadas máquinas de limpeza com alta seletividade, que separem os quebrados para imediato processamento, seguindo para o armazenamento aqueles que tiverem as melhores condições de integridade física e biológica.

Note-se que a operação de limpeza para grãos esféricos serve, também, para remover os grãos quebrados e aqueles com integridade biológica comprometida, pois diferem dos íntegros no formato, nas dimensões e no peso específico, o que nem sempre se consegue em outras espécies.

Valores superiores a 8% de quebrados, na massa de grãos, podem comprometer a sua conservabilidade já a partir dos 60 dias de armazenamento. Para duração superior a 120 dias, o teor de grãos quebrados não deve exceder a 5%, mesmo para armazenagem bem conduzida. E, se o produto for armazenado a granel, o percentual de grãos quebrados é ainda mais crítico. Quanto menor for o grão, mais difícil é a aeração, maior é a tendência à formação de “bolsas de calor” e mais crítico é o efeito de altos percentuais de grãos quebrados na conservabilidade.

A umidade de colheita dos grãos quase sempre é maior do que a recomendável para o seu armazenamento, o que torna a secagem uma operação praticamente obrigatória.

A secagem pode ser realizada por vários métodos, desde o natural e os naturais melhorados, até os de secagem forçada (que inclui a estacionária e as convencionais contínua, intermitente e seca-aeração). Outra alternativa, que tem mostrado resultados promissores pela pesquisa e já é utilizada por produtores, é a substituição da secagem na armazenagem dos grãos com umidade de colheita, pela adição de ácidos orgânicos de cadeia carbônica curta (acético e propiônico), desde que o tempo de armazenamento não seja muito prolongado.

A secagem de grãos pode ser feita por métodos naturais, adaptados ou tecnificados. Para quantidades pequenas, em geral são utilizados os dois primeiros, enquanto para quantidades médias ou grandes são recomendáveis métodos tecnificados.

Embora existam muitas variações de formas e critérios de classificação, no Brasil não há normas oficiais de classificação para métodos de secagem. Por essas razões, e na tentativa de facilitar o entendimento do assunto, na Tabela 3.1 é apresentada uma síntese classificatória.

Tabela 3.1. Processos, sistemas e métodos de secagem de grãos.

Processos	Sistemas	Métodos
A) Naturais	A.1) Primitivos	A.1.1) na própria planta A.1.2) na lavoura A.1.3) em terreiros ou eiras
	A.2) Melhorados	A.2.1) em lonas A.2.2) em barracas ou túneis plásticos A.2.3) em paióis aerados
B) Adaptados	B.1) Secadores de outros produtos	B.1.1) em estufas de fumo B.1.2) em cabines B.1.3) em túneis
	B.2) Outras estruturas	B.2.1) em estrados fixos B.2.2) em estantes móveis B.2.3) em caixas ou tulhas
C) Tecnificados	C.1) Estacionários	C.1.1) secadores de leito fixo C.1.2) silos-secadores de fluxo axial C.1.3) silos-secadores de fluxo radial
	C.2) Convencionais	C.2.1) contínuos C.2.2) intermitentes
	C.3) Mistos	C.2.1) seca-aeração

As condições de secagem variam para cada espécie de grão e finalidade, conforme pode ser verificado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2. Temperatura (°C) do ar de secagem, na entrada do secador, em diferentes sistemas tecnificados de secagem de grãos*.

Grão	Sistema de secagem			
	Estacionário**	Intermitente	Contínuo	Seca-aeração***
Arroz	30-40	70-115	-	60-80
Trigo, sorgo, centeio, triticale	45-50	70-110	70-120	70-90
Milho, soja	50-60	80-120	90-130	79-90
Feijão	45-55	80-100	80-110	60-80

* Limites mais utilizados para grãos destinados ao consumo animal (ração) e/ou humano. É importante controlar a temperatura da massa de grãos e evitar os choques térmicos. Quanto mais longo for o período de armazenamento, mais baixas devem ser as temperaturas de secagem.

**Deve ser observada a espessura de camada para cada espécie de grão no silo-secador. Quanto menores forem as dimensões dos grãos, mais delgada deve ser a camada de grãos para a secagem.

***Se as câmaras receberem ar de secagem com temperaturas diferenciadas, a temperatura mais baixa deve ser utilizada na camada superior. Após o repouso, no silo-secador, a temperatura aplicada deve ser a ambiente.

Os métodos são considerados naturais quando ocorrem sem interferência humana na temperatura e nem no fluxo do ar. Os adaptados têm a interferência em pelo menos um desses fatores e usam estruturas construídas originalmente para outro fim, enquanto nos tecnificados a movimentação do ar ocorre por meio da ação de ventiladores e/ou exaustores e há controle das condições térmicas do ar, o qual pode ser usado nas condições ambientais, sem aquecimento, ou após ser aquecido.

Os métodos naturais podem ser classificados em primitivos e melhorados.

Os primitivos ocorrem na própria planta (antes da colheita), na lavoura (imediatamente após a colheita ou concomitante a ela, mas antes da trilha ou debulha. Por suas características e limitações, são mais usados como pré-secagem do que como secagem definitiva), ou ainda em estruturas rústicas, como terreiros ou eiras (antes da debulha/trilha ou após essa). São totalmente dependentes das condições ambientais e não há controle técnico sobre a operação.

Os melhorados utilizam meios que permitem alguma forma de interferência técnica. Em geral, permitem que ocorra secagem, ou alguma etapa dela, mesmo enquanto chove, sem, contudo, possibilitarem controle operacional efetivo. Os mais comuns são os que utilizam lonas impermeáveis, barracas plásticas ou túneis.

Os adaptados mais comuns são os que utilizam estufas secadoras de fumo, secadores de túneis com estrados, de cabines e outros similares.

Para médias e grandes quantidades, são mais recomendáveis os métodos de sistemas tecnificados de secagem, os quais podem ser classificados em estacionários (de fluxo de ar axial ou radial), convencionais (contínuos ou intermitentes) e mistos (seca-aeração).

No estacionário, os grãos permanecem estáticos e apenas o ar é movimentado durante a secagem. Nesse sistema, em função da direção do fluxo de ar, os métodos são classificados em secagem com ar em fluxo axial e em fluxo radial.

Em fluxo axial, o ar se movimenta ao longo do eixo, em sentido ascendente, descendente ou alternado, sendo mais comuns os silos-secadores de fundo falso, que utilizam insuflação pela base do silo quando operam o ar em fluxo axial ascendente; exaustão, quando descendente, ou ambos alternadamente, em ciclos sucessivos, quando for pelo sistema alternado. Em fluxo radial, o ar se movimenta no sentido do raio, sendo mais comuns os de tubo central perfurado.

Os métodos do sistema estacionário são os únicos dentre os tecnificados que podem utilizar ar sem aquecimento, embora nesse sistema predominem os métodos que usam aquecimento do ar na operação. Pouca rapidez e desuniformidade são as características mais indesejáveis desse sistema, que tem a pouca danificação mecânica e a necessidade de baixos investimentos em estrutura operacional como suas características mais positivas.

No sistema convencional, ar e grãos se movimentam durante a operação. Nesse sistema, de acordo com o fluxo de carga/descarga e o contato do ar com os grãos, os métodos são classificados em contínuos e intermitentes.

Nos métodos contínuos, as operações de carga e descarga são simultâneas e os contatos entre ar e grãos são ininterruptos, em toda a operação, havendo entrada de ar aquecido na câmara de secagem e de ar ambiente, sem aquecimento, na câmara de arrefecimento (de maneira imprópria, em geral denominada câmara de resfriamento). Durante a operação, sempre há grãos úmidos entrando no secador, grãos passando nas câmaras de secagem e de arrefecimento, e grãos secos e resfriados saindo do secador. Grandes riscos de danos e choques térmicos são as características mais indesejáveis desse sistema, que tem a rapidez como característica mais positiva.

A secagem contínua pode utilizar temperaturas do ar de 70 a 130°C, na entrada de secador, desde que os grãos não contenham muitas impurezas e/ou materiais estranhos, e que seja feita inspeção diária e remoção de poeiras, para evitar incêndio.

Na secagem pelo sistema seca-aeração, podem ser empregadas temperaturas de 60 a 90°C no ar de entrada nas câmaras de secagem, e um período mínimo de repouso de quatro e máximo de doze horas. No caso de sementes, a temperatura da massa não deve ultrapassar 40°C.

A secagem intermitente pode utilizar temperaturas de 70 a 100°C, na entrada do secador, quando os grãos estiverem muito úmidos, e de até 120°C, no final do processo, observados os mesmos cuidados quanto a incêndios, comentados na secagem contínua. Se em sementes, a temperatura do ar não deve exceder de 70°C e nem a da massa de sementes os 40°C.

A relação de intermitência interfere na capacidade de secagem de um secador e de consumo de combustível na operação.

Nos métodos intermitentes, as operações de carga e descarga não são simultâneas e o contato entre ar e grãos é descontínuo, só havendo contato dos grãos com o ar aquecido na câmara de secagem, deixando de haver esse contato durante as passagens dos grãos na descarga, no elevador e na câmara de equalização (também denominada câmara de repouso, embora alguns a denominem impropriamente de câmara de resfriamento. Nessa câmara, não havendo renovação de ar, não há mudança de energia no sistema, ocorrendo predominância de difusão de água do interior para a periferia dos grãos, podendo haver alguma evaporação da água periférica e início de condensação no ar intersticial, se a relação de intermitência for muito alta).

Diferentemente do que ocorre no processo contínuo, a secagem intermitente ocorre por bateladas, com recirculação de uma carga de cada vez. Durante a operação, não há ingresso de grãos úmidos e nem saída de grãos secos, ocorrendo uma etapa de cada vez. No início da operação, o secador é carregado enquanto permanecem fechados os dispositivos de descarga de grãos secos. Grandes riscos de danos mecânicos são as características mais indesejáveis desse sistema, que tem como características mais positivas a uniformidade, a rapidez e os baixos riscos de danos e choques térmicos.

No sistema misto, os grãos passam, inicialmente, por uma secagem preliminar convencional, quando perdem parte da água, em geral até cerca de dois a três pontos percentuais de umidade acima do que se deseja como adequada para o final da operação. Essa etapa de secagem convencional é seguida por uma etapa de secagem estacionária, com ar sem aquecimento, após um período de espera num silo-secador, em tempo que geralmente varia entre seis e doze horas sem nenhum contato com o ar, o qual é denominado período de repouso.

O método mais comum do sistema misto é conhecido como seca-aeração (não confundir com aeração secante ou aeração em silo secador pelo sistema estacionário). Nele geralmente é usado secador contínuo adaptado (o ar aquecido é insuflado em ambas as câmaras - a de secagem e a originalmente destinada ao arrefecimento quando do método contínuo) para a parte da secagem convencional e um silo-secador (fundo falso e chapas perfuradas), com ar sem aquecimento, para a parte estacionária do final da secagem. É um sistema que praticamente não causa danos mecânicos, nem danos ou choques térmicos, e que permite a obtenção de secagem mais rápida e mais uniforme do que a obtida no estacionário, sem ser mais uniforme do que o intermitente e nem mais rápido do que o contínuo.

Para quantidades pequenas, são muito utilizados os métodos de secagem pertencentes aos sistemas primitivos e melhorados, os quais fazem parte do processo natural de secagem natural, onde não há interferência humana no fluxo nem no condicionamento do ar. Também são bastante utilizados métodos dos processos adaptados, enquanto para médias e grandes quantidades predominam os métodos dos processos tecnificados. Nesses, como nos adaptados, há interferência no fluxo de ar por meio de ventiladores/exaustores, assim como há interferência no condicionamento do ar de secagem por aquecimento e/ou por desidratação desse ar.

A secagem natural, que começa na lavoura, antes da colheita, ou imediatamente após essa e antes da debulha e/ou da secagem final, na forma de pré-secagem, quando a colheita for manual, pode ser complementada em terreiros ou eiras, com o aproveitamento da energia solar e do vento (eólica), quando é aplicada como secagem complementar ou definitiva.

Em sorgo, feijão, amendoim e soja, nas pequenas áreas de produção, por exemplo, a pré-secagem, antes da debulha, consiste no espalhamento das panículas (de sorgo) ou das partes das plantas que contém as vagens (nas outras espécies citadas), sobre um terreiro ou uma eira, em camada de pouca espessura, até que os grãos tenham sua umidade reduzida, a ponto de facilitar a debulha. Efetua-se, posteriormente, a secagem complementar. É importante que o processo se inicie logo depois da colheita e não seja muito lento, para que

seja reduzida a atividade enzimática e controlado o desenvolvimento microbiano, já nessa fase.

Outras alternativas para o método incluem pré-secagem em varais ou em estufas de fumo, para panículas de sorgo ou espigas de milho com parte da palha, ou ainda também nas estufas de fumo, túneis ou cabines, em peneiras colocadas em prateleiras adaptadas para tal. A pré-secagem de milho em espigas, com palha, espalhadas ao sol, sobre o solo em estrados rústicos de madeira ou de tela, quando bem conduzida, também apresenta bons resultados. Lonas também podem ser usadas para esse fim. Para quantidades pequenas e em condições bem controladas, esses métodos podem ser utilizados para secagem definitiva.

Para receberem a secagem complementar ou definitiva, os grãos já debulhados devem ser espalhados no terreiro ou na eira, em camadas não superiores a dez ou quinze centímetros, sendo feitos três a quatro revolvimentos diários, durante as horas de maior insolação. À tardinha, tais grãos devem ser amontoados e cobertos, de preferência com material impermeável. Na manhã seguinte, a operação é reiniciada e repetida até os grãos atingirem cerca de 13% de umidade, no caso dos amiláceos e protéicos, ou 11 a 12%, nos oleaginosos de grãos médios, como soja, amendoim, gergelim e girassol, ou 8 a 9%, nos oleaginosos de grãos pequenos, como colza ou canola.

A secagem em terreiros ou eiras se constitui num método bastante rudimentar, mas é prático e não exige investimentos e, se as condições climáticas forem favoráveis, é eficiente. Quanto menores forem os grãos, maiores conteúdos de óleo possuírem e mais elevada for sua umidade inicial, mais delgadas devem ser as camadas, assim como quanto menores forem os grãos e maiores conteúdos de óleo possuírem, menor deve ser a umidade ao final da secagem.

Dentre os métodos melhorados de secagem natural, são recomendáveis o de secagem sobre lonas e o de secagem em barracas plásticas ou túneis, para grãos debulhados. Em casos especiais, como a secagem de milho na espiga, com palha, podem ser utilizados paíóis aerados, que também servem para armazenamento, como os telados, os ripados, os de bambu, ou os de expurgo, construídos em alvenaria, cujo exemplo mais conhecido é o "Chapecó".

A secagem sobre lonas é, operacionalmente, semelhante à secagem em terreiro ou eira, com algumas vantagens. Além de não permitir a infiltração de umidade do solo, o fato de possibilitar o fechamento completo da lona, na forma de bolsa, desde duas horas antes de o sol se pôr (num dia), até cerca de duas horas após o aparecimento do sol (na manhã seguinte), determina "suadouros" nos grãos, o que uniformiza e intensifica a secagem. A dependência das condições climáticas, a lentidão do processo e a pequena quantidade de grãos secados, a cada vez, são as principais limitações deste sistema, que, todavia, tem suas características mais positivas na simplicidade, no baixo custo operacional e na eficiência.

A secagem em barracas plásticas consiste na colocação dos grãos em camadas de até quinze centímetros sobre o piso revestido com filme plástico, ou outro material impermeável, devendo os grãos ser revolvidos três a quatro vezes ao dia, até se completar a secagem. Essas barracas, rústicas, em forma de túnel, são semelhantes às de acampamento. A estrutura pode ser de bambu, canos plásticos ou outro material similar disponível na propriedade. O piso deve ser forrado com plástico preto, enquanto que a cobertura e as laterais devem ser de plástico transparente, os quais devem ser fixados na parte superior e possibilitar o sistema basculante, para que se obtenha a maior ventilação possível, durante o dia (não estando chovendo) e possam ser fechados completamente à noite ou quando chover.

A barraca deve ser armada em local alto na propriedade, com a maior dimensão orientada na direção predominante dos ventos. Exige maiores investimentos e proporciona secagem menos uniforme, mais lenta e menos intensa do que a executada em lonas. Contudo, não é

tão dependente das condições climáticas, é simples, eficiente e aplicável a pequenas quantidades.

A secagem estacionária pode ser feita com ar forçado, na temperatura ambiente, sem aquecimento, ou aquecidos a temperaturas cujos limites vão de 30 até 60°C, para camadas não superiores a 80-150cm, dependendo da espécie de grão e do manejo operacional empregado.

A temperatura do ar pode ser mais elevada, se a espessura da camada de grãos não superar 50cm e se cada camada for removida à medida que fique seca. Caso haja superposições ou sobreposições consecutivas de camadas úmidas, sobre as secas, a temperatura não deve exceder 35-40°C, a partir da segunda camada. Em se tratando de sementes, a temperatura do ar não deverá ultrapassar 45°C (controlada por termostato) e a da massa de sementes, os 40°C, dentro do secador. Encher o silo-secador com material úmido, para depois secá-lo, não é recomendável, nem para sementes, nem para grãos.

No mesmo processo e no mesmo sistema, métodos de secagem diferentes apresentam efeitos diferentes, ainda que a operação seja realizada no mesmo local, para a mesma espécie de grão e para o mesmo cultivar.

Para o cálculo do fator teórico da perda de peso, nas operações de pré-limpeza ou de limpeza, é possível ser utilizada a equação 1:

Equação 1:

$$Q.i.r. (\%) = P.i.p. - \left(\frac{100 - I.i.}{100 - I.f.} \right) P.i.p., \text{ onde:}$$

Q.i.r. = quantidade de impurezas/matérias estranhas a serem removidas;

P.i.p. = peso inicial do produto ou peso do produto sem limpeza;

I.i. = percentagem de impurezas do produto, antes da limpeza;

I.f. = percentagem de impurezas do produto, após a limpeza;

Para o cálculo do fator teórico da perda de peso, em água, na operação de secagem, é possível ser utilizada a equação 2:

Equação 2:

$$Q.a.r. (\%) = P.i.p. - \left(\frac{100 - U.i.}{100 - U.f.} \right) P.i.p., \text{ onde:}$$

Q.a.r. = quantidade de água a ser removida;

P.i.p. = peso do produto úmido ou peso do produto, antes de secagem;

U.i. = percentagem de umidade do produto, antes da secagem;

U.f. = percentagem de umidade do produto, após a secagem.

A variação de peso de produto, na operação de limpeza, não é representada apenas pela diferença proporcional de impurezas e/ou matérias estranhas entre o produto antes da operação e após essa (perda teórica, calculada pela Equação 1). Quando da remoção das impurezas, ocorre a saída de alguns grãos (principalmente os malformados, os leves e alguns quebrados) juntos com os materiais de descarte, ocasionando o que se denomina “perda por arraste”, cujo percentual pode ser determinado por avaliações periódicas dos materiais de descarte pelas “bicas” das máquinas de pré-limpeza ou de limpeza, juntamente com as avaliações dos “leves”, arrastados pelo ar.

Além da perda teórica e da perda por arraste, é perdida uma certa quantidade de grãos na própria operação, através dos mecanismos de movimentação de grãos e ar. Ao conjunto desses fatores se denomina perda operacional de pré-limpeza ou de limpeza, se a operação referida for uma ou outra,

respectivamente, ou simplesmente perda peso na pré-limpeza ou na limpeza dos grãos. Em geral, pode ser admitida como aceitável uma variação de peso nas operações de pré-limpeza ou de limpeza na ordem de 1,5 a 3 vezes o fator teórico.

Semelhantemente ao que ocorre na avaliação da variação de peso nas operações de pré-limpeza e/ou de limpeza, cujo valor corresponde ao somatório das perdas teórica (diferença entre os graus de impurezas/matérias estranhas dos grãos antes da operação e após ela), no cálculo da variação de peso pela operação de secagem também não pode ser considerada apenas a diferença de peso por evaporação (perda teórica de secagem, calculada pela Equação 2).

Como a umidade confere adesividade à superfície dos grãos (efeito mais intenso nos grãos de pericarpo menos liso), à medida que vai ocorrendo a secagem, vão se “soltando” materiais que estavam aderidos aos grãos quando úmidos. Esses materiais são mais leves do que os grãos e acabam sendo arrastados pelo ar de secagem juntamente com resíduos de impurezas/matérias estranhas, grãos chochos, malformados, algumas partículas de grãos quebrados, pedaços de cascas, de caules e outros materiais, cuja soma constitui a fração caracterizada como perda por arraste.

A outra fração, originada do fator de perda pelos mecanismos de movimentação de grãos e ar, cuja natureza é a mesma da verificada pré-limpeza/limpeza dos grãos. Analogamente, ao conjunto desses três fatores, se denomina perda operacional de secagem ou simplesmente perda de peso na secagem. Igualmente, em geral, pode ser admitida como aceitável uma variação de peso na operação de secagem na ordem de 1,5 a 3 vezes o fator teórico (perda de peso por evaporação, calculada pela Equação 2). Quanto mais deficiente for a operação de pré-limpeza, que antecede a de secagem, e quanto maiores forem o fluxo de ar e/ou a movimentação de grãos durante a operação, maior é a relação de aumento de perdas em relação ao fator teórico.

3.3. ARMAZENAMENTO DE GRÃOS

Durante o armazenamento, a qualidade dos grãos deve ser preservada ao máximo, em vista da ocorrência de alterações bioquímicas, químicas, físicas e microbiológicas. A velocidade e a intensidade desses processos dependem da qualidade intrínseca dos grãos, do sistema de armazenagem utilizado e dos fatores ambientais durante a estocagem.

As alterações que ocorrem durante o armazenamento resultam em perdas quantitativas e/ou qualitativas. As perdas quantitativas são as mais facilmente observáveis, refletem o metabolismo dos próprios grãos, de microrganismos, pragas e outros animais associados, resultando na redução do conteúdo da matéria seca dos grãos. Já as qualitativas são devidas sobretudo às reações químicas enzimáticas e/ou não enzimáticas, à presença de materiais estranhos, impurezas e aos resíduos metabólicos dos organismos associados, resultando em perdas de valor nutricional e comercial, podendo haver formação de substâncias tóxicas nos grãos, se o armazenamento não for adequadamente conduzido.

Grãos são organismos armazenados vivos e, por isso, respiram durante o armazenamento. Por possuírem constituição química específica e estrutura interna porosa que lhes conferem características higroscópicas e de má condutibilidade térmica, através dos espaços intergranulares da massa de grãos, permanecem em constantes trocas de calor e umidade com o ar no ambiente de armazenagem.

As trocas de calor e água entre os grãos e o ar ambiente são dinâmicas e contínuas até o limite de obtenção do equilíbrio higroscópico, em determinadas condições de temperatura. Esse processo ocorre por sorção ou dessorção de água pelos grãos, em função do diferencial de pressão de vapor de água e/ou de temperatura entre esses e a atmosfera intergranular.

Tais condições, expressas na atividade de água (a_w), são estreitamente relacionadas com o metabolismo dos grãos e o desenvolvimento microbiano, de ácaros e de insetos durante a armazenagem.

Em equilíbrio higroscópico, a umidade crítica dos grãos, para o desenvolvimento de microrganismos associados, é de 14%, enquanto para os insetos e ácaros está entre 8 e 10%.

As condições de elevada umidade dos grãos e a temperatura do ar ambiente aumentam o metabolismo dos grãos, o que favorece o crescimento microbiano e das pragas, acelerando a sua atividade. Aumentos graduais da umidade e da temperatura da massa, em função de diferentes volumes estáticos de grãos, sob tais condições de armazenamento, originam um conjunto de processos físicos, químicos e bioquímicos específicos e acumulativos na deterioração dos grãos, conhecido como efeito de massa, altamente correlacionado com o desenvolvimento e a sucessão microbiana e de pragas durante o armazenamento.

Reduções nos teores de carboidratos, proteínas, lipídeos e vitaminas, durante o armazenamento, originam perda de material orgânico, com diminuições de massa específica e de matéria seca, resultando em perdas de qualidade e de valor dos grãos.

Os carboidratos dos grãos são diretamente consumidos pelo próprio metabolismo e de microrganismos associados, por isso há decréscimo do seu conteúdo total durante a armazenagem. A fração protéica sofre reações de hidrólise, de descarboxilação, de desaminação e de complexão com outros componentes químicos dos próprios grãos durante o armazenamento. A desaminação dos aminoácidos conduz à formação de ácidos orgânicos e compostos amoniacais, enquanto a descarboxilação origina, principalmente, aminas, as quais caracterizam o processo de putrefação dos grãos, conferindo-lhes odores desagradáveis e fortes. Essas transformações provocam o escurecimento dos grãos, a complexação com açúcares redutores, a diminuição do teor de nitrogênio protéico e o aumento do conteúdo de nitrogênio não protéico.

Os lipídeos caracterizam a fração constituinte mais suscetível à deterioração dos grãos durante o armazenamento, seja pela redução do seu conteúdo total e/ou pela suscetibilidade a alterações estruturais. As ações de lipases, galactolipases e fosfolipases dos próprios grãos e produzidas pela microflora associada, por ácaros e/ou por insetos contribuem para o rompimento das ligações éster dos glicerídeos neutros, aumentando o teor de ácidos graxos livres. O menor grau de integridade física dos grãos acelera o processo hidrolítico através do contato das enzimas com a matéria graxa.

A ocorrência de ácidos graxos livres, ou mesmo constituintes de triglicerídeos e fosfolipídios, predispõe à deterioração da matéria graxa, por via hidrolítica oxidativa ou cetônica. As lipoxidases, que constituem o grupo das enzimas mais ativas no processo de oxidação de lipídeos, podem ter origem nos próprios grãos ou podem ser produzidas por organismos associados. A redução do teor de extrato etéreo e o aumento do teor de ácidos graxos livres estão diretamente correlacionados com a velocidade e a intensidade do processo deteriorativo dos grãos. A avaliação desses índices é um eficiente parâmetro de controle da conservabilidade durante a armazenagem.

A rancificação oxidativa consiste na incorporação do oxigênio aos glicerídeos e ácidos graxos livres, especialmente nestes, com a formação de peróxidos, ácidos, aldeídos, polímeros e outros. As presenças de luz, oxigênio e/ou íons metálicos, em altas temperaturas, acelera o processo. Já a rancidez cetônica decorre da ação de alguns fungos que, na presença de umidade elevada e material nitrogenado, produzem metil-cetonas, entre outros metabólitos, originando odor característico da rancificação.

O conteúdo mineral, representado pelo teor de cinzas, é, dos constituintes químicos dos grãos, a fração que apresenta as menores variações no seu conteúdo total durante o

armazenamento. As atividades metabólicas dos grãos e dos organismos associados consomem a matéria orgânica, a metabolizando até CO₂, água, calor e outros produtos, podendo transformar estruturalmente a composição mineral sem alterar o seu conteúdo total. Dessa forma, a determinação do teor de cinzas assume valores proporcionalmente maiores na medida em que a matéria orgânica é consumida.

Vitaminas hidrossolúveis e lipossolúveis são altamente afetadas durante o armazenamento, mesmo em condições adequadas. Entre as hidrossolúveis, a riboflavina, a tiamina e a niacina são as que sofrem as maiores perdas. A redução do teor e da disponibilidade das vitaminas lipossolúveis é acelerada pelo aumento da acidez e da oxidação do óleo dos grãos.

A integridade física dos grãos, pelas correlações com a sua conservabilidade, é um fator importante no armazenamento. Pequenas proporções de grãos quebrados possibilitam melhores índices de conservação, enquanto elevadas a comprometem.

As determinações de peso seco e/ou peso volumétrico, composição química, umidade e temperatura dos grãos, contaminação microbiana, presença e ataque de pragas, características higrométricas do ar, teor de micotoxinas, valor nutricional, germinação das sementes e avaliação sensorial dos grãos armazenados constituem importantes parâmetros no controle da conservabilidade durante o armazenamento.

Vários são os fatores que interferem nas alterações da composição e na qualidade dos grãos durante o armazenamento.

O armazenamento de grãos para pequenas quantidades pode ser efetuado em tonéis, bombonas plásticas, caixas, tulhas e sacaria, dentre outros materiais. Devem ser evitados os sacos plásticos convencionais não ventilados.

O armazenamento em tonéis metálicos ou em bombonas plásticas pode ser feito tanto na forma não hermética como na hermética, a qual pode ter ar normal e/ou aerobiose mínima. Na não hermética, em tonéis metálicos, bombonas plásticas ou caixas de madeira, por não apresentar facilidade de aeração natural, para ser efetiva, os grãos devem ser armazenados com umidade baixa. Os tonéis não devem ser expostos à insolação.

Existem outras alternativas, como a conservação de grãos com umidade de colheita (sem a necessidade de secagem), através de incorporação de ácidos orgânicos - acético e propiônico ou a mistura de ambos ou, a armazenagem de grãos secos com a mistura de areia (seca) ou cinzas.

O armazenamento hermético, em tonéis ou bombonas, oferece bons resultados, superando um ano, se a umidade estiver próxima a 13%, em se tratando de grãos amiláceos. É possível ser reduzida a aerobiose com a queima de um chumaço de algodão embebido em álcool, sendo fechado o recipiente enquanto o algodão queima. Nesse caso, é possível a conservação de grãos com até 18% de umidade. Grãos com umidade entre 18 e 25%, especialmente se destinados para alimentação animal, podem ser armazenados com boa conservabilidade por até um ano, com a incorporação de até 2% dos ácidos orgânicos de cadeia carbônica curta.

Pequenas quantidades podem, também, ser mantidas em sacaria, em galpões bem arejados. Nesse caso, os grãos devem conter 1% menos de umidade do que a recomendada para silos aerados. Para durações de 90-120 dias, os grãos sem secagem podem, igualmente, ser armazenados nesse sistema, também, pela incorporação de até 2% de ácidos orgânicos de cadeia curta.

Os galpões devem dispor de dispositivos anti-ratos. É conveniente que os de madeira e os de tela ou bambu sejam construídos sobre pilares dotados de “chapéu chinês” ou “saia de lata”. Nos galpões de alvenaria, devem ser bem reforçados o piso e a parte inferior das paredes. Estas, além disso, precisam ser bem lisas. Tais medidas servem para impedir a construção de

galerias e/ou subida de ratos pelas paredes. Nas janelas - todas altas e voltadas para o lado oposto aos ventos predominantes, devem ser colocadas telas para evitar a entrada de pássaros. As “tampas” das janelas devem ser afixadas por dobradiças presas na parte horizontal superior do marco e devem permanecer abertas enquanto não estiver chovendo. As portas devem ficar na direção dos ventos predominantes e dispor de escada removível.

Cuidados como estes, na construção, facilitam a convecção natural, com a entrada de ar frio, pelas aberturas inferiores (portas) e a saída de ar quente, pelas janelas instaladas no lado oposto e/ou pelos lanternins telados, na parte superior, melhorando a conservação do produto. As pilhas de sacos, colocadas sobre estrados de madeiras, facilitam a aeração e reduzem os problemas de infiltração da umidade.

O armazenamento em sacaria, para ser eficiente, requer grãos secos, locais bem ventilados e pilhas com 4,5 - 5,5m de altura e 19m de comprimento, no máximo, por questões de segurança e operacionalidade. As pilhas devem ficar afastadas cerca de 0,5m a 0,6m das paredes.

A armazenagem convencional, extensivamente utilizada no Brasil, usa estruturas como armazéns e/ou depósitos de construção relativamente simples, de alvenaria, na quase totalidade, com o acondicionamento dos grãos em sacaria.

A maior área específica de trocas térmicas e hídricas, o maior espectro de contaminação microbiana e ataque de insetos, ácaros e roedores durante o armazenamento, o custo da embalagem e a menor operacionalidade são importantes limitações do armazenamento convencional em relação ao sistema a granel.

A tradição, a versatilidade de utilização das instalações, que permite o armazenamento, na mesma construção, de mais de uma espécie e/ou cultivar de grãos, com destinos distintos, e a utilização das edificações para outros fins que não a armazenagem, como a guarda de maquinaria agrícola e adubos, os custos do investimento inferiores em relação ao silo ou ao armazém graneleiro caracterizam o sistema convencional, que ainda predomina em nível de propriedade rural.

No sistema convencional de armazenagem, a principal vantagem está na versatilidade, na medida em que permite a estocagem de vários produtos, na mesma construção, embora ele não aceite automação no manuseio, nem a termometria clássica no controle da qualidade durante o armazenamento, e também nele não seja possível fazer aeração forçada. Assim, os grãos devem ser armazenados com cerca de 1% menos de umidade do que a admitida para silos aerados nas mesmas condições ambientais, a fim de manter a sua qualidade durante a armazenagem. O armazenamento de grãos nesse sistema exige tratamentos e cuidados especiais contra pragas. Este assunto está contemplado em capítulos específicos.

A armazenagem a granel é mais adequada para grandes ou médias quantidades, em armazéns graneleiros de alvenaria em silos de concreto, ou, em silos metálicos. Ainda assim, para manutenção da qualidade, são necessários dispositivos de aeração e controle de temperatura.

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

O comportamento de grãos pequenos num silo ou graneleiro é semelhante para todas as espécies, havendo diferenças em relação aos de maior tamanho, principalmente, pela maior tendência à compactação e pela maior resistência à passagem do ar, durante a aeração. Tais dificuldades podem ser corrigidas através de intra-silagem parcial ou total da carga de silo

e/ou transilagens periódicas, durante o armazenamento, a cada período de 60 dias ou, no máximo, 90 dias.

A intra-silagem parcial é feita através da interrupção do carregamento de silo, enquanto a altura da camada de grãos se situar entre um terço e a metade da capacidade estática do silo. A seguir, os que se encontram no terço inferior do silo (fundo) são retirados e recolocados novamente no silo. Assim, a compactação fica reduzida e os grãos, que se quebraram ao impacto com o piso, são redistribuídos, o que evita sua concentração na base do silo, possibilitando, conseqüentemente, maior eficiência da aeração forçada. Por outro lado, a quebra de grãos, durante a operação de carregamento, pode ser atenuada, se houver dispositivos de redução de velocidade de carga, entre a saída do elevador e o silo, e o ventilador for ligado, no sentido da insuflação, no início do carregamento.

Diariamente, durante o armazenamento, a temperatura deve ser controlada, por termometria. O aumento de temperatura da massa de grãos requer a adoção de cuidados para o seu controle. Quando essa elevação atingir 4 a 5°C, deve ser acionada a ventilação forçada, até que a diferença seja reduzida para 1 a 2°C de maneira uniforme. De outro modo, devem ser utilizados os parâmetros constantes em diagramas de aeração de cereais.

O milho pode ser armazenado em espiga, com palha. Para isso, é importante que esteja bem seco e que o local de armazenamento seja bem ventilado.

Os paióis tradicionais podem ser melhorados pelo aumento da ventilação e pela colocação de protetores anti-ratos. A limpeza dos paióis e dos arredores é indispensável para o controle de roedores e de pragas.

Paióis de tela, se bem construídos, podem continuar a secagem natural do produto após a colheita. Os ripados e os construídos com materiais disponíveis nas propriedades, como bambu, podem também ser utilizados com excelente conservabilidade do produto. Já os paióis de alvenaria, tipo *Chapecó*, além de facilitarem a secagem e a aeração por convecção natural do ar, como os anteriormente citados, também permitem a realização da operação de expurgo. São mais versáteis, mas de construção mais onerosa.

CAPÍTULO IV

PRAGAS E MICRORGANISMOS DE GRÃOS ARMAZENADOS

Os fatores de perdas em grãos armazenados podem ser agrupados em autodecomposição, ataque microbiano, ação de pragas e danos físicos. Embora existam estreitas correlações entre eles, é possível se estabelecer predominância de características diferenciadas para cada origem. Estudados isoladamente, ou em conjunto, representam aspectos quantitativos e qualitativos. Enquanto são predominantemente os dois primeiros, os dois últimos são essencialmente quantitativos.

A autodecomposição é caracterizada pelo metabolismo dos próprios grãos. Os grãos armazenados são organismos vivos, por isso respiram, consumindo reservas nutritivas, produzindo calor, umidade e gás carbônico. Além da respiração, outras reações químicas e bioquímicas provocam consumo e/ou transformação dos compostos químicos, resultando em perdas do produto. Se não forem removidos da massa de grãos, o calor e a água produzidos no armazenamento aceleram as reações de autodecomposição favorecendo o desenvolvimento microbiano e a produção de toxinas, além de insetos e ácaros, que depreciam o produto. Temperatura e umidade elevadas, dos grãos e/ou do ambiente, intensificam as reações de autodecomposição.

Os fatores que influenciam a qualidade do grão são:

- a) características de espécies e variedades;
- b) condições edafoclimáticas na fase de desenvolvimento das culturas;
- c) época e condição de colheita;
- d) métodos de secagem;
- e) sistema de armazenamento e métodos de conservação.

As propriedades desejáveis para a conservação e/ou consumo do produto são:

- a) umidade uniforme e relativamente baixa;
- b) baixas percentagens de grãos quebrados, brocados, danificados e de materiais estranhos;
- c) baixa suscetibilidade à quebra;
- d) alto peso específico;
- e) alto rendimento em farinha (moagibilidade)
- f) boa conservabilidade do óleo;
- g) elevado valor protéico;
- h) alta viabilidade (semente);
- i) baixos índices de contaminação por microrganismos;
- j) alto valor nutricional.

Embora importantes, nem todas essas propriedades são essenciais para todas as situações. Aos produtores de sementes mais interessa o item h; aos moageiros, interessam os itens e, f, e g; aos fabricantes de rações, o i, e o j; aos comerciantes, o a, o b, o c, e o d.

4.1. PRAGAS

Os grãos armazenados são atacados por pragas (roedores, insetos e ácaros), que causam sérios prejuízos qualitativos e quantitativos. Há necessidade de se dar a devida atenção a esses seres vivos, pois de pouco adiantam todos os cuidados e despesas para o controle dos danos na lavoura, se o produto for atacado e destruído nos depósitos.

Estima-se que as perdas de grãos, causadas por insetos, ácaros e roedores, estejam na faixa de 20 a 30% e sejam devidas, sobretudo, às precárias condições de armazenamento no Brasil.

Depois da ação de pragas, restam grãos danificados que aceleram a deterioração da massa, facilitando o desenvolvimento da microflora. Além de reduzirem a qualidade, os fungos podem comprometer a sanidade dos grãos. Fungos, como o *Aspergillus flavus*, encontrados no amendoim e em outros grãos, produzem substâncias tóxicas denominadas aflatoxinas, que em excesso no corpo humano podem causar danos ao sistema nervoso de mamíferos e problemas no fígado, como cirrose e câncer. Apesar de a aflatoxina estar freqüentemente associada ao amendoim, arroz, milho e outros grãos também podem contê-la.

4.1.1. ROEDORES

Os roedores de importância em armazenamento de grãos e derivados pertencem à classe dos *Mamíferos*, à ordem *Rodentia*, à família *Muridae* e aos gêneros *Mus* e *Rattus*. As espécies mais comuns são *Mus musculus*, *Rattus norvegicus* e *Rattus rattus*.

Os ratos e as ratazanas representam um problema muito sério no processo de manejo e conservação de grãos armazenados. Estes roedores destroem produtos em quantidades dez vezes maiores do que realmente podem consumir como alimento. Um casal de ratos num armazém consome cerca de 14kg de alimento entre o outono e o inverno. O mais grave, porém, é que neste período (meio ano) expelem, como excremento, correspondente quantidade de resíduos sólidos e mais de 5,5 litros de urina, além de perderem milhares de pêlos, contaminando os produtos dos quais se alimentam.

Há estimativas de que, em muitas comunidades do mundo, a população de roedores seja igual à humana e de que esses animais possam destruir anualmente quantidades de alimentos equivalentes ao consumo de 10 milhões de pessoas.

Ratos e ratazanas se reproduzem de 6 a 12 vezes por ano, com uma média de 8 crias por parto, as quais, por sua vez, atingem a capacidade de reprodução na idade de 3 a 4 meses.

Por serem roedores, seus dentes incisivos permitem que eles abram orifícios em uma série de materiais, como madeira, sacaria, barro, tijolos e até concreto. Podem também causar danos em encanamentos e instalações elétricas, podendo causar incêndios (curtos-circuitos), além de danos a embalagens e equipamentos. Sendo seus incisivos dotados de polpas persistentes, apresentam crescimento contínuo, compensando o forte desgaste a que são submetidos. Tais dentes apresentam sempre a coroa cortada em bisel, em função do tipo de desgaste.

A importância dos roedores também é ressaltada pelo fato destes animais constituírem um sério perigo à saúde humana e a de animais domésticos, pois são portadores ou transmissores de pelo menos dez graves doenças, como leptospirose, tifo endêmico, peste bubônica, icterícia, poliomielite e raiva, entre outras, seja por mordedura direta, por deposição de urina e excrementos, ou através de seus parasitos internos e externos.

4.1.1.1. Principais roedores de armazéns e depósitos

Importantes pelos danos causados no armazenamento de grãos e derivados (Tabela 24) tanto a ratazana (*Rattus norvegicus*), como o rato dos telhados (*Rattus rattus*) e o camundongo (*Mus musculus*) resistem a mudanças radicais de alimentos e se alimentam à noite

preferencialmente. A ratazana e o camundongo se afastam somente cerca de 20 a 30 metros de suas tocas; já o rato dos telhados tem área de disposição mais ampla.

4.1.1.2. Controle de roedores

A efetividade no combate a roedores se apóia basicamente no conhecimento de sua biologia e de seus hábitos. O combate deve ser sistemático, constante e realizado de forma integrada.

Além dos conhecimentos sobre biologia, hábitos, preferências alimentares, locais de reprodução e intensidade de infestação, uma parte importante na eficiência e na eficácia dos programas de controle é a identificação dos sinais de infestação, os quais incluem, principalmente, as trilhas, os derramamentos de produtos, os furos abertos em vasilhames, sacaria e/ou outros materiais no interior dos armazéns e as manchas de urina.

Como os ratos costumam apresentar rotas regulares em seus movimentos, acabam produzindo pistas mais ou menos bem definidas. No interior das unidades armazenadoras, as trajetórias se evidenciam através de poeira e restos de grãos normalmente existentes no chão. Nas partes externas das edificações as pistas são evidenciadas pela existência de um caminho liso, isento de vegetação. Geralmente, são os chamados caminhos de “ratos”.

A presença de buracos em locais de madeira ou nas sacarias são sinais de presença de ratos. Quando roem sacarias e vasilhames, produzem aberturas bem maiores do que as necessárias para retirarem os grãos de que necessitam para se alimentarem, provocando perdas bem maiores do que o consumo. A presença de materiais derramados no interior do armazém costuma ser reveladora da existência de infestações.

A urina dos ratos normalmente apresenta fluorescência quando exposta à ação de uma lâmpada ultravioleta. Essa pode ser uma forma de detecção dos locais onde os roedores freqüentam nas infestações.

Na primeira aplicação de raticida, deve ser exterminado o máximo possível da população, pois esse decréscimo significará uma vantagem nas operações subseqüentes, facilitando a manutenção restante em níveis que não representem danos econômicos importantes.

Nos armazéns, devem ser bem fechadas bem as portas e demais aberturas, para dificultar o acesso de ratos. É importante tapar, com cimento e pedaços de vidro, todos os buracos utilizados pelos roedores dentro ou ao redor do armazém.

4.1.1.2.1. Armadilhas

Usadas geralmente como complemento de outros métodos de controle, devem ser colocadas em lugares estratégicos: caminho habitual, saída de tocas e caminho de acesso a outros compartimentos do armazém. No começo, é conveniente serem colocadas poucas armadilhas, bem distribuídas, sendo aumentado o seu número conforme a eliminação dos roedores. Este método requer o exame diário de cada armadilha e a sua preparação para o funcionamento contínuo.

4.1.1.2.2. Iscas envenenadas

Devem ser atrativas e agradáveis aos roedores. Raticidas insolúveis devem estar bem pulverizados no material portador (farinha, pão moído, amido, farinha de batata, farinha de peixe com casca de arroz, grãos quebrados, grãos cozidos e macerados, cenoura, etc). Raticidas solúveis devem ser primeiramente dissolvidos em água, para depôs serem misturados em suspensão com o material portador. No controle pelo uso de raticidas, é

fundamental adequar a dosagem e as características técnicas dos produtos às necessidades de cada caso.

É desaconselhável utilizar gorduras que rancifiquem rapidamente e tornem a isca ineficiente. Deve-se usar antioxidante para preservar e prolongar a ação tóxica da isca.

Recomenda-se oferecer a isca sem o material tóxico por 2 a 4 dias, a fim de ser conquistada a aceitabilidade pelos roedores. Esta estratégia proporciona excelentes resultados, sobretudo no caso de serem usados produtos tóxicos severos e de ação rápida, que causam a morte somente com uma ingestão.

4.1.1.2.3. Fumigação

A fumigação, quando aplicada nas tocas, apresenta bons resultados. Nunca deve ser efetuada em construções habitadas pelo homem ou por animais domésticos, pois pode ser fatal.

O uso de cianureto de cálcio, em doses de 30 a 50g por toca, seguido de fechamento imediato com a mistura de cimento, terra e vidros, é muito eficiente para o combate de roedores dentro e fora dos armazéns. Já o bissulfeto de carbono, em doses de 30 a 60g por toca, apresenta bons resultados, mas é inflamável e pode apresentar perigo de incêndio. Sua utilização é restrita para aplicações fora de construções ou no campo.

4.1.1.2.4. Controle natural

O uso de predadores (cães, gatos, corujas), microrganismos ou repelentes apresenta bons resultados, mas é de difícil utilização prática. A manutenção de inimigos naturais, além de predação, espanta os roedores, dificultando também sua reprodução.

4.1.1.2.5. Controle preventivo

Uma medida de grande eficácia no combate aos roedores é a construção de armazéns e paióis com dispositivos anti-ratos. Os paióis de madeira devem ser elevados, com altura mínima entre o piso e o solo de um metro. Para evitar as subidas de ratos, esteios e/ou colunas devem ser dotadas de saia de lata ou chapéu chinês.

A limpeza, tanto interna como dos arredores, é o primeiro dos requisitos a ser empregado dentre as medidas destinadas a prevenir a infestação de ratos em unidades armazenadoras. A instalação de dispositivos específicos só tem eficácia se associado com as medidas de limpeza.

Nas construções de alvenaria, as paredes devem ser recobertas com argamassa até a altura de 30cm e, apoiadas diretamente sobre o terreno, tendo como base vigas de concreto de 60cm de espessura, no mínimo. Toda vegetação alta em volta dos armazéns, os entulhos e outros materiais que possam servir de esconderijos para os ratos devem ser eliminados.

Devem ser vedados todos os buracos e as fendas que não tenham como função a aeração. As janelas e aberturas de ventilação devem ser protegidas com telas metálicas e as portas devem conter dispositivos que permitam boa vedação, quando fechadas, como vedantes de borracha ou similares, por exemplo.

4.1.2. INSETOS

Os resultados da ação de insetos em grãos armazenados se traduzem em perdas de peso e de poder germinativo, desvalorizações comerciais do produto, disseminação de fungos e origem de bolsas de calor durante o armazenamento.

Os insetos encontrados nos produtos armazenados podem ser classificados, segundo suas características biológicas e de ecossistema, em pragas primárias e secundárias, pragas associadas e de infestação cruzada.

Pragas primárias são aquelas que atacam grãos íntegros e sadios e podem ser denominadas pragas primárias internas ou externas, dependendo da parte do grão que atacam. São primárias internas as que perfuram os grãos e neles penetram para completar seu desenvolvimento, alimentando-se de todo o interior do grão e possibilitando a instalação nele de outros agentes de deterioração. Os principais exemplos dessas pragas são *Rhyzopertha dominica*, *Sitophilus oryzae*, *Sitophilus zeamais* e *Sitotroga cerealella*. Já as primárias externas destroem a parte exterior do grão para poderem se alimentar da parte interna sem, no entanto, se desenvolverem no interior do grão. A destruição do grão é apenas para alimentação. O exemplo mais conhecido desta praga é a traça *Plodia interpunctella*.

As pragas secundárias se caracterizam por se alimentarem de grãos já danificados por insetos primários ou roedores, trincados, quebrados e/ou com defeitos na casca, pois não conseguem atacar grãos inteiros. Elas só ocorrem na massa de grãos quando estes estão com a integridade física comprometida. Multiplicam-se rapidamente e causam grandes prejuízos. São exemplos as espécies *Tribolium castaneum*, *Oryzaephilus surinamensis* e *Cryptolestes ferrugineus*.

As pragas associadas não atacam diretamente o grão. Alimentam-se dos resíduos resultantes do ataque das pragas primárias e secundárias e dos fungos associados aos grãos, prejudicando o aspecto e a qualidade do produto armazenado.

Pragas de infestação cruzada são aquelas que atacam o produto tanto na lavoura como durante o armazenamento. Os principais exemplos são o *Sitophilus oryzae* e *S. zeamais*.

Grãos de arroz, milho, trigo, assim como os de outras espécies e seus subprodutos, podem ser atacados por insetos de mais de trinta espécies. Os que causam maiores danos são conhecidos como gorgulhos e traças dos cereais. As espécies mais importantes são *Sitophilus zeamais* (Mots, 1855) - gorgulho do milho, *Sitophilus granarius* (L. 1758) - gorgulho do trigo (Figura 32) e o *Sitophilus oryzae* - gorgulho do arroz. Esses insetos podem atacar qualquer tipo de cereal.

Os gorgulhos são coleópteros (cascudos, besouros) que, quando adultos, possuem corpo alongado e cabeça com uma projeção anterior, em cuja extremidade estão as peças bucais. As lavas desses insetos são de coloração amarelo clara ou esbranquiçada, sendo desprovidas de pernas (ápodas).

As traças são insetos da ordem lepidóptera, de hábitos noturnos predominantemente, como as mariposas, e atacam somente a superfície da massa de grãos. Destas, as espécies que representam maiores prejuízos para os cereais são *Sitotroga cerealella* (Oliver, 1897) - traça dos cereais, e *Plodia interpunctella* (Hjebner, 1813) - traça indiana dos cereais. A infestação pode ser verificada pela presença desses insetos voando pelo armazém, sendo que a traça indiana é mais ativa à noite. Somente as lavas atacam os grãos.

As pragas mais importantes no armazenamento de grãos de leguminosas (feijão, ervilha, lentilha, tremoço, fava e outros) são os carunchos e as traças.

Os carunchos são insetos pertencentes à ordem coleóptera (cascudos, besouros). As espécies mais comuns são: *Acanthoscelides obtectus* (Say, 1831 - Figura 33) e *Zabrotes subfaciatus* (Boh, 1833), também conhecidos como carunchos do feijão. São pragas de infestação cruzada e de hábitos cosmopolitas (existem disseminados em todo globo terrestre). As larvas, ao eclodirem no interior do grão, se alimentam do endosperma e o destroem. Na fase adulta, são cascudos de coloração castanho-escuro, corpo ovóide e pubescente.

5.1.2.1. Controle com inseticidas fumigantes

Nesses métodos de controle de pragas, também conhecidos por herméticos, é introduzido o inseticida e há, aos poucos, liberação de um gás, denominado fumigante, letal para os insetos de grãos armazenados, mas também para o homem e os animais, daí a necessidade de cuidados muito especiais na sua aplicação. Nos insetos adultos e nas fases jovens (larva e pupa), o inseticida age através do seu sistema respiratório, enquanto na fase de ovos, a difusão do gás ocorre através da membrana ou dos canais respiratórios.

A fumigação, se bem executada, tem uma eficiência de 100%, matando os insetos em todas as suas fases - ovo, larva, pupa e adulto - já estabelecidos nos grãos.

A eficiência do fumigante utilizado depende de inúmeros fatores, como temperatura e umidade dos grãos e do ar, área de contato do grão com o fumigante, tipo de estrutura usada no armazenamento e tempo de exposição da massa de grãos ao inseticida. Neste último, influem a concentração do inseticida, a espécie de inseto, a sua fase biológica e as condições ambientais. A densidade do fumigante depende da concentração do inseticida e de sua uniformidade na massa de grãos. Quanto menos denso, maior é a difusão do gás. Gases muito densos podem sedimentar, havendo necessidade de forçar a distribuição através de dispositivos de aeração (ventilação forçada).

O controle feito através de fumigação ou expurgo é de caráter corretivo (alguns o denominam curativo, embora este termo geralmente signifique meio que facilite ao organismo recuperar tecidos, sarar, o que não ocorre nos tratamentos em questão. Eles podem apenas eliminar o agente causal). Não sendo preventivo, podem ocorrer novas infestações. Deve-se, então, repetir o processo periodicamente ou complementá-lo com métodos preventivos eficientes.

Os principais fumigantes usados para tratamento de grãos armazenados são a fosfina e o brometo de metila, embora este último seja mais produzido, sendo permitido apenas o uso dos estoques remanescentes e esteja próxima a proibição total de sua utilização, dentre outras razões, pelos nefastos efeitos ambientais causados, como à camada de ozônio. A fosfina é 1,37 e o brometo de metila é 3,27 vezes mais pesado do que o ar.

A fosfina é encontrada no comércio na forma de pastilhas ou tabletes e comprimidos (Gastoxim B., Phostoxim). É um produto altamente tóxico, extremamente eficiente para o controle de insetos de grãos armazenados. O gás se origina da hidrólise do fosfeto de alumínio ou de magnésio em contato com a umidade do ar ambiente, de acordo com as reações apresentadas a seguir.

Se for utilizado fosfeto de alumínio:



Se for utilizado fosfeto de magnésio:



4.1.3. ÁCAROS

Os ácaros atacam as farinhas, os farelos e todas as espécies de grãos, predominantemente os danificados. Mais de oitenta espécies de ácaros podem ocorrer em grãos armazenados, especialmente em climas temperados.

Os danos causados por esses seres vivos em cereais não têm sido ainda extensivamente estudados em comparação com os de outras pragas, principalmente os de insetos.

No ambiente de armazenamento, os ácaros atuam associadamente com outros seres.

O sucesso no controle dessas pragas requer conhecimento profundo de sua biologia, seus hábitos e das interações com fatores do ambiente e condições de armazenamento, além da avaliação econômica dos danos causados. As perdas provocadas por infestações de ácaros podem ser minimizadas pelo armazenamento dos grãos com umidade baixa, em ambientes secos e com baixa temperatura.

Nas condições de armazenamento, os ácaros requerem umidades dos grãos mais elevadas (13,5 a 15%) do que os insetos. Também podem permanecer ativos em temperaturas relativamente mais altas (até 45°C).

As principais medidas de controle de ácaros em armazenamento de grãos incluem:

- rigoroso acompanhamento das condições de umidade relativa e da temperatura do ar, para mantê-las em valores baixos;
- manutenção da umidade do produto de tal forma que entre em equilíbrio com a umidade relativa do ar a 68% ou menor;
- aplicação de termoterapia nos grãos, que consiste em manter o produto a 60°C, durante um mínimo de 10 minutos;
- integradamente com outras medidas, usar acaricidas como aramite, clorbenzilato, tetradifon, clorfenson e dicofol.

4.2. MICRORGANISMOS

Os fungos estão entre as principais causas de deterioração dos grãos armazenados, sendo superados apenas pelos insetos. Insetos e roedores são controlados no armazenamento comercial, mas provavelmente sejam os fungos os principais deterioradores, como agentes, pois no primeiro estágio de germinação podem ser suficientes para destruir a viabilidade das sementes. Danos às propriedades sensoriais e aquecimento dos grãos são sintomas típicos de ataque fúngico, apesar de sua ação invisível. É importante conhecer os prejuízos causados pelos fungos, mas é mais importante conhecer as condições para o seu desenvolvimento. Umidade e temperatura elevadas, aliadas a métodos inadequados de armazenamento e manuseio dos grãos são fatores combinados que resultam em maior desenvolvimento fúngico, causando as maiores perdas em grãos.

Cerca de cem espécies de fungos já foram isolados em grãos. Eles necessitam um mínimo e um ótimo de umidade relativa e de temperatura para se desenvolverem. A temperatura ótima para o desenvolvimento dos fungos de grãos armazenados se situa entre 25 e 30°C. Alguns fungos se desenvolvem bem ao redor de 37°C, enquanto a temperatura mínima é específica e pode ser bastante diferente para cada espécie. Existem fungos capazes de suportar até temperaturas de congelamento.

A faixa de umidade relativa que os fungos suportem é mais importante do que a temperatura ótima. O tipo de grão e a danificação mecânica limitam a armazenagem de grãos com umidades mais elevadas. O mínimo de umidade para a germinação de esporos é 65%, todavia alguns exigem 93%. Diminuir-se a umidade relativa do ar no ambiente de armazenamento para valores abaixo de 65%, significa reduzir a atividade da maioria dos fungos.

Os principais danos causados, nos grãos, por fungos, são:

- a) aquecimento e emboloramento;
- b) alterações na coloração e aparecimento de manchas;
- c) alterações no odor e no sabor;
- d) alterações da composição química;
- e) perdas de matéria seca.
- f) diminuição do poder germinativo;
- g) produção de toxinas;

Todas essas alterações podem ser visíveis ou não. A contaminação fúngica pode ter início durante a fase de produção, no campo, ou após a colheita.

Os fungos de campo são representados principalmente pelos gêneros *Cladosporium*, *Helminthosporium*, *Alternaria*, *Fusarium*, *Phoma* e *Aspergillus*. Esses fungos podem ser completamente destruídos durante a secagem; se os grãos forem adequadamente secos permanecem dormentes; se a secagem não for adequada, se desenvolvem os fungos de armazenamento e não os de campo.

A contaminação por fungos pode ocorrer antes da colheita, enquanto as plantas estão crescendo no campo, ou depois que o grão for colhido, antes do seu armazenamento, ou durante ele. Uma exceção comum para isso é o milho armazenado úmido, na espiga, em caixotes, que pode ser atacado por um típico fungo de campo. A maioria dos fungos requer umidade alta nos grãos, de 22 a 23% (em base úmida), que se equilibra com umidade relativa de 90 a 100%.

Os fungos podem causar a descoloração e/ou o enrugamento dos grãos, enfraquecer ou matar o embrião, causar a perda do poder germinativo, o apodrecimento da raiz e outros efeitos que se manifestam na germinação destas sementes e/ou na fase jovem da planta. Os fitopatogênicos, típicos de campo, morrem rapidamente em grãos em equilíbrio com umidade relativa do ar próxima a 70-75%. Os típicos de armazenamento resistem a umidades maiores. Algumas espécies de *Aspergillus*, que são as mais resistentes dentre os fungos de armazenamento, se desenvolvem com umidade relativa de 65%.

Testes com amostras em relação à umidade e à contaminação por fungos fornecem informações sobre as condições de estocagem que não podem ser obtidas através dos registros do armazém. Os danos causados pelos fungos de armazenamento são bem maiores do que os produzidos pelos fungos do campo. Poucos esporos dos fungos de armazenamento estão presentes nos grãos antes da colheita.

Os fungos de armazenamento são abundantes em redor das propriedades, em restos de grãos mofados em armazéns, silos e em elevadores de grãos; assim, poucos lotes de grãos estão livres da sua contaminação. Quando as condições de umidade e temperatura são propícias, os esporos germinam e crescem, causando o mofamento de grãos durante o armazenamento.

As condições que possibilitam o desenvolvimento dos fungos de armazenamento são:

- a) a umidade dos grãos;
- b) a temperatura dos grãos;
- c) a integridade física dos grãos;
- d) as condições de armazenamento dos grãos;
- e) a quantidade de impurezas na massa de grãos;
- f) a presença de organismos estranhos.

Grãos de milho, por exemplo, a 27°C e com 12,5 a 13,5% de umidade, podem estar propensos a infestações fúngicas. A umidade média do grão no silo não determina a segurança de armazenamento dos grãos. O dano pode ocorrer em locais isolados no silo, onde a umidade for alta. Grãos armazenados com umidade média relativamente baixa (13%), mas variando na faixa de 10 a 16%, não estão a salvo por um longo período de estocagem, devido à umidade excessiva de parte deles (16%).

As condições do grão no início do período de estocagem afetam o período seguro de armazenamento. Além de umidade e temperatura ambiental favoráveis, os fungos de armazenamento requerem um produto como suprimento alimentar. Um grão com tegumento em bom estado dificulta o acesso dos fungos ao amido do endosperma. Portanto, um grão com tegumento intacto tem melhores condições de armazenamento do que aqueles que estejam com trincamentos e/ou quebras. Acelerar excessivamente a secagem para prevenir o desenvolvimento de fungos pode acabar por danificar os grãos e resultar em frustrações de expectativas.

Os grãos que quebram durante a colheita, a secagem, a limpeza e/ou as operações de transporte ou armazenamento, têm potencializadas as atividades metabólicas, contribuindo, juntamente com as presenças de impurezas e de outros organismos, para o desenvolvimento dos fungos de estocagem. Atividades de insetos e ácaros acarretam incrementos na umidade e na temperatura dos grãos, aumentando as probabilidades de desenvolvimento de mofos.

Os principais fungos de armazenamento do gênero *Aspergillus* são: *A. restrictus*, *A. glaucus*, *A. candidus*, *A. ochraceus* e *A. flavus*. Outros gêneros importantes são *Penicillium* e *Fusarium*.

Os fungos atacam os grãos com umidade a partir de 12% para soja, 12,5% para sorgo e 13% para milho e trigo. Além da descoloração do embrião, de partes do grão ou de todo ele, e da danificação ou morte do embrião (semente), alguns causam as manchas do “olho azul”, mofamento e endurecimento do grão.

Alguns fungos produzem substâncias tóxicas, durante o armazenamento, denominadas micotoxinas. A aflatoxina, que é produzida principalmente por *Aspergillus flavus* (Figuras 44 e 45), é a mais importante delas.

É muito comum em amendoim, torta de amendoim, algodão e torta de soja, tendo menor incidência em grãos inteiros de cereais como trigo, milho, sorgo, centeio, arroz e outros, mas ainda assim é preciso cuidado. É toxina letal para animais jovens, já tendo ocorrido também casos de morte de crianças (raro), tanto por ingestão direta do alimento contaminado, como através do leite.

A aflatoxina, se consumida com regularidade ao longo do tempo, pode causar vários tipos de câncer, sendo mais comuns o de fígado e o de rins. Ela é considerada uma das mais potentes substâncias cancerígenas naturais, sendo comum o câncer se manifestar nos casos em que os animais sensíveis consomem várias vezes pequenas quantidades da toxina. Doses elevadas, porém, podem levar à morte em poucos dias.

A aflatoxina também pode ser letal para cobaias, patinhos e peruzinhos, de um dia, alimentados com leite de vaca que tenha ingerido rações contaminadas pela toxina. Ela passa das mães às crias, no leite, com efeito cumulativo, fazendo mal aos animais jovens, ainda que o adulto não mostre sinais de toxicidade. Esta toxina é muito resistente ao calor, sendo possível sua destruição com substâncias químicas, como oxipropileno, cloro gasoso, SO₂, ácidos e álcalis.

Nem todo o alimento contaminado por fungos (Figura 46) possui a toxina, mas como sua presença é invisível a olho nu, muitas vezes uma aparência de produto sadio pode não significar a inexistência de substâncias tóxicas. Em consequência disso, é interessante se controlar o máximo possível a contaminação por fungos.

O *Aspergillus ochraceus* e o *Penicillium verrucosum* produzem a ocratoxina, uma substância também bastante tóxica, semelhante a aflatoxina. Existem outras toxinas, associadas a doenças de fígado, de sangue e de rins, que também causam convulsões e vômitos, que tingem o arroz de amarelo.

As rubratoxinas produzidas por *Penicillium rubrum* tingem o produto de vermelho, não são cancerígenas, mas causam principalmente hemorragias. Estão associadas à ingestão de produtos como feno e grãos mofados.

Outros fungos causam problemas de aquecimento rápido da massa de grãos, como *A. flavus*, os quais podem ser controlados por ação rápida de aeração, transilagens, intra-silagem e/ou retificação de secagem.

O fungo *Fusarium culmorum* (Figura 47) também tem sido relacionado a surtos de toxicose em gado leiteiro, devido à ingestão de milho contaminado. Os sintomas envolvem a queda de lactação e a perda de apetite.

Há vários fungos que produzem a zearalenona, substância tóxica relacionada com o efeito de hiperestrogenismo, que ocorre principalmente em suínos, alimentados com rações mofadas. Esta toxina pode também provocar infertilidade e aborto e ainda crescimento de mamas em machos.

Durante centenas de anos, se tem observado as diferentes alterações que ocorrem no sabor e na qualidade dos alimentos, devidas ao crescimento de fungos. Algumas destas transformações são desejáveis e mesmo necessárias a alguns alimentos, como ocorre com o sabor e o odor dos diferentes tipos e variedades de queijos. Entretanto, em muitos casos, os fungos podem causar transformações indesejáveis aos alimentos, produzindo sabores e odores desagradáveis, além da decomposição e da produção de micotoxinas em graus variáveis. A decomposição que ocorre nos alimentos *in natura* e em produtos alimentícios processados nem sempre se caracteriza apenas nas propriedades sensoriais, podendo, eventualmente, acarretar conseqüências danosas e prejudiciais à saúde do homem e dos animais.

Substâncias tóxicas associadas a vegetais ou a produtos de origem vegetal, utilizados para alimentação humana e de animais, têm sido noticiadas desde tempos bíblicos. Um exemplo é o ergotismo, doença causada pela ingestão de toxinas produzidas pelo fungo *Claviceps purpurea*, o qual infesta cereais e outras gramíneas, cujos relatos datam de 600 a.C.

Na França entre os séculos XI e XVI, foram constatados quadros patológicos ocorridos em populações que se alimentavam com pães elaborados a partir de farinha de centeio, contaminada com fungos. A doença, caracterizada posteriormente como ergotismo, produzia convulsões, gangrena seca das extremidades e surgia de forma epidêmica em conseqüência da ingestão de micotoxinas presentes nos escleródios (esporão do centeio) do fungo *Ascomycete Claviceps purpurea*. Os animais domésticos também eram afetados pelos ergoalcalóides, quando consumiam feno, centeio e outros cereais contaminados pelo *C. purpurea*. O ergotismo, nesses animais, se manifestava sob a forma gangrenosa e nervosa, dependendo das características do ergoalcalóide ingerido.

Os fungos podem ser saprófitos ou parasitas. Os saprófitos podem causar a deterioração dos mais variados produtos e subprodutos agrícolas, tais como sementes, grãos, rações, fibras e alimentos, embalados ou não. Os parasitas causam doenças nas culturas no campo, como ferrugem, oídio, giberella, septoria, carvão e outras tantas.

Dentre os fungos de depósito ou armazenamento, algumas espécies dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* constituem os fungos que mais proliferam nos grãos armazenados. Esses gêneros, juntamente com o *Fusarium*, são os maiores produtores de micotoxinas. São capazes de se manterem em desenvolvimento com baixa umidade, produzindo toxinas que reduzem a qualidade nutritiva dos grãos e seu valor de mercado.

Fungos de armazenamento estão sempre presentes em alto número em todo o tipo de material como ar, poeira, água, e são constituintes normais da película de grãos e sementes.

Análises, realizadas pela Food and Drug Administration (FDA), revelam aumentos anuais de 20% na incidência de amostras de grãos contaminados com aflatoxina que ultrapassam os 20ppb de níveis aceitáveis para o consumo humano e diário para animais.

Desde sua descoberta, mais de 17 compostos designados como aflatoxinas já tiveram suas estruturas químicas elucidadas e são metabólitos fúngicos secundários ou produtos de biodegradação. Porém, o termo aflatoxinas se refere a 4 compostos fumarínicos substituídos, contendo um dehidrofurano fusionado e diferentes radicais, os quais determinam sua classificação em B₁, B₂, G₁, G₂, M₁, e M₂, encontradas em alimentos contaminados.

Uma das evidências da presença de fungos armazenados é o aquecimento da massa de grãos, mas alguns fungos não causam aquecimento, tornando difícil detectar sua presença, uma vez que não são visíveis a olho nu. Os efeitos dos principais fungos de grãos armazenados aparecem na Tabela 5.1.

Purificadas, estas substâncias se apresentam como cristais incolores ou levemente amarelados, intensamente fluorescentes quando observadas em luz ultravioleta, de comprimento de onda longo (366nm), e se diferenciam pela cor da fluorescência emitida. As aflatoxinas B emitem fluorescência azul (blue), enquanto as aflatoxinas G emitem fluorescência verde (green). Os sub-índices 1 e 2 indicam a mobilidade cromatográfica relativa. As aflatoxinas M₁, e M₂ apresentam fluorescência azul-violeta, quando observadas em luz ultravioleta de 366nm.

As estruturas químicas das aflatoxinas foram elucidadas na década 1960. O nome aflatoxina se originou do somatório da letra a, proveniente do gênero do fungo produtor (*Aspergillus*), fla, originário da espécie (*flavus*), acrescido da palavra toxina.

Tabela 5.1. Micotoxinas, grãos atacados, fungos produtores de toxinas e riscos para a saúde.

MICOTOXINAS E FUNGOS QUE AS PRODUZEM	PRINCIPAIS GRÃOS	RISCOS PARA A SAÚDE
Aflatoxina (<i>Aspergillus flavus</i> , <i>A. parasiticus</i>)	arroz, amendoim, sorgo, milho e outros oleaginosos	cancerígeno, doenças do fígado e outros efeitos nocivos para o homem, para aves, suínos e bovinos.
Deoxinivalenol (<i>Fusarium graminearum</i> e espécies aparentadas)	trigo, milho, cevada	toxicoses humanas agudas, perturbações internas, inibição no crescimento dos porcos.
Citrinina (<i>Penicillium spp.</i>)	cereais	doenças do fígado no homem e nos porcos.
Fumonisina (<i>Fusarium moniliforme</i> e espécies aparentadas)	Milho	suspeita de causar câncer ao esôfago, doenças em cavalos, porcos e aves.
Ocratoxina (<i>Penicillium verrucosum</i> , <i>Aspergillus ochraceous</i>)	Café, arroz, cevada e trigo	cancerígeno, doenças do fígado e outros efeitos nocivos em suínos e aves.
Zearalenona (<i>Fusarium graminearum</i> e espécies aparentadas)	milho e trigo	possivelmente cancerígeno para o homem, influência na produção porcina.

A zearalenona também teve sua estrutura elucidada em época semelhante, através do isolamento de um composto uterotrófico de milho contaminado por *Gibberella zeae*. Mesmo a estrutura química sendo estabelecida apenas na década de 1960, relatos de 1928 já relacionam problemas de vulvovaginites em suínas com a ingestão de milho deteriorado. O nome Zearalenona é derivado parcialmente do nome da espécie da planta hospedeira (zea-Zea mays) ral de resorcylic acid lactone, en da dupla ligação C:1'-2' e ona de cetona.

As aflatoxinas são pouco solúveis em água (10-30µg.mL⁻¹), insolúveis em solventes apolares e bastante solúveis em solventes orgânicos moderadamente polares, tipo clorofórmio, metanol

e dimetil sulfóxido. São instáveis quando expostas à luz ultravioleta, na presença de oxigênio, a agentes oxidantes ou a valores de pH extremos, menores do que 3 e maiores do que 10. O anel lactona das aflatoxinas é suscetível à ação de álcalis fortes. A aflatoxina também é degradada através da reação com amônia ou hipoclorito de sódio.

O armazenamento é fator determinante na formação de micotoxinas. Produtos armazenados com baixa umidade, temperatura adequada e protegidos da ação de insetos e roedores têm menor possibilidade de contaminação por micotoxinas. Os principais fatores que favorecem o desenvolvimento de fungos, durante o armazenamento, são: umidade, temperatura, tempo de armazenagem, nível de contaminação, impurezas e matérias estranhas, insetos, nível de oxigênio, condições físicas e condições sanitárias dos grãos, das sementes ou das rações.

Julgou-se, por muito tempo, que o *Aspergillus flavus* fosse o único fungo produtor de aflatoxina. *Aspergillus parasiticus* também é capaz de produzi-la, assim como há relatos de produção de aflatoxina por uma espécie rara, o *Aspergillus nomius*.

A proporção com que as aflatoxinas B₁, B₂, G₁ e G₂ estão presentes nos cereais é dependente da espécie de *Aspergillus* presente. *Aspergillus flavus* produz aflatoxinas B₁ e B₂, enquanto o *A. parasiticus* produz as quatro (B₁, B₂, G₁ e G₂). O *A. flavus* está adaptado aos grãos e à parte aérea dos cereais, enquanto o *A. parasiticus* está mais bem adaptado ao solo. Por esta razão, o *A. flavus* é mais comum em milho e sorgo, por exemplo, enquanto o *A. parasiticus* é mais comum em amendoim.

A fosfina, gerada pela reação do fosfeto de alumínio com água, além da conhecida eficiência no controle de insetos, também pode provocar redução de fungos quando expostos a diferentes concentrações desse fumigante, em grãos e *in vitro*.

A produção de aflatoxina pode ocorrer em temperaturas extremas de 12 a 42°C, sendo a temperatura ótima de 27-30°C. Algumas pesquisas, que relatam a influência da temperatura e da umidade relativa na produção de aflatoxina em amostras de milho contaminado com *A. flavus*, concluem que a toxina é produzida pelo fungo, a 15°C, em umidades relativas a partir de 86,5%; a 25°C, a partir de 64% e, a 40°C, a partir de 61,5% de umidade relativa.

A zearalenona é um metabólito secundário produzido por várias espécies de *Fusarium*. Entre todas as espécies, o *F. graminearum* é o maior produtor, sendo o *F. crookwellense* e o *F. semitectum* também considerados produtores de zearalenona.

A melhor temperatura para o crescimento de *Fusarium* spp. é 25°C, porém a maior produção de zearalenona ocorre com temperaturas entre 12-18°C.

Há possibilidade de produção de aflatoxina em milho estocado com 13% de umidade e um posterior reumedecimento, devida à condensação pelo calor. Fungos do gênero *Aspergillus*, por terem características xerofílicas, resistem às condições de estocagem de 13% e após o reumedecimento crescem rapidamente.

A maior parte da aflatoxina responsável pelas intoxicações, tanto em humanos quanto em animais, é absorvida no trato digestivo. Também é possível a absorção através da pele e das vias respiratórias. Estudos recentes demonstram a capacidade da aflatoxina em atravessar a barreira placentária em humanos.

A contaminação máxima permitida para aflatoxinas, na maioria dos países, varia de 5 a 20µg.kg⁻¹, para alimentos destinados ao consumo humano, e de 20 a 50µg.kg⁻¹, para alimentos destinados ao consumo animal. A legislação brasileira tem como limite máximo 30µg.kg⁻¹ (30ppb) para a soma das aflatoxinas B₁ e G₁, em alimentos destinados ao consumo humano.

Os níveis de tolerância considerados aceitáveis para a contaminação de milho por zearalenona também dependem de cada país. O Brasil tolera até 200µg.kg⁻¹, a União Soviética 1000µg.kg⁻¹ e a Romênia 3µg.kg⁻¹.

Períodos longos de armazenamento tendem a oferecer melhores condições para o desenvolvimento de fungos que crescem em graus de umidade mais baixos. *A. haphilicus* e *A. restrictus* são fungos que crescem vagarosamente e precisam de períodos mais longos de armazenagem para que sua presença seja observada, assim como seus danos. Deve ser tanto menor a umidade dos grãos no armazenamento, quanto maiores forem os períodos de armazenagem do lote, os índices de grãos quebrados, partidos, impurezas, matérias estranhas e a contaminação fúngica. Para armazenamento em longo prazo, é necessário que o lote esteja em boas condições físicas e sanitárias. Outros fungos que não são considerados de armazenagem, como *Helminthosporium*, *Colletotrichum* e *Cercospora*, podem resistir a períodos longos de armazenagem, sem, contudo, haver registros de que produzam toxinas.

CAPÍTULO V

MEDIDAS ESPECIAIS DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DE GRÃOS

5.1. AERAÇÃO, TRANSILAGEM E INTRASSILAGEM

Sob o ponto de vista operacional, a aeração pode ser definida como a prática de se ventilar os grãos com fluxo de ar cientificamente dimensionado, para promover a redução e a uniformização da temperatura na massa de grãos armazenados, visando uma boa conservação, pela redução das atividades metabólicas dos próprios grãos e dos organismos associados.

Dentre as propriedades dos grãos, a porosidade, a higroscopicidade e a condutibilidade térmica têm grande importância na aeração. O fato de os grãos constituírem uma massa não compacta, porosa, possibilita a passagem do ar entre, eles com trocas constantes de umidade e calor, em função também das propriedades do ar. Além da porosidade interna, na massa de grãos há um percentual de poros entre eles, os intergranulares, ou “vazios” intersticiais, por onde o ar circula.

Num silo e/ou armazém, os grãos são os principais componentes de um ecossistema dinâmico, em constante transformação, cujas interações químicas, físicas e biológicas promovem alterações quantitativas e qualitativas, gerando deteriorações e outras perdas. Roedores, insetos, ácaros e microrganismos, por exemplo, são fatores bióticos de deterioração; esses, por sua vez, são influenciados por fatores abióticos, como temperatura, umidade, pressão, entalpia, sistema de circulação do ar, integridade dos grãos, entre outros. Tanto os fatores abióticos como os bióticos interferem na ação enzimática no ecossistema de armazenagem, influenciando diretamente no metabolismo dos grãos e na sua conservação.

Além da aeração, outras formas de se promover a ventilação dos grãos são a transilagem e a intra-silagem. Na primeira, há transferência total, sendo todos os grãos de um silo removidos para outro, ou de uma célula para outra, no caso de armazéns graneleiros septados; na segunda há movimentação parcial, através da passagem pelo elevador de parte dos grãos, com retorno para o mesmo silo ou a mesma célula. Na aeração, o ar passa, forçadamente, pela massa de grãos, com auxílio de ventilador ou exaustor, dependendo do sistema, enquanto na transilagem e na intra-silagem são os grãos que passam pela massa de ar, com auxílio do elevador.

5.1.1. Objetivos da aeração

Os objetivos essenciais da aeração são o resfriamento e a manutenção do grão a uma temperatura suficientemente baixa e uniforme para assegurar uma boa conservação, através da redução das atividades metabólicas dos próprios grãos e dos organismos associados.

5.1.2. Para que aerar?

- a) manter baixa e uniforme a temperatura dos grãos;
- b) reduzir os riscos de perda;
- c) evitar a migração da umidade, que ocorre pela formação de correntes convectivas;
- d) complementar a secagem;
- e) corrigir pequenas variações de temperatura e/ou de umidade dos grãos.

5.1.3. Como ocorre a aeração?

A aeração é realizada pela circulação forçada do ar ambiente através da massa de grãos. O ar é insuflado ou aspirado por um ventilador ou exaustor, conduzido na massa de grãos através de condutos, onde é convenientemente distribuído por sistema de canaletas ou dutos de distribuição. A eficiência da aeração é devida em grande parte à homogeneidade da distribuição do ar.

A insuflação e a sucção têm eficiências praticamente iguais, desde que sejam corretamente dimensionadas. Por exemplo, se o ventilador for subdimensionado, na insuflação ocorrerá condensação na cobertura ou “chapéu” do silo e na sucção haverá o “embuchamento” do ventilador por partículas menores que certamente serão arrastadas.

Na circulação forçada, que ocorre na aeração, o ar, nas condições ambientais, ou parcialmente modificadas, é insuflado ou aspirado por ventilador ou exaustor, que o distribui convenientemente através da massa de grãos. A eficiência da aeração depende em grande parte da homogeneidade da distribuição do ar.

A aeração por insuflação e aspiração (ou sucção) podem apresentar eficiências equivalentes (Tabela 5.1), desde que sejam corretamente dimensionadas. Exemplo clássico de problema operacional provocado por incorreção é o subdimensionamento do ventilador: na insuflação provoca condensação na parte interna da cobertura do silo e na sucção o “embuchamento” do ventilador por partículas menores certamente arrastadas.

Tabela 5.1. Características comparativas operacionais entre aspiração ou exaustão e insuflação.

Operação	aspiração	insuflação
- Enchimento do silo	- Baixo rendimento, trabalho triplicado	- Rendimento real, de acordo com o projeto de aeração
- No silo carregado	- Ao entrar em contato com os grãos, o ar já está modificado, em função da irradiação e da condutibilidade térmica, transferindo calor para o interior do silo. Isso aumenta sua capacidade de transferência a interna de umidade.	- O ar insuflado que entra em contato com os grãos tem ainda as condições ambientais e começa a resfria-los já desde o ingresso. Se os grãos aquecidos estiverem na base, há o arrefecimento imediato; se eles estiverem no topo, o ar não transportará calor pela massa
- Inspeção por análise do ar que sai do silo	- A inspeção pode ser mascarada, porque se os problemas não estiveram na base do silo, o ar que sai já interagiu com os grãos em bom estado.	- A inspeção pode ser mascarada, porque se os problemas não estiveram no topo do silo, o ar que sai já interagiu com os grãos em bom estado.
- Na aeração	- Aquece o que deveria resfriar e pode umedecer o que deveria permanecer seco. Isso gasta mais energia para ter menor qualidade da massa de grãos.	- Permite excelente taxa de ar no momento do enchimento do silo ou do graneleiro, aumentando a segurança operacional, com transferência uniforme de calor e vapor.

Fonte: Adaptado de Peres (2001)

5.1.4. Como é possível a aeração?

O fenômeno simples da aeração é possível pelo fato de ser a massa de grãos um material “poroso”, não compacto. O volume total ocupado pelos grãos apresenta certa percentagem de poros intergranular ou “vazios” intersticiais, através dos quais o ar pode circular.

5.1.5. Tipos de aeração

Em geral, ao se promover a aeração de grãos, num silo ou num armazém, busca-se: a) manter baixa e uniforme a temperatura dos grãos; b) reduzir os riscos de perda por deterioração; c) evitar a migração da umidade, que ocorre pela formação de correntes

convectivas; d) complementar a secagem; e) corrigir pequenas variações de umidade e/ou temperatura dos grãos e/ou decorrentes de odores indesejáveis.

São tipos mais comuns de aeração: de resfriamento ou manutenção, provisória, corretiva, secante e transilagem.

5.1.5.1. Aeração provisória

É utilizada em grãos recém-colhidos, que cheguem úmidos (com umidade superior à recomendada para uma boa conservação) na unidade de armazenamento. Neste caso, a aeração é utilizada como meio de conservação temporária enquanto os grãos aguardam a secagem, para controlar não apenas danos imediatos, como danos latentes, que se manifestam durante o armazenamento, como a incidência de defeitos nos grãos (Figura 50). Simultaneamente, se as condições do ar assim o permitirem, pode haver remoção de alguns pontos percentuais de água, embora, nesse caso, esse seja um objetivo secundário, complementar, pois o mais importante é a manutenção dos grãos resfriados, para manter controlado o metabolismo dos grãos e dos organismos que acompanham os grãos desde a lavoura, como fungos e outros associados.

5.1.5.2. Aeração de resfriamento ou manutenção

Para grãos armazenados em condições de conservação, limpos e com umidade entre 8 e 14%, dependendo da espécie e de outros fatores, a ventilação é aplicada para corrigir um início de aquecimento ou para resfriá-los, em ciclo único ou então progressivamente, em etapas sucessivas, desde que assim o permita a temperatura exterior. Sua finalidade maior, no entanto, é uniformizar a temperatura em toda a massa de grãos, para evitar a formação de correntes convectivas e reduzir seus efeitos.

O diagrama de conservação de grãos permite identificar as condições mais propícias para controle metabólico dos próprios grãos, assim como dos principais organismos que os acompanham no armazenamento, por isso denominados organismos associados.

É interessante notar que no diagrama de conservação de grãos, são consideradas a umidade e a temperatura apenas dos grãos, enquanto suas relações com as umidades e temperaturas do ar são apresentadas no diagrama de aeração de grãos. São parâmetros médios, com valores aproximados, muito importantes nas tomadas de decisão no manejo operacional da aeração no armazenamento. Quanto menores, mais ricos em gordura e mais danificados forem os grãos, mais drásticos são os efeitos da temperatura e da umidade em sua conservação.

Assim como a intra-silagem, a transilagem também pode ser considerada uma aeração de resfriamento. Deve ser realizada se o silo não for dotado de um sistema eficiente de ventilação. Consiste na transferência dos grãos de um silo a outro, para que haja redução e homogeneização da temperatura. Como na aeração é forçada a passagem do ar pela massa de grãos e na transilagem são os grãos que passam pela massa de ar, sempre que possível se deve preferir a aeração.

5.1.5.3. Aeração corretiva

É utilizada, normalmente, em duas situações:

a) quando, por metabolismo, os grãos armazenados adquiriram odores estranhos. Com a aeração se pode corrigir esse defeito;

b) quando, por interesse de conservação, os grãos forem armazenados com umidade menor do que a de comercialização.

A aeração, com ar úmido, realizada um pouco antes da expedição, pode corrigir essa diferença, sem afetar a qualidade do produto.

5.1.5.4. Aeração secante

Tem por objetivo manter os grãos a uma temperatura suficientemente baixa, ocasionando uma lenta dessecação, no próprio silo. Nesse caso, diferentemente da aeração de manutenção de grãos armazenados secos, ao invés do uso de silo-aerador, com dutos de aeração ou canais, cobertos por chapa perfurada, na aeração secante é recomendável o uso de silo-secador, com fundo falso perfurado.

No caso de aeração secante, em que é insuflado o ar ambiente quando a umidade relativa for baixa, menor do que a umidade de equilíbrio, o fluxo de ar deve ser superdimensionado, maior do que o usado para secagem também em silo-secador quando o ar for aquecido. O fluxo de ar também deve ser maior do que o usado na aeração para conservação de grãos armazenados secos.

É um processo lento, que pode ser melhorado pelo controle e/ou pela correção das condições psicrométricas do ar, como aquecimento parcial pela queima de gás liquefeito de petróleo, ou outra forma de aquecimento do ar.

Dependendo da espécie, da umidade e das condições sanitárias com que os grãos entram no secador, das condições psicrométricas do ar ambiente, das características técnicas das instalações e do tempo disponível para secagem, os fluxos de ar na aeração de manutenção podem variar de 4 a $18\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$ (metros cúbicos de ar por minuto por tonelada de grãos), na aeração secante com ar sem aquecimento, ou 3 a $12\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$ quando o ar for aquecido até 10°C acima da temperatura ambiente. Quando for aeração de manutenção, ar não se destina a remover água, mas visa reduzir e uniformizar a temperatura dos grãos, os fluxos de ar utilizados são menores, cerca de 0,1 a $3\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{t}^{-1}$.

5.1.5.5. Transilagem

Essa técnica também pode ser classificada como um tipo de aeração de resfriamento. Deve ser realizada quando for constatada uma elevação da temperatura do grão, se o silo não for dotado de um sistema eficiente de ventilação. Este método consiste em se transferir o grão de um silo para outro, fazendo com que haja redução e homogeneização da temperatura. Na aeração propriamente dita, se faz passar uma massa de ar pelos grãos; na transilagem, são os grãos que passam pela massa de ar. Por essa razão, parece mais racional se realizar a aeração do que a transilagem, mas nem sempre isso é possível.

5.1.6. Quando aerar?

É necessário ter como primeiro princípio de conduta a redução da temperatura do grão e, por conseguinte, intervir quando a temperatura do ar for inferior em alguns graus à temperatura do grão. São levados em conta dois fatores restritivos: a umidade relativa do ar e a diferença de temperatura entre o ar e o grão. O diagrama de aeração de grãos pode auxiliar nesses casos.

É necessário ter como primeiro princípio de conduta a redução da temperatura do grão e, por conseguinte, intervir quando a temperatura do ar for inferior em alguns graus à temperatura

do grão. Leva-se em consideração dois fatores restritivos: umidade relativa do ar e diferença de temperatura entre o ar e o grão.

Quando os grãos estiverem ligeiramente úmidos, a diferença de temperatura entre o ar e os grãos é mais importante do que a umidade relativa do ar, mas quando a umidade dos grãos estiver próxima das normas comerciais, são igualmente importantes esses dois fatores, devendo ser evitada a ventilação quando a umidade relativa estiver acima de 70-75%, se a diferença de temperatura entre o ar e os grãos for menor do que 3 a 5°C. Entretanto, se for necessário escolher entre duas alternativas (risco de aquecimento ou perda de peso por perda d'água) as condições de qualidade dos grãos no momento devem ser balizadoras da decidir.

Outro importante princípio a ser observado na aeração é intervir preventivamente, e não corretivamente, para remediar uma elevação de temperatura pelo aquecimento natural do grão, pois só ocorre aumento de temperatura quando há metabolismo e, aí, as perdas já são irreversíveis. Assim como a umidade, o calor é, ao mesmo tempo, causa e consequência do metabolismo.

Há alguns anos, nos manuais de aeração, havia a recomendação de não ligar o ventilador se a umidade relativa do ar fosse alta. Modernamente, a recomendação indica evitar ligar o ventilador nas horas em que as umidades relativas do ar forem muitas elevadas. Entretanto, se continuar aumentando a temperatura dos grãos, para se dar início à operação de aeração, deve ser considerada a diferença em relação à temperatura histórica de equilíbrio, registrada pelo sistema de leituras diárias através da termometria. Umidade e temperatura do ar e dos grãos influem no equilíbrio higroscópico de cada espécie.

Se ultrapassar 2°C para grãos oleaginosos ou 3°C para grãos amiláceos ou protéicos, deve ser iniciada a aeração, mesmo em dias chuvosos, pois o aumento de temperatura em grãos armazenados indica ação respiratória, que ocorre na forma de dinâmica metabólica, podendo levar à autocombustão. Além disso, quando o ar entra em contato com o ventilador e com as paredes do sistema de transporte, o atrito das moléculas provoca aumentos de sua temperatura e a conseqüente redução de sua umidade relativa, o que favorece a aeração.

Também, por características de higroscopicidade, os grãos têm cerca de sete vezes mais facilidade de perder água do que de sorvê-la. Sendo o equilíbrio higroscópico atingido por um processo dominante de dessorção, o grau de umidade dos grãos é superior ao obtido quando o equilíbrio higroscópico se dá por um processo de sorção de água. Esse fenômeno decorre do efeito de histerese e tem sua intensidade dependente das estruturas biológica e física, da intensidade do processo de secagem e de características higrométricas do ar, nas condições de armazenamento, podendo atingir diferenciais entre meio e dois pontos percentuais nas diversas espécies de grãos.

Em qualquer circunstância, é recomendável a consulta ao diagrama de aeração de cereais, que considera simultaneamente umidade relativa do ar e diferença de temperatura entre ar e grãos.

5.2. ÁCIDOS ORGÂNICOS E HERMETICIDADE

Prevenir danos e deterioração dentro de larga faixa de umidade e temperatura, em dosagens econômicas, sem acrescentar problemas de toxicidade ou palatabilidade em rações, para a alimentação animal, sendo relativamente segura para o manuseio, com requerimentos mínimos quanto à aplicação e ao armazenamento, são os principais atributos a serem levados em consideração na escolha de substâncias conservantes para a utilização em grãos.

O pH e a atividade de água (a_w) do meio, o potencial de oxi-redução e a pressão de seleção microbiana são importantes fatores de sobrevivência e crescimento de microrganismos, durante o armazenamento.

Os ácidos orgânicos e seus ésteres são substâncias difundidas na natureza como produtos intermediários, de síntese ou finais, de vegetais, animais e microrganismos. Essas substâncias são utilizadas como conservantes, em grãos, essencialmente devido às suas propriedades antimicrobianas.

As atividades antimicrobianas dos ácidos orgânicos e dos ésteres correspondentes são devidas às formas moleculares não dissociadas destas substâncias, presentes nos conteúdos celulares dos grãos e microrganismos associados.

O pK_a ou o pH no qual 50% de um determinado ácido se encontra na forma molecular dissociada, das substâncias conservantes utilizadas em grãos, está contido na faixa de 3 a 5.

O peso molecular, a configuração espacial e a cadeia carbônica são importantes características de estabilidade no meio e, por conseguinte, da atividade conservativa dos ácidos orgânicos e ésteres correspondentes.

A solubilidade, em água, dos ácidos orgânicos, diminui com o aumento do seu peso molecular. A redução do pH do meio, a desestruturação de tecidos e a acidificação do conteúdo celular, principalmente, são fatores de bloqueio e/ou inativação de sistemas enzimáticos, por desacoplamento de substratos nos processos de síntese, como o da fosforilação oxidativa, caracterizando a ação biostática e biocida dos ácidos orgânicos em microrganismos associados e perda do poder germinativo nos grãos armazenados.

A metabolização de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, por microrganismos, liberando prótons no meio, pode acidificar o conteúdo celular até níveis inibitórios para os processos fisiológicos dos grãos e/ou do desenvolvimento microbiano.

A eficiência conservativa, a estabilidade no meio, o custo relativo, a especificidade, a segurança na manipulação e as características sensoriais constituem os principais fatores na utilização preferencial dos ácidos orgânicos acético e propiônico como substâncias conservantes em grãos armazenados. Os ésteres correspondentes são relativamente mais estáveis e menos corrosivos em relação às formas moleculares de origem.

O ácido acético possui maior especificidade para controlar a contaminação bacteriana e de leveduras, com maior atividade em pH superior a 4,5. O ácido propiônico possui maior especificidade para o controle de leveduras e fungos, exercendo relativa atividade em pH superior a 6,0.

A hidrólise, a volatilização, a transformação química e o metabolismo microbiano são os principais fatores de perda da atividade antimicrobiana dos ácidos orgânicos durante o armazenamento, razão porque devem ser aplicadas doses tanto maiores quanto maiores forem a umidade dos grãos e o tempo de armazenamento.

A incorporação dos ácidos aos grãos pode ser feita de forma manual ou mecânica, por aspersão e/ou mistura, em operação separada ou associada ao fluxo de outras operações de pré-armazenamento ou beneficiamento, de acordo com a disponibilidade de recursos econômicos e tecnológicos. Apesar de sua baixa corrosividade, a manipulação dessas substâncias deve ser cuidadosa, sendo importante se evitar seu contato com a pele, pois pode causar abrasividade tópica, irritabilidade das mucosas e transtornos respiratórios.

A uniformidade de aplicação de substâncias conservantes nos grãos é determinante para a sua eficiência conservativa.

As incorporações de ácidos, acético e propiônico, provocam alterações na estrutura do parênquima do escutelo e no conteúdo celular de grãos de sorgo armazenados com umidade elevada próxima da maturação fisiológica (cerca de 30%), e temperatura elevada. Tais

alterações são observadas mais intensamente em grãos tratados com ácido acético do que naqueles tratados com ácido propiônico. As absorções seletivas pelas células do germe, em função do pK_a e do peso molecular dos ácidos, bem como as desnaturações das proteínas constituintes são aspectos importantes relacionados com as alterações observadas.

As dosagens tecnológicas dos ácidos orgânicos, utilizadas para a conservação de grãos, não representam riscos de toxicidade na alimentação animal. Essas substâncias, sobretudo em ruminantes, podem representar relativo incremento do valor nutricional dos grãos tratados. O ácido propiônico possui uma energia digestível avaliada em $4,93 \text{ kcal.g}^{-1}$.

Dietas baseadas na utilização de grãos de sorgo armazenados com umidade elevada e incorporação de ácidos orgânicos, de cadeia carbônica curta, em dosagens de 1,8 e 2,4%, não apresentam efeitos adversos no desempenho de aves de corte, não havendo efeitos negativos em consumo médio de ração, ganho médio de peso e conversão alimentar, na fase inicial de crescimento, alimentadas com ração de grãos de sorgo granífero, armazenados durante 180 dias, com elevados teores de umidade e com a incorporação de ácido acético, propiônico e a mistura de ambos. Os resultados no desempenho das aves são similares aos obtidos com rações formadas por grãos de sorgo secos, sem a utilização dos ácidos orgânicos.

A armazenagem hermética de grãos, secos ou úmidos, é baseada na redução do oxigênio disponível no ecossistema de armazenamento a níveis letais ou limitantes para os organismos vivos associados, podendo ser obtida espontaneamente através do processo respiratório dos grãos e organismos existentes, ou artificialmente, com o emprego de N_2 e/ou CO_2 , ou mesmo com a supressão do O_2 , por exaustão do ar.

O CO_2 é um dos produtos finais do metabolismo de substratos orgânicos em organismos vivos. O seu efeito conservativo sob condições herméticas advém de sua ação inibitória sobre a atividade enzimática dos próprios grãos e organismos associados e/ou morte destes últimos.

O metabolismo incompleto dos carboidratos, através do processo respiratório dos grãos e organismos associados, em condições de aerobiose restrita e/ou de anaerobiose, juntamente com a presença de bactérias e leveduras, conduzem à formação de álcool etílico e ácidos orgânicos, como acético, láctico e butírico. Esses produtos exercem um efeito conservativo secundário, podendo alterar as características sensoriais dos grãos com odor e sabor nem sempre removidos ao final do processo. A hidrólise parcial de nutrientes, como carboidratos e proteínas, em açúcares simples e aminoácidos, em formas prontamente assimiláveis, pode representar vantagem nutricional dos grãos estocados, na alimentação animal.

A produção de CO_2 , durante a estocagem de grãos sob hermeticidade, através do metabolismo dos próprios grãos e organismos associados, em condições aeróbias e, principalmente, sob anaerobiose, resulta em considerável excesso de pressão interna nas estruturas armazenadoras, cuja intensidade é estreitamente relacionada com a dos grãos armazenados. Tal aspecto é um importante parâmetro técnico a ser considerado no planejamento de estruturas herméticas para a armazenagem. A ação conservativa do CO_2 , em grãos armazenados sob condições herméticas, está relacionada com as concentrações dissolvidas na atmosfera intergranular e a sua adsorção na estrutura porosa interna dos grãos. Inibição e/ou bloqueio de sistemas enzimáticos e formação de carbamatos com grupos funcionais de proteínas são mecanismos relacionados com o processo.

As condições herméticas de armazenamento de grãos atuam seletivamente sobre as populações de insetos através da diminuição da sua atividade, inibição e/ou paralisação biológica. O grau de umidade dos grãos, o tempo de armazenamento, a temperatura da atmosfera intergranular, as características intrínsecas de resistência da espécie e os diferentes estádios de desenvolvimento são os principais fatores que influem na sua eficiência e/ou intensidade.

O grau de umidade dos grãos, as variações climáticas, as estruturas de estocagem, as espécies de grãos e as operações de pré-armazenamento, determinam efeitos conservativos específicos em ecossistemas de armazenamento herméticos. A obtenção e a manutenção da hermeticidade é o principal aspecto técnico para a eficiência do sistema.

5.3. PROTEÇÃO CONTRA PRAGAS DE ARMAZENAMENTO

6.3.1. EM PAIÓIS

A base de um bom sistema de proteção começa com uma boa limpeza. O piso, as paredes, as portas, as janelas e, principalmente, os “cantinhos” devem ser varridos e lavados, preferentemente com jato de água sob pressão. O telhado deve ser revisado para evitar goteiras. Embaixo e ao redor do paiol, a limpeza deve ser rigorosa para evitar a presença de insetos, ácaros e ratos. Antes de armazenar o produto, o paiol deve ser pulverizado com inseticida de ação residual, tanto pelo lado interno como pelo lado externo. Para eliminar os insetos que vêm do campo, nas fases de ovo, larva ou pupa, deve ser realizado expurgo. Para realizar esta operação, os sacos devem ser empilhados sobre uma lona de plástico e a pilha coberta por outra. Muito importante é a utilização de lonas apropriadas, que não deixem escapar o gás (mínimo de 0,2mm de espessura) e que não apresentem furos. A vedação deve ser feita com cobras de areia, devendo ser utilizados dez comprimidos ou duas pastilhas para cada metro cúbico de pilha. O tempo de exposição deve variar de 72 a 120 horas, de acordo com a temperatura e a umidade relativa do ar. Após a operação de expurgo, a lona deve ser retirada e toda a superfície da sacaria deve ser pulverizada com inseticida, devendo ser observado seu efeito residual, findo o qual deve ser reaplicado, assim como nas paredes internas e externas.

5.3.2. EM ARMAZÉNS CONVENCIONAIS

Após a limpeza do armazém, todas as superfícies internas e externas devem ser pulverizadas com inseticida de ação residual.

Outro detalhe de grande importância é a limpeza, a lavagem e a secagem dos estrados, após as quais esses devem ser expurgados com fumigantes à base de fosfeto de alumínio e posteriormente também pulverizados com inseticidas residuais.

Se existir área de operações de pré-armazenamento, como de pré-limpeza, secagem, limpeza e/ou de seleção, essa deve ser rigorosamente limpa, incluindo as moegas, com auxílios de aspiradores de ar e aspersores pressurizados de água. Devem ser eliminados todos os detritos de elevadores, calhas, roscas-sem-fim e similares, máquinas de limpeza, secadores e demais equipamentos. Igualmente importante é o controle de ratos nas imediações do armazém.

Após o empilhamento, o primeiro passo é o expurgo. As pilhas devem ser cobertas com lonas de plástico e sendo utilizados dez comprimidos ou duas pastilhas de fosfeto de alumínio por metro cúbico de pilha, por um tempo que varia de 72 a 120 horas. Após esta operação, toda a superfície da pilha, inclusive o topo, deve ser pulverizada com inseticida de ação residual. É importante observar o período residual, findo o qual a operação deve ser repetida.

5.3.3. EM ARMAZÉNS GRANELEIROS

Para facilitar o manuseio e as práticas fitossanitárias, os armazéns graneleiros são divididos em septos. Como nos outros sistemas, a operação de limpeza é fundamental. Os detritos

acumulados na área de recebimento e pré-armazenamento, assim como nos poços e nas bases dos elevadores, nas calhas, nas máquinas de limpeza, nos secadores e nos demais equipamentos devem ser eliminados. O controle de ratos é muito importante, devendo ser colocados raticidas ao redor do armazém. Todos os buracos e fendas deverão ser calafetados.

Após a limpeza e a preparação, todas essas superfícies devem ser pulverizadas com inseticida de ação residual. As paredes também devem ser pulverizadas, tanto do lado interno como do externo, com especial atenção para o túnel de descarga/aeração, onde a operação deve ser repetida a cada trinta dias. Após as operações de pré-armazenamento, durante o carregamento, é conveniente se fazer a pulverização com inseticida na correia, para serem prevenidas futuras infestações. Essa operação não dispensa o expurgo, pois há necessidade de eliminar ovos, larvas e pupas no interior dos grãos. Antes de se cobrir a massa de grãos com lona apropriada para expurgo, é necessário se fazer o nivelamento. A vedação pode ser feita com cobras de areia e com fitas adesivas, principalmente junto às paredes e aos cabos de termometria. É importante não se esquecer de vedar as entradas do sistema de aeração.

A dosagem segura do fosfeto de alumínio é de dois gramas de ingrediente ativo por metro cúbico de armazém (2g.m^{-3}), considerando que uma pastilha de três gramas libera um grama de ingrediente ativo e um comprimido de seiscentos miligramas (0,6g) libera duzentos miligramas (0,2g) de ingrediente ativo. Como a dosagem é calculada pelo volume da massa de grão, podem ser adotados os pesos volumétricos dos produtos armazenados.

Em graneleiros com túnel de descarga/aeração, 20% da dosagem devem ser aplicados nestes locais, fazendo-se em seguida uma boa vedação. Após o expurgo, todas as vedações devem ser retiradas e, após algumas horas, o sistema de aeração deve ser ligado. Toda a superfície da massa armazenada deve ser pulverizada com inseticida, operação que deve ser repetida a cada trinta dias, incluindo, também, as estruturas internas e externas.

5.3.4. EM SILOS VERTICAIS

Entre os diversos tipos de unidades armazenadoras, os silos verticais, e em especial os metálicos, requerem maior atenção em relação ao controle de pragas dos produtos armazenados, principalmente quando não são adotados os procedimentos corretos. Trata-se de um sistema que dificulta a vedação completa, o que normalmente requer maior dosagem do fumigante para compensar as perdas de gás.

É sabido que os problemas com a eficiência dos fumigantes e a resistência de pragas aos mesmos estão, em sua maioria, relacionados com a má vedação do local de expurgo. Além disso, trata-se de uma estrutura muito exposta, o que requer cuidados especiais em relação ao tempo de exposição de acordo com a temperatura e umidade relativa do ambiente.

O uso da fosfina requer importantes cuidados com relação à temperatura e à umidade relativa, pois esses fatores são determinantes da sua eficiência. O tempo mínimo de exposição do produto armazenado com o gás deve ser de 72 horas, para temperaturas superiores a 20°C ; 96 horas para temperaturas de 16 a 20°C e de 120 horas para a variação de 10 a 15°C . Abaixo de 10°C , a fosfina não deve ser utilizada, porque o expurgo não será eficiente. Períodos de 72 horas de exposição são recomendados quando a umidade for superior a 50%; de 96 horas para 40 a 50% e de 120 horas para 25 a 40%, sendo desaconselhado o expurgo em situações de umidades relativas inferiores a 25%. Os períodos indicados se referem ao tempo mínimo necessário para o funcionamento adequado do gás, entretanto, se as condições permitirem o prolongamento do processo, maior será a segurança de eficiência, principalmente quando as pragas estiverem em fases de desenvolvimento de difícil controle, como ovos e pupas, ou apresentarem indícios de resistência. Neste particular, quando se tratar de silos verticais metálicos, é recomendada a utilização de 2g i.a/m^3 de

fosfeto de hidrogênio e um tempo de exposição de 5 a 10 dias, independentemente das condições ambientais anteriormente referidas. *Rizoperta dominica*, por exemplo, tem apresentado resistência às dosagens convencionais de fosfina.

Durante a operação de expurgo, é importante a adoção de alguns procedimentos: a) antes da fumigação, todas as fendas, assim como dutos de aeração, com exceção da boca de carregamento, devem ser fechadas ou seladas; b) determinar o tempo de exposição de acordo com a temperatura e a umidade relativa do ar; c) calcular o número de pastilhas necessárias e a frequência com que devem ser adicionadas, de acordo com a velocidade de carregamento; d) aplicar as pastilhas manualmente ou através de dosador automático sobre as correias ou boca de carregamento. A adição deve ser de maneira contínua, para gerar boa distribuição das pastilhas na massa armazenada, o que, conseqüentemente, resulta em distribuição homogênea de gás; e) ao término da operação, para os silos com boa vedação na parte superior, basta vedar a abertura de carregamento, caso contrário, toda a superfície do produto armazenado deve ser coberta com lona ou papel betuminado, tendo o cuidado de se promover boa vedação junto à parede do silo.

A operação exige qualificação e treinamento de pessoal, pois deve ser executada rapidamente em função do início do desprendimento do gás, havendo, portanto, necessidade do uso de equipamento protetor. Devem ser usadas máscaras de proteção respiratória, providas de filtro próprio para fosfeto de hidrogênio, quando a concentração do gás atingir até 15 ppm, ou para evacuação rápida de áreas com até 1.500 ppm. Acima de 15 ppm, ou quando a concentração for desconhecida, deve ser usado aparelho de respiração autônomo, provido de cilindros de oxigênio ou dispositivo semelhante.

Silos cuja operação de carregamento demora mais do que 12 horas não devem ser fumigados pelo método de adição de pastilhas. Neste caso, é recomendável serem aplicados os comprimidos ou as pastilhas através de sondas, método mais difícil e que não propicia boa distribuição do gás na massa do produto armazenado. É sempre preferível adaptar uma pequena corrente na extremidade da sonda, o que evitará aglomeração das pastilhas ou comprimidos num mesmo lugar. Caso isso ocorra, haverá a formação de bolsa de ar ao redor das mesmas, impedindo a liberação do gás. Neste caso, para melhorar a eficiência, 70% da fosfina devem ser aplicados na superfície, através de sonda, e 30% no duto de aeração na parte inferior.

Em expurgos bem sucedidos, a possibilidade de reinfestação será sempre periférica. Reinfestações generalizadas e no centro da massa armazenada são indícios de expurgos mal sucedidos.

É comum ocorrerem reinfestações localizadas na parte superior da massa armazenada nos silos em que os dutos de respiração não estão protegidos com tela fina. Neste caso, a operação de expurgo deve ser repetida com auxílio da sonda, tendo-se especial atenção com a vedação, principalmente da parte superior. Havendo a possibilidade de transilagem, esta deve ser preferida e executada simultaneamente, pois permite a distribuição uniforme das pastilhas de fosfina, garantindo o efetivo controle de toda a massa armazenada.

Em qualquer caso, após o tempo de exposição requerido, toda a superfície exposta deve ser protegida, uma vez que não restará nenhum poder residual após a saída do gás. A proteção pode ser química ou física.

A proteção química consiste na pulverização ou atomização de inseticida sobre todas as superfícies expostas, devendo haver especial atenção com seu poder residual, findo o qual a operação deve ser repetida. Desta forma, o inseto ao entrar em contato com a superfície tratada, morrerá ou será repellido, impedindo o início de nova infestação. O inseticida pode ser aplicado sobre os grãos através do sistema de aeração ou na correia transportadora, na forma líquida ou de pó.

A proteção física consiste na utilização de tela fina nos dutos de aeração inferior e superior, bem como na parte inferior, local de entrada de ar nos silos aerados ou silos-secadores, como os utilizados para secagem estacionária e/ou para seca-aeração, cujo único objetivo é o de impedir a entrada de insetos que normalmente são atraídos para a periferia do silo.

De todos os cuidados que devem ser tomados, as medidas preventivas são as mais importantes, as mais simples de executar e as de menor custo, mas geralmente são as menos praticadas dentro das unidades armazenadoras. Trata-se da eliminação de todos os resíduos das instalações, seja no silo que receberá o produto a ser armazenado, nos corredores, nas passarelas, nos túneis, nos elevadores, nas moegas, etc. Esses locais devem ser varridos, e os resíduos queimados para se evitar a proliferação de insetos e de fungos que reinfestarão as unidades armazenadoras. Após a limpeza, esses locais devem ser pulverizados com inseticidas para eliminar possíveis insetos presentes nas paredes, nos rodapés e nos equipamentos. Os inseticidas indicados para essa finalidade oferecem bom poder residual e protegem dos insetos que migram para seu interior.

Têm sido observadas melhorias na estrutura dos silos, muitas delas relacionadas com a melhor adequação do produto a ser armazenado, assim como proteção contra a entrada de pássaros, ratos. Mas, com relação aos insetos ainda deixam a desejar.

A proteção de grãos contra pragas de armazenamento pode ser feita com operações simples. Entretanto, em muitos casos, nem a metade delas são realizadas, vindo daí tantos resultados desastrosos.

Para controlar pragas, são necessários conhecimentos de sua biologia e domínio das tecnologias. Ao se efetuar expurgos, ou outra forma de controle químico, é necessária a utilização de produtos tóxicos e, aí, outros conhecimentos também são necessários. Por essa razão, essa operação, obrigatoriamente resultante de prescrição do respectivo receituário agrônomo, deve orientada e executada sob responsabilidade de Engenheiro Agrônomo, profissional técnica e legalmente habilitado para tal.

6 – SUGESTÕES BIBLIOGRÁFICAS

ALDRYHIM, Y.N. Combination of classes of wheat and environmental factors affecting the efficacy of amorphous silica dust, dryacide, against *Rhyzopertha dominica* (F.). **Journal of Stored Products Research**, v.29, p. 271-275, 1993.

ALDRYHIM, Y.N. Efficacy of the amorphous silica dust, dryacide, against *Tribolium confusum* Duv. and *Sithophilus granarium* (L.). **Journal of Stored Products Research**, v. 26, p. 207-210, 1990.

ALEIXO, J.A.G.; CASELA, C.P.; ELIAS, M.C.; CARVALHAL, J.B. Estudo da conservação de grãos de sorgo com ácido propiônico. In: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Resultados de Pesquisa de Sorgo**. Pelotas. 1979. p.86-89.

ALL, C.W. Drying and storage of agricultural crops. **Westport, AVI**, 1980. 381p.

AMATO, G.W.; ELIAS, M.C. A Parboilização do Arroz. Porto Alegre : Ricardo Lenz Editor, 2005, v.1. p.160.

BAIRD-PARKER, A.C. Ácidos Orgânicos. In: International Commission on Microbiological Specifications for Foods. Ecologia Microbiana de los Alimentos. Zaragoza, **ACRIBIA**, 1980. P.132-42.

BANKS, H.J.; FIELDS, P.G. Physical methods for insect control in stored-grain ecosystems. In: JAYAS, D.S.; WHITE, N.D.G.; MUIR, W.E. **Stored-grain ecosystems**. N. Y. Marcell Dekker, 1995. p. 353-409.

BARBOSA, F.F., FAGUNDES, C.A.A., PEREIRA, F.M., RADÜNZ, L.L., ELIAS, M.C. Efeitos das secagens estacionária e intermitente e do tempo de armazenamento no desempenho industrial e na qualidade de grãos de arroz. **Revista Brasileira de Armazenamento**. , v.30, p.83 - 90, 2005.

BARBOSA, F.F., MILMAN, M.J., FAGUNDES, C.A.A., MARTINS, I.G., SCHOWNKE, O.N., CUNHA NETO, A.C., ELIAS, M.C. Effect of stationary and intermittent drying on latent damages in rice grains stored In: 9th International Working Conference on Stored Product Protection, 2006, Campinas. **Proceedings of the 9th International Working Conference on Stored Product Protection**. Campinas: ABRAPROS, 2006. v.I. p.1003 - 1011

BAUDET, L.M.L. Armazenamento de sementes de arroz. In: PESKE, S.T.; NEDEL, J.L.; BARROS, A.C.S.A. Produção de arroz irrigado. Pelotas: UFPel. 1998. p.469-490.

BRADFORD, K.J. Seed storage and longevity. In: Workshop on Advanced Topics in Seed Physiology and Technology, Lavras, 1999. Anais. Lavras, **Universidade Federal de Lavras**, 1999, p. 25-29.

BRASIL. **Instrução Normativa 012/2009**. Ministério da Agricultura e da Pecuária e do Abastecimento.

BRASIL. **Lei 9973/2000**. Ministério da Agricultura e da Pecuária e do Abastecimento.

BRASIL. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. Comissão Técnica para Redução das Perdas na Agropecuária. (Brasília, DF). **Perdas na agropecuária brasileira**: relatório preliminar. Brasília, 1993. v.1.

BRESOLIN, M.; VIOLA, E.A. O Milho no contexto mundial, nacional e do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: **EMATER-RS**, 1995. 100 p.

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

CARVALHO, N.M. de. O conceito de vigor em sementes. In: VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. de. Testes de vigor em sementes. Jaboticabal: **FUNEP**, 1994. p. 1-30.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAVA, J. Sementes: Ciência, tecnologia e produção. 2 ed. Campinas, **Fundação Cargill**, 1983. 326 p.

CASA BERNARDO. Manual técnico gastoxin: procedimentos de aplicação. **São Bernardo Ed.**, São Bernardo do Campo, 1992. 28p.

CHRISTENSEN, C.M.; SAUER, D.B. Mycoflora. In: Christensen, C.M., ed. Storage of cereal grains and their products. Minnesota, **American Assoc. of Cereal Chem.** In. St. Paul, 1982, p.219-40.

CLEZAR, A.C.; NOGUEIRA, A.C.R. **Ventilação Industrial**. Editora da UFSC. Florianópolis, SC. 1999, 289p.

CUNHA, O.P. Manejo técnico operacional de aeração de grãos. **Dryeration**. Porto Alegre, 1999. 73p.

DALPASQUALE, V.A.; PEREIRA, A.L.R.M.; QUEIROZ, D.M.; PEREIRA, J.A.M. Secagem de grãos em altas temperaturas. In: Curso de Secagem e Aeração - Pólo de Tecnologia de Pós-Colheita do Rio Grande do Sul. **CENTREINAR, Universidade Federal de Viçosa**, Viçosa, 2001. 44p.

DEVONSHIRE, A.L.; MOORES, G.D. Different forms of insensitive acetylcholinesterase in insecticide-resistant house flies (*Musca domestica*). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.21, p.336-340, 1984.

DIONELLO, R.G.; RADÜNZ, L.L.; CONRAD, V.J.D.; LUCCA F^o, O.A.; ELIAS, M.C. Temperatura do ar na secagem estacionária e tempo de armazenamento na qualidade de grãos de milho. **Revista Brasileira de Agrociência**. 2(6): 1-6. 2000^a

DIONELLO, R.G.; RADÜNZ, L.L.; ELIAS, M.C.; MEIRELES, M.C.A. Método de secagem e sistema de armazenamento na ocorrência de micotoxinas em milho. **Revista Brasileira de Armazenamento**. 2(21): 42-8. 2000^b.

DUTRA, Alberto da Silva; RATHMANN, Régis; ELIAS, Sandro Al-Alam; SILVA, Tania Nunes; AZEVEDO, Denise Barros. Análise da armazenagem do arroz em propriedades agrícolas selecionadas do Rio Grande do Sul. **Revista Informações Econômicas**. Instituto de Economia Agrícola, v. 37, n. 4, p. 28 - 42, 2007.

ELIAS, M. C. Fatores que influenciam a aeração e o manejo da conservação de grãos In: Armazenagem de Grãos.1 ed.Campinas : Genesis, 2002, v.1, p. 311-359.

ELIAS, M. C. Pós-colheita e industrialização de arroz In: Arroz Irrigado no Sul do Brasil.1 ed.Brasília : Embrapa Informação Tecnológica, 2004, v.1, p. 745-797.

ELIAS, M. C., BARBOSA, F. F., ROCHA, J. C., NEVES, F. M., CELLA, G., DIAS, A. R. G. Grain quality and energy consumption by evaluation intermittent methods of rice drying In: 9th International Working Conference on Stored Product Protection, 2006, Campinas. **Proceedings of the 9th International Working Conference on Stored Product Protection**. Campinas: ABRAPOS, 2006. v.I. p.1043 - 1052

ELIAS, M. C., FAGUNDES, Carlos Alberto Alves, DIAS, Alvaro Renato Guerra. Aspectos fundamentais e operacionais na qualidade do arroz. Lavoura Arrozeira. , v.52, p.56 - 60, 2004.

ELIAS, M. C., FRANCO, D. F. Pós-colheita de arroz irrigado In: Manejo Racional da Cultura do Arroz Irrigado.1 ed.Pelotas : Embrapa Clima Temperado, 2004, v.1, p. 141-151.

ELIAS, M. C., FRANCO, D. F. Pós-Colheita e Industrialização de Arroz In: Sistemas de Cultivo de Arroz Irrigado no Brasil.1 ed.Pelotas : Embrapa Clima Temperado, 2006, v.1, p. 229-240.

ELIAS, M. C., HELBIG, E., MENEGHETTI, V. L., STORCK, C. R., PINO, M., ROMBALDI, C. V. Effects of resting on drying and storage period on the metabolic defects and industrial performance of polished and parboiled rice In: 9th International Working Conference on Stored

Product Protection, 2006, Campinas. **Proceedings of the 9th International Working Conference on Stored Product Protection**. Campinas: ABRAPÓS, 2006. v.I. p.85 - 92

ELIAS, M. C., LORINI, I. Anais do I Simpósio Sul-Brasileiro de Qualidade de Arroz. Passo Fundo : ABRAPÓS, 2003, v.1. p.600.

ELIAS, M. C., LORINI, I. Qualidade de arroz na pós-colheita. Pelotas : Edigraf UFPel, 2005, v.1. p.686.

ELIAS, M. C. **Manejo tecnológico da secagem e do armazenamento de grãos**. 1. ed. Santa Cruz, Pelotas, 2008. v. 1. 368 p.

ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M.; SCHIAVON, R. A. **Qualidade de Arroz na Pós-Colheita: Ciência, Tecnologia e Normas**. 1. ed. Pelotas: Santa Cruz, 2012. v. 1. 906 p.

ELIAS, M.C. **Pós-colheita, industrialização e qualidade de arroz**. Pelotas: Ed. Universitária UFPEL, 2007. 422p.

ELIAS, M.C. Tempo de espera para secagem e qualidade de arroz para semente e indústria. Pelotas, **Universidade Federal de Pelotas**. Tese (Doutorado). Pelotas, 1998, 132p.

ELIAS, M.C.; BRANÇÃO, N.; CASELA, C.R.; GONÇALVES, P.R.; CALEGARI, A.; BONGIOLO NETO, A.; ROMBALDI, C.V.; AL-ALAN, N.H.A.; MARTINS, R.M. Armazenamento de grãos de sorgo, úmidos, sem secagem, com utilização de ácidos orgânicos. In: Reunião Técnica Anual do Sorgo, 16. Pelotas, 1987. **Anais ...**, EMBRAPA-CPATB, 1988. p. 143-62.

ELIAS, M.C.; DIONELLO, R.G.; FORLIN, F.J.; OLIVEIRA, M.; GELAIN, J.; PETER, M.Z. Evaluation of the use of organic acids in the conservation of sorghum grains (*Sorghum bicolor* L. Moench) during storage. In: **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 35-46. 2008

ELIAS, M.C.; ROMBALDI, C.V. Secagem intermitente e industrialização de arroz, variedade BR-IRGA 409. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, IRGA, 42(388):22-33, 1989.

EMBRAPA. Workshop sobre qualidade do milho. **Anais ...** Dourados: Embrapa-CPAO, 1998. 78p.

ENOCHIAN, R.V. Post harvest rice losses: Planning for reduction. **Cereal Foods World**, Estados Unidos, v. 29, nº 8, p 451-455, ago.1984.

FACULDADE DE AGRONOMIA ELISEU MACIEL. Curso de armazenamento de grãos. **Universidade Federal de Pelotas**. Pelotas, 1980. 510p.

FAGUNDES, C.A.A., ELIAS, M. C., BARBOSA, F. F. Desempenho industrial de arroz secado com ar aquecido por queima de lenha e de glp. **Revista Brasileira de Armazenamento**. , v.30, p.8 - 15, 2005.

FEPAGRO, EMATER-RS, FECOTRIGO. Recomendações técnicas para a cultura do milho no Rio Grande do Sul. Programa multistitucional de difusão de tecnologia do milho. **CORAG-RS**, Porto Alegre, 1998. (Boletim Técnico 5).

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. Disponível em: <http://www.fao.org/waicent/portal/statistics_en.asp>.

GARCIA, D.C.; MAIER, J.C. & ELIAS, M.C. Alimentação de pintos com grãos de sorgo, úmidos, tratados com ácidos orgânicos e armazenados pelos sistemas convencional e em atmosfera modificada. **Revista Brasileira de Agrociência**. 03 (3): 168-73, 1997.

HALL, C.W. Drying and storage of agricultural crops. **Westport, AVI**, 1980. 381p.

KUMAR, S.; SINHA, R.K.; PRASAD, T. Propionic acid as a preservative of maize grains in traditional storage in India. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v.29, n.1, p.89-93, 1993.

- KUNZE, O.R.; CALDERWOOD, D.L., Systems for drying of rice. In: HALL, C.W. Drying and storage of agricultural crops. **Westport: Connecticut**, 1980. p. 68-91.
- LASSERAN, J. C. *Aeração de Grãos. Tradução de José Carlos Celaro, Miryan Sponchiado Celaro e Miriam Costa Val Gomide*. Viçosa: CETREINAR, UFV, Imprensa Universitária, 1981. 128p.
- LASSERAN, J.C. Princípios gerais de secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**. n. 3, p. 17-46, 1978.
- LAZZARI, F.A. Umidade, fungos e micotoxinas na qualidade de sementes e rações. **Universidade Federal do Paraná**. Curitiba. 1993. 140p.
- LIEWEN, M.B. Antifungal food additives. In: Handbook of Applied Micology. Vol. 3: **Foods and Feeds**. New York, 1991, p. 31-68.
- LOECK, A.E. Pragas de grãos armazenados. **Seed News**, Pelotas, vol. 2, nº 1, 1997.
- LORINI, I. **Manejo integrado de pragas de grãos armazenados**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 4p. (Embrapa Trigo. Comunicado, 17).
- LORINI, I. **Controle integrado de pragas de grãos armazenados**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1998. 52p. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 48).
- LORINI, I. **Manual Técnico para o Manejo Integrado de Pragas de grãos de cereais armazenados**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2007. 80p. (Embrapa Trigo. Documentos, 73).
- LORINI, I., BACALTCHUK, B., BECKEL, H., DECKERS, D., SUNDFELD, E., SANTOS, J. P., Biagi, J. D., CELARO, J. C., FARONI, L. R. D. A., Sartori, M.R., ELIAS, M. C., GUEDES, R. N. C., Fonseca, R.G., SCUSSEL, V.M. International Working Conference on Stored Product Protection. Passo Fundo : Brazilian Post-harvest Association, 2006, v.1. p.1359.
- LORINI, I.; MIKE, L. H. & SCUSSEL, V. M. **Armazenagem de Grãos**. Campinas: IBG, 2002. 1000p.
- MAIER, D.E., NAVARRO, S. Chilling of grain by refrigerated air. In. NAVARRO, S.; NOYES, R.(Ed.) **The mechanics and Physics of Modern Grain Aeration Management**. New York, CRC press, 2002. cap. 9, p. 489-555.
- MALLMANN, C. A. & DILKIN, P. **Micotoxinas e Micotoxicoses em Suínos**. Santa Maria: Ed. Do Autor, 2007. 240p.
- MANUAL técnico Gastoxin: procedimento de aplicação. São Vicente: Casa Bernardo, 1992. 28p.
- MILMAN, M. J. *Equipamentos para Pré-processamento de Grãos*. Pelotas: Ed. Universitária/UFPel, 2002. 206p.
- MORÁS, A., GELAIN, J., ROMANO, C. M., LORINI, I., GULARTE, M. A., ELIAS, M. C. Effects of diatomaceous earth used to control stored grain pests on technological, physical and cooking characteristics of parboiled and conventionally processed rice In: 9th International Working Conference on Stored Product Protection, 2006, Campinas. **Proceedings of the 9th International Working Conference on Stored Product Protection**. Campinas: ABRAPOS, 2006. v.I. p.816 - 822
- MORÁS, A., PEREIRA, F. M., OLIVEIRA, M., LORINI, I., SCHIRMER, M. A., ELIAS, M. C. Diatomaceous earth and propionic acid to control sitophilus oryzae and oryzaophilus surinamensis rice stored grain pests In: 9th International Working Conference on Stored Product Protection, 2006, Campinas. **Proceedings of the 9th International Working Conference on Stored Product Protection**. Campinas: ABRAPOS, 2006. v.I. p.823 - 828

OLIVEIRA F, D.; SASSERON, J.L. Termometria em grãos. In: Curso de Secagem e Aeração - Pólo de Tecnologia de Pós-Colheita do Rio Grande do Sul. CENTREINAR, **Universidade Federal de Viçosa**, Viçosa, 2001. 34p.

OTAM VENTILADORES INDUSTRIAIS LTDA. Catálogos e manuais. Porto Alegre

PERES, W.B. Manutenção da qualidade de grãos armazenados. **Ed. da UFPEL**, Pelotas, 2000. 54p.

PESKE, S.T. Secagem de sementes. In: Curso de Especialização em Sementes. Módulo 6. Universidade Federal de Pelotas, **Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior**. 1992. 37p.

PESKE, S.T.; AGUIRRE, R. Manual para operadores de U.B.S. **CIAT, Colômbia**, 1986. 95 p.

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

POPININGIS, F. Fisiologia da semente. Brasília, Ministério da Agricultura - AGIPLAN, 1985. 289p.

POZZI, C.R.; CORRÊA, B.; GAMBALE, W., PAULA, C.R., CHACON-RECHE, N.O, MEIRELLES, M.C. Postharvest and store corn in Brazil: mycoflora interaction, abiotic factors and mycotoxins occurrence. **Foods Additives and Contaminants**. 1995.

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

QUEIROZ, D.M.; PEREIRA, J.A.M. Psicrometria. In: Curso de Secagem e Aeração - Pólo de Tecnologia de Pós-Colheita do Rio Grande do Sul. **CENTREINAR, Universidade Federal de Viçosa**, 2001. 24p.

QUEIROZ, D.M.; PEREIRA, J.A.M. Secagem de grãos em baixas temperaturas. In: Curso de Secagem e Aeração - Pólo de Tecnologia de Pós-Colheita do Rio Grande do Sul. **CENTREINAR, Univ. Fed. Viçosa**, 2001. 53p.

RANGEL, M.A.S.; VILLELA, F.A. Conservação de sementes de soja pela aplicação de produtos à base de ácido propiônico. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.26, n.1, p.57-61, 2004.

RAO, C.S.; DEYOE, C.W.; PARRISH, D.B. Biochemical and nutritional properties of organic acid-treated high-moisture sorghum grain. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v.14, n.2-3, p.95-102, 1978.

RESENDE, O; CORRÊA, P.C.; GONELLI, A.L.D.; HERIQUES, D.R. **Propriedades Físicas do arroz em casca**. II Congresso Brasileiro da Cadeia Produtiva de Arroz: Anais, 2006. 1 CD ROM.

RIOS, A.O.; ABREU, C.M.P.; CORRÊA, A.D. Efeito da estocagem e das condições de colheita sobre algumas propriedades físicas, químicas e nutricionais de três cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.). **Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23, Suplemento, p.39-45, 2003.

SALUNKHE, D.K.; CHAVAN, J.K. ; KADAN, S.S. Drying and storage of cereal grains. In: SALUNKHE, D.K. Post harvests Biotechnology of Cereals. **Boca Raton, CRC Press**, 1985c. p.167-89.

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

SCARANARI, C. Retardamento da secagem de espigas e qualidade de sementes de milho. Piracicaba, 1997. 60 p. Dissertação (Mestrado) Universidade de São Paulo, ESALQ.

SHAWIR, M.; LE PATOUREL, G.N.J.; MOUSTAFA, F.I. Amorphous silica as an additive to dust formulations of insecticides for stored grain pest control. **Journal of Stored Products Research**, v.24, p.123-130, 1988.

SILVA, J. S. Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. Viçosa, Aprenda fácil, 2000, 502p.

SILVA, L.C. **Grãos: métodos de conservação**. Espírito Santo: Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Engenharia Rural, 2005. (Boletim técnico: AG: 08/05).

SILVA, R.B. Ventilação. 1. ed. São Paulo:D.L.P., 1974. 170p.

SINGH, P.P.; BEDI, P.S.; SINGH, D. Use of organic acids for protecting moist wheat grains from microbial colonization during storage. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v.23, n.3, p.169-171, 1987.

SINHA, R.N. & MUIR, W.E. Grain storage part of a system. **AVI Publishing**: Washington, 1973. p.49-70

SOUZA FILHO, J., LACERDA FILHO, A.F. Princípios de secagem dos grãos. In: Curso de Armazenamento de Grãos. Univ. Fed. de Pelotas, 1980. p.213-308.

SRZERDNICKI, G.; SINGH, M.; DRISCOLL, R.H. Effects of chilled aeration on grain quality. In: 9th Internacional Working Conference on Stored Product Protection, 2006, Campinas. **Proceedings...** Campinas: ABRAPÓS, 2006. p. 1359, ref. 985-993.

TEIXEIRA, M.M.; SINÍCIO, R.; QUEIROZ, D.M. Secagem de grãos. In: Curso de Secagem e Aeração - Pólo de Tecnologia de Pós-Colheita do Rio Grande do Sul. **Universidade Federal de Viçosa**, Viçosa, 2001. 36p.

TETTER, N. Paddy drying manual. **FAO Agricultural Service 70**. Roma, 1987. 123p.

VAN DER LAAN L. F. **Elementos para o planejamento de unidades de beneficiamento de sementes**. Pelotas, RS. UFPEL, 1998. 203p. (Tese de mestrado)

VELUPILLAY, L.; PANDEY, J.P. The impact of fissuring rice in mill yields. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 67, nº 2, p. 118-124. 1990.

VENTILADORES BERNAUER Catálogo geral de produtos e serviços. São Paulo

WENTZ, I.; SILVEIRA, P.R.S.; SOBESTIANSKY, I.; SANTOS, C.R.M.; REES, V. Fusariotoxicose e estrogénismo em suínos. **EMBRAPA-CNPSA**, Comunic. Técn. 24:1-3, 1981.

WOODS. Guia práctica de la ventilación. 1. ed. Barcelona: Editorial Blume, 1970. 334p.

Críticas e/ou sugestões devem ser encaminhadas para o seguinte endereço:
Universidade Federal de Pelotas - Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel"
Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial
Laboratório de Pós-Colheita e Industrialização de Grãos
Campus Universitário, Capão do Leão, RS - CEP 96.010-900, Caixa Postal 354, Pelotas, RS
Fone: (0xx53) 275-7258, Fax: (0xx53) 275-9031/275-7171
E-mail: eliasmc@ufpel.tche.br.