

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ / *CAMPUS* DE CASCAVEL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
SISTEMAS BIOLÓGICOS E AGROINDUSTRIAIS**

**ARMAZENAGEM DE SOJA COM CONTROLE DA UMIDADE RELATIVA DO AR DE
AERAÇÃO**

EVERTOM DUTRA GRESELE

CASCAVEL
2020

EVERTOM DUTRA GRESELE

**ARMAZENAGEM DE SOJA COM CONTROLE DA UMIDADE RELATIVA DO AR DE
AERAÇÃO**

Dissertação apresentado à
Universidade Estadual do Oeste do
Paraná, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola, área de
concentração: Sistemas
Agroindustriais - Nível Mestrado, para
obtenção do título de Mestre.

Orientador: Dr. Divair Christ

Co-Orientador: Evandro André
Konopatzki

CASCADEL

2020

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Gresele, Evertom Dutra

ARMAZENAGEM DE SOJA COM CONTROLE DA UMIDADE RELATIVA DO AR DE AERAÇÃO : ARMAZENAGEM DE SOJA COM CONTROLE DA UMIDADE RELATIVA DO AR DE AERAÇÃO / Evertom Dutra Gresele; orientador(a), Divair Christ; coorientador(a), Evandro André Konopatzki, 2020.

73 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Graduação em Agronomia Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2020.

1. Armazenagem de Grãos. 2. Pós-colheita. 3. Umidade de grãos. I. Christ, Divair. II. Konopatzki, Evandro André. III. Título.

BIOGRAFIA RESUMIDA

Evertom Dutra Gresele, filho de Maria Aparecida Dutra e Valentin Gresele, nasceu no município de Assis Chateaubriand, no estado do Paraná, onde viveu até seus 15 anos.

É Graduado em Agronomia pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (2014), Pós-Graduado em Gestão comercial pela Fundação Getúlio Vargas (2017) e Pós-Graduado em Gestão e Inovação no Agronegócio pela Universidade Positivo (2019).

Atuou até o ano de 2016 como Gerente Comercial na Cooperativa Agropar, no município de Assis Chateaubriand, e atualmente é Gerente da Unidade Armazém Graneleiro na Cotriguaçu Cooperativa Central.

Atualmente, é mestrando em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (2019/2020).

ARMAZENAGEM DE SOJA COM CONTROLE DA UMIDADE RELATIVA DO AR DE AERAÇÃO

RESUMO

O agronegócio representa importante papel para a economia nacional e, também, como fonte de alimento ao mundo. Todo esse potencial é possível pela vasta extensão territorial que o Brasil possui e, ao longo dos anos, por conta de seu avanço tecnológico. Produzir é fundamental para a manutenção da grandiosidade do agronegócio e, como parte do processo produtivo, a armazenagem é de fundamental importância, sendo, ainda, a responsável por expressivas perdas quantitativas e qualitativas de produtos. Para mitigar essas perdas, o presente estudo determinou a quebra técnica e qualidade de soja, armazenada por mais de seis meses, em silo, com sistema de aeração e adição de umidade no ar. Foram utilizadas duas unidades armazenadoras idênticas, em especificações técnicas, de maneira que somente uma das unidades recebeu um sistema de umedecimento do ar, bem como monitoramento desse ar. O produto armazenado teve seu peso e qualidade determinados antes e depois do período de armazenagem; também, foi monitorado o número de horas de aeração, o avanço da frente de resfriamento na massa de grãos, a diferença de temperatura entre o ar ambiente e o ar de entrada na massa de grãos. O sistema de umedecimento do ar mostrou-se eficiente em reduzir a quebra técnica, durante o período de armazenagem, porém, cuidados em seu uso devem ser efetivados. Outros ganhos foram obtidos, como incremento à oportunidade de aeração e redução da temperatura de aeração em baixas umidades relativas do ar.

Palavras-chave: Armazenagem de Grãos, pós-colheita, umidade de grãos.

ARTIFICIAL CONTROL OF RELATIVE AIR HUMIDITY IN STORED SOY AERATION

ABSTRACT

Agribusiness is essential for the national economy and as a source of food for the world. All this potential is possible due to the vast Brazilian territory and its technological advancement over the years. Producing is fundamental for maintaining the importance of agribusiness; and as part of the production process, storage is vital, since it is responsible for significant quantitative and qualitative losses of products. To mitigate these losses, the present study determined the technical breakdown and quality of soybean stored for more than six months in a silo with an aeration system and added moisture in the air. Two storage units, identical in their technical specifications, were used. However, only one had an air humidification system and monitoring. The stored product had its weight and quality determined before and after the storage period; the aeration, the advance of the cooling in the grain mass and the temperature difference between the environment and the incoming air in the grain mass were also monitored. The air humidification system is efficient in reducing technical breakage during the storage period, however, care must be taken in its use. Increased aeration opportunities and reduced aeration temperatures at low relative humidity are other advantages.

Keywords: Grain Storage, Post-Harvest, Grains Moisture.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	IX
LISTA DE FIGURAS.....	X
1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS	12
2.1. Objetivo geral	12
2.2. Objetivo específico	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
3.1. Economia do agronegócio	13
3.2. Armazenagem no Brasil.....	14
3.3. Unidades armazenadoras de grãos	16
3.4. Composição química dos grãos.....	19
3.5. Teor de água nos grãos.....	22
3.6. Equilíbrio osmótico	25
3.7. Propriedades psicrométricas do ar	29
3.8. Conservação de grãos.....	33
3.9. Aeração.....	36
3.10. Qualidade de grãos armazenados	39
4. MATERIAL E MÉTODOS	41
4.1. Unidades armazenadoras.....	41
4.2. Delineamento experimental	45
4.2.1. Tratamento 01: Aeração Padrão.....	45
4.2.2. Tratamento 02: Aeração com controle artificial de umidade.....	46
O tratamento 02 recebeu um ar de aeração variando de 50 à 100% de umidade relativa do ar, e sua umidade foi incrementada sempre que o ar entrante na massa de grãos estivesse em umidade de equilíbrio inferior à umidade dos grãos.	46
4.2.3. Controle das condições de aeração.....	46
4.3. Avaliação da quebra técnica e qualidade dos grãos	48
4.4. Análise estatística.....	49
5. RESULTADOS E DISCUÇÃO	50
5.1. Quebra Técnica.....	50
5.2. Efeitos do sistema de aeração nas condições psicrométricas do ar de aeração	51
5.3. Temperatura.....	60
5.4. Qualidade	61
5.5. Grau de Umidade	63
5.6. Frente de resfriamento.	64
6. CONCLUSÃO.....	68

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
------------------------------------	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Aminoácidos e seus agrupamentos.....	24
Tabela 2 Umidade de equilíbrio tipo de grão x UR (Umidade Relativa).....	25
Tabela 3 Valores de A, B e C.....	27
Tabela 4 Limites máximo de tolerância para soja do Grupo II.	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Evolução da Capacidade de Armazenagem de Grãos Brasileira.....	15
Figura 2 Imagem de unidade armazenadora.....	17
Figura 3 Imagem do sistema de limpeza e fornalha.....	17
Figura 4 Fluxograma de uma unidade armazenadora.....	18
Figura 5 Constituição do grão de milho.....	20
Figura 6 Representação Química Açúcar.....	24
Figura 7 Método de determinação de umidade de Equilíbrio.....	27
Figura 8 Fenômeno de Histerese observado durante o processo de dessecção/adsorção de produtos agrícolas.....	28
Figura 9 Células de trigo hidratada (a) e desidratada (b).....	29
Figura 10 Gráfico psicrométrico.....	32
Figura 11 Diagrama de conservação de grãos.....	36
Figura 12 Sistema de aeração.....	37
Figura 13 Exemplificação da frente de resfriamento em silo vertical.....	38
Figura 14 Imagem dos silos.....	42
Figura 15 Imagem virtual dos silos em 3D.....	42
Figura 16 Imagem do fundo do silo 1.....	43
Figura 17 Croqui do melito dos silos 1 e 2 (Corte AA).....	Erro! Indicador não definido.
Figura 18 Croqui do melito dos silos 1 e 2 (Corte BB).....	44
Figura 19 Software Airmaster V.2.9.2.....	45
Figura 20 Software de controle e registro das umidades e temperatura.....	46
Figura 21 Dispositivo de coleta do ar de aeração.....	47
Figura 22 Caixa e sensor para leitura da umidade e temperatura do ar de aeração.....	47

1. INTRODUÇÃO

A economia brasileira tem apresentado uma balança comercial positiva, ao longo dos últimos anos, e um dos setores que mais contribuem para esse resultado é o agronegócio.

O Setor Agrícola Brasileiro representa anualmente quase um terço de todas as exportações nacionais, visto que produz energias renováveis, como o etanol e o biodiesel; matérias-primas, a exemplo do algodão e da seda; e, ainda, efetiva-se como o setor responsável pela produção de alimentos para o Brasil e grande parte do mundo.

A maioria dos produtos comercializados no agronegócio são as commodities, por exemplo, a soja e o milho, que são produtos que não possuem distinção em termos de qualidade, os quais são comercializados nas bolsas de valores de vários países ao redor do mundo. Dessa forma, uma das características desses produtos é sua baixa margem de lucro para o produtor e para os intermediários, fazendo com que qualquer perda durante o processo cause prejuízos muitos expressivos para os envolvidos.

Um dos processos que apresenta grande perda, tanto quantitativa quanto qualitativa, é a armazenagem. Esse processo é fundamental à produção de alimentos, pois a safra de um produto, muitas vezes, ocorre uma ou duas vezes por ano e seu consumo não possui essa sazonalidade.

A soja é uma das culturas mais cultivadas no território nacional e sua armazenagem facilmente passa dos seis meses. Esse período de armazenagem é quase impossível para a cultura da soja sem que haja um cuidado especial com esse produto; por isso, a grande maioria das unidades armazenadoras de produtos a granel possuem sistemas, como termometria e aeração, que permitem aferir a temperatura do grão armazenado e homogeneizar e/ou resfriar esse produto armazenado.

Contudo, esse processo de armazenagem sempre acarreta perdas de peso ao produto armazenado e, por menor que seja a perda nesse processo, seu impacto é sempre grande quando comparado à margem de lucro do produtor rural ou de prestadores de serviço.

A perda de peso de um produto armazenado efetiva-se basicamente de duas formas; primeiramente, pelo consumo de energia do próprio grão; em segundo lugar, pela perda de umidade desse grão, visto que o segundo é o mais importante em termos de perdas no processo.

A umidade padrão comercial é de 14%; muitas vezes, um produtor ou um prestador de serviços armazena um produto com 13,5% de umidade. Assim, quando esse produto é comercializado, em sua grande maioria para países asiáticos, é embarcado com umidade que chega a ser inferior a 11%; toda essa diferença de peso transforma-se em valores líquidos que deixam de ser exportados pelo Brasil.

Com intenção de minimizar esse impacto, o presente estudo visa adicionar à tradicional aeração, utilizada nas unidades armazenadoras, a adição de umidade de maneira

controlada, fazendo com que a umidade do ar de aeração esteja sempre em equilíbrio com a que está presente no grão armazenado.

O estudo foi realizado em escala comercial, sendo utilizadas, aproximadamente, 15 mil toneladas de produtos, divididos em dois silos e, conseqüentemente, dois tratamentos. Outro ponto a ser avaliado pelo estudo, além da redução de perda de produto, são os impactos da adição de umidade no ar de aeração à qualidade do produto armazenado, comparando-o com sua situação inicial e, também, com o método de aeração usual.

Para a adição de água no ar de aeração, um dos silos recebeu, em seu sistema de aeração, um sistema paralelo, o qual realizou, em tempo real, os ajustes necessários para que o ar de aeração estivesse nas condições desejadas.

Para a aferição do resultado, todo o produto, que foi depositado e retirado do silo, foi pesado, sendo, então, conhecida toda a massa antes e depois do processo. Para a determinação da umidade inicial e final do produto, amostragens foram realizadas a cada 1.000 toneladas, tanto na carga quanto na descarga do silo.

Os valores das massas dos dois sistemas de aeração foram comparados entre si e os dados de umidade e qualidade dos grãos submetidos à análise estatística para a constatação dos devidos resultados.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar o peso, bem como a qualidade de grãos de soja armazenados em silos com sistema de aeração, além de umidade relativa do ar controlada e aeração padrão.

2.2. Objetivo específico

- a) Determinar as condições psicrométricas do ar de aeração com controle artificial;
- b) Medir a umidade absoluta do ar na entrada e na saída do silo, durante o processo de aeração;
- c) Verificar a quebra técnica de soja armazenada com sistema de aeração padrão e com controle artificial da umidade.
- d) Avaliar a perda de qualidade de produto após o período de armazenagem para a aeração padrão e com controle artificial da umidade.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Economia do agronegócio

O Brasil é um país que tem pouco mais de 500 anos de sua descoberta pelos portugueses; sua história se inicia basicamente no extrativismo. O Brasil-Colônia da época era um grande fornecedor de várias matérias-primas para a Europa, como o Pau Brasil, que futuramente seria a inspiração para o nome do país. Anos após sua descoberta, aos poucos, o Brasil traçou caminhos diferentes em sua história e gradativamente foi se tornando um dos maiores produtores agrícolas do mundo, ocupando atualmente um local de destaque na produção de alimentos no cenário mundial.

Um dos principais fatores para que o Brasil tenha alcançado um local de destaque no agronegócio mundial é sua vasta extensão territorial; há poucos países no mundo com potencial para produzir mais alimento que o Brasil.

Em 2019, o Brasil cultivou 64.188.400 hectares com finalidade de produção de grãos, ante 63.218.000 hectares em 2018. Nesse total de área cultivada, está somada a chamada segunda safra, normalmente cultivada com milho, feijão e amendoim e, também, a terceira safra, normalmente cultivada com feijão e milho. Com isso, além de uma vasta área territorial, o Brasil possui, ainda, condições climáticas em algumas regiões que permitem o cultivo de duas e até 3 safras consecutivas (CONAB, 2019).

Segundo a CONAB (2019), a produção de grãos nas safras 19/20 foi da ordem de 246,6 milhões de toneladas de grãos, de maneira que o arroz, milho, soja e algodão possuem destaque como as culturas de maior volume de produção. Cabe, aqui, ressaltar a importância da cultura da soja, que, sozinha, representa a produção de 121 milhões de toneladas de grãos, ou seja, 49% de toda a produção de grãos no Brasil.

Com tamanha produção agrícola, como não poderia ser diferente, o agronegócio representa uma fatia muito expressiva das exportações nacionais; em 2019, o Brasil exportou um montante de US\$225.365.977.986,00, em valores Free On Board (FOB), dos quais quase um terço desse montante foi do agronegócio (MDIC, 2019).

Agronegócio é uma importante ferramenta na economia Brasileira pelo seu valor total e empregos gerados, porém, outra análise, feita pela Agrostat (2019) com dados do Ministério do Comércio exterior, mostra que mais importante que o montante em valor absoluto das exportações comerciais, geradas pelo agronegócio, é o saldo da balança comercial do setor.

Em 2017 e 2018, a balança comercial brasileira, excluindo o agronegócio, apresentou resultado negativo na ordem de três bilhões de dólares e 15 bilhões de dólares, respectivamente, porém, no mesmo período, o agronegócio, sozinho, apresentou um resultado positivo de 70 bilhões e 73 bilhões de dólares, respectivamente. Isso mostra que a

condição superavitária na balança comercial nacional efetiva-se em grande parte pelo agronegócio.

Como já citado anteriormente, dentro de toda economia do agronegócio, a cultura da soja possui uma grande importância econômica, visto que essa cultura representou sozinha, em 2019, mais de 14% do valor de todas as exportações do Brasil, compreendendo um montante de US\$32.626.865.861,00 FOB (MDIC, 2019).

Com seu comércio amplamente disponibilizado nas bolsas de valores ao redor do mundo, a soja é considerada uma commodity e, como todo produto desse tipo, suas margens são bastante baixas, principalmente, para as Cooperativas e Cerealistas, que são intermediários da cadeia produtiva em todo o Brasil. Esses intermediários estão presentes principalmente no Sul do país onde se encontram em maior quantidade as propriedades menores e que raramente dispõem de condições financeiras para a aquisição de unidades armazenadoras.

Com as margens apertadas, as empresas ainda devem arcar anualmente com quebras técnicas referente à operação com soja, que, obviamente, é descontada do valor pago ao produtor, ou sai do resultado líquido de suas atividades.

Ao realizar uma analogia sobre os dados da CONAB, caso a cadeia produtiva nacional da soja consiga se tornar mais eficiente, em 0,5%, o que representaria um montante de US\$ 163.134.329,00 (mais de R\$ 800.000.000,00), tal valor seria somado às divisas do nosso país sem produzir um grama a mais de soja, mas sim com o ganho em eficiência no processo de armazenagem desse produto.

3.2. Armazenagem no Brasil

Com tamanho potencial produtivo Brasileiro, a necessidade de armazenagem também é bastante grande; segundo a CONAB (2020), o Brasil encerrou o ano de 2019 com uma capacidade estática instalada de 169 milhões de toneladas de grãos.

A capacidade de armazenagem de grãos no Brasil é um número um tanto quanto grande, porém, ainda não faz frente à sua produção de 246,6 milhões de toneladas anuais, fazendo com que o Brasil possua a capacidade de armazenar somente 68,8% de sua produção, o que gera uma deficiência de 76,8 milhões de toneladas.

Na Figura 1, é ilustrado o crescimento da capacidade estática brasileira, que apresentou incremento de 106,5 milhões de toneladas, em 2005, para 169,8 milhões de toneladas, em 2019, um incremento de 63,3 milhões de toneladas, ou um incremento de 59%, em 15 anos, o que representa, em média, 3,96% de incremento ao ano.

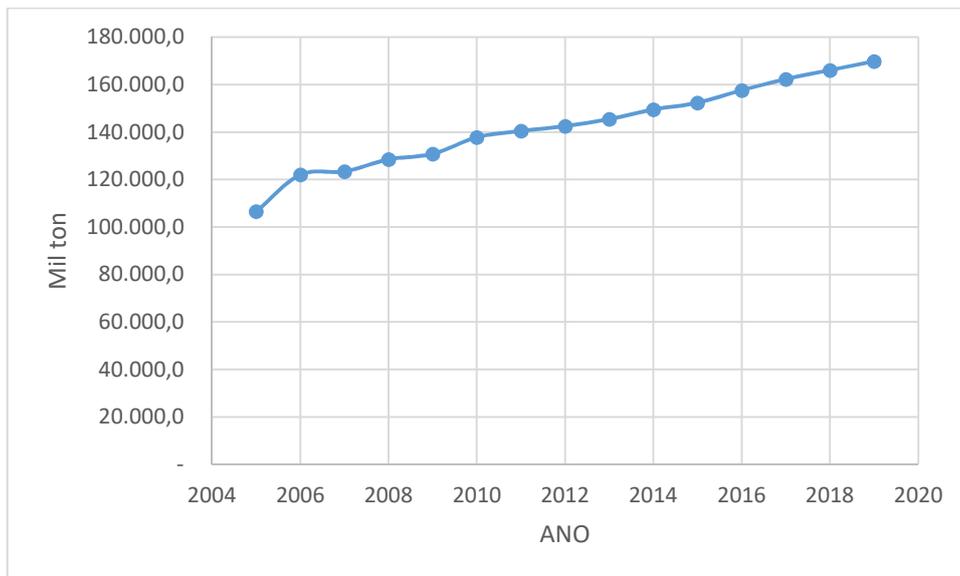


Figura 1 Evolução da Capacidade de Armazenagem de Grãos Brasileira (CODAPAR, 2020).

O estado que se destacou no incremento da capacidade estática foi o Estado do Mato Grosso (MT), o qual apresentou nesses mesmos 15 anos um incremento de 21,8 milhões de toneladas, ou seja, mais 96% em sua capacidade estática. Todo esse investimento em armazenagem fez com que o MT se tornasse o estado brasileiro com a maior capacidade estática do Brasil, tendo capacidade de armazenar quase 38 milhões de toneladas ou ainda mais de 22% de toda a capacidade nacional.

De toda a capacidade estática brasileira, 5,16% estão localizadas nos 10 maiores portos brasileiros, ou seja, quase 95% de toda a capacidade de armazenagem de grãos nacional está no interior dos estados, que é realmente onde se produz.

Um importante ponto a ser lembrado é que, em vários pontos do país, é realizado o cultivo de duas safras em uma mesma área. Em alguns casos, efetivam-se até mesmo 3 safras em uma mesma área e, com isso, o produtor rural ou as cooperativas e cerealistas conseguem uma janela de comercialização e logística entre as safras, o que alivia um pouco a deficiência no espaço de armazenagem.

Antes de ser armazenado em silos, usualmente, todo o produto que entra em unidades armazenadoras passa pelo processo de beneficiamento, que implica basicamente na retirada do excesso de impurezas e, também, na retirada do excesso de umidade presente nos grãos. Para tal fim, as unidades armazenadoras usualmente são dotadas de secador de grãos e máquinas de limpeza.

Para que o produto seja devidamente armazenado, alguns critérios técnicos mínimos devem ser seguidos; esses critérios são norteados pela Instrução Normativa do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) nº 29, conforme previsto no Art. 2º da Lei nº 9.973/2000.

A resolução normativa especifica critérios mínimos que uma unidade armazenadora de grãos deve conter, como necessidade de aeração, taxa mínima de aeração, especificações

de termometria, dentre outros parâmetros. Com o atendimento a essas normas, uma unidade armazenadora consegue realizar a conservação do produto armazenado por um período muito maior que o não atendimento das normas, em uma unidade armazenadora sem aeração, por exemplo.

3.3. Unidades armazenadoras de grãos

No Art. 2º, a Lei nº 9.973, de 29 de maio de 2000, criou o Sistema de Certificação instituído pelo Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (CONMETRO), que possui a premissa de criar normas e regras para a gestão de unidades, aqui, no caso, de unidades armazenadoras.

As unidades armazenadoras, constituídas com CNPJ e prestadoras de serviços, ficam, então, obrigadas a possuir certificação, sem a qual não podem realizar a prestação de serviços para terceiros; já unidades privadas, ficam desobrigadas do cumprimento de tal exigência.

As normas que regem a certificação de unidades armazenadoras classificam essas unidades em basicamente quatro tipos:

Unidade “em nível de fazenda”: que são unidades armazenadoras nas propriedades rurais e desenvolvidas para atender somente à demanda da própria propriedade.

Unidade Coletora: Essas são unidades locais, podendo estar em propriedades rurais, porém, já possuem características mais amplas de capacidade, de forma que conseguem atender a um nível regional, não somente a uma propriedade rural.

Unidade Intermediária: Essas unidades usualmente recebem produtos das unidades Coletoras e ficam localizadas em pontos estratégicos logisticamente, o que facilita o acesso tanto para a recepção quanto expedição de produtos.

Unidade Terminal: Unidade localizada em pontos estratégicos como portos, com grande capacidade de recepção e escoamento de produtos e com alta rotatividade.

A normativa faz várias exigências em diferentes níveis quanto à necessidade ou não de equipamentos, por exemplo, Unidade de Terminal que possui alto giro de produto, a qual não necessita de sistema de termometria e aeração, mas de infraestrutura de pavimentação; já Unidades Coletoras, são obrigadas a possuírem sistema de termometria e aeração com taxas mínimas específicas que garantam a qualidade do produto, todavia, não há a exigência de pavimentação nas instalações internas.

As unidades em Nível Fazenda, Coletoras e Intermediárias possuem, em sua grande maioria, um sistema completo de recepção e expedição de grãos, que a Instrução Normativa nº 29 caracteriza como Sistema de Pesagem, Sistema de Amostragem, Sistema de Determinação da Qualidade, Sistema de Limpeza, Sistema de Secagem, Sistema de Movimentação e Sistema de Armazenagem.

Na Figura 2, é representada uma unidade armazenadora, com os silos, secador e sistema de movimentação; esse modelo, via de regra, é utilizado na grande maioria das unidades armazenadoras, em que usualmente se altera a disposição dos equipamentos e tipo de silos, mas a ideia geral permanece inalterada.



Figura 2 Imagem de unidade armazenadora (KEPLER WEBER, 2020).

Na Figura 3, é apresentada, de forma interna, uma unidade de armazenagem e, de maneira mais detalhada, o sistema de limpeza em primeira vista; ao fundo, a fornalha para aquecimento do ar que alimenta o secador.

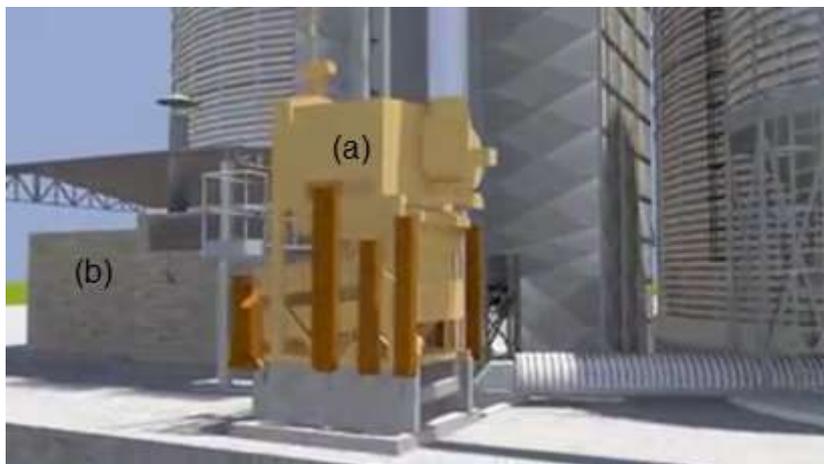


Figura 3 Vista interna de uma unidade de armazenagem com sistema de limpeza (a) e fornalha (b) (KEPLER WEBER, 2020).

Esse modelo de unidade é bastante difundido no Brasil e segue a mesma linha em fazendas, unidades Coletoras ou unidades Intermediárias, que são dotadas de sistema de beneficiamento. Usualmente, as unidades sofrem basicamente alteração em seu volume total de armazenagem, capacidade produtiva e nível de automação.

Nunes (2019) exemplificou uma unidade de beneficiamento de grãos e dividiu todo o processo industrial em quatro etapas (Figura 4). Na Etapa (a), há o processo de Recepção, que consiste na pesagem do produto, coleta da amostra e classificação.

Na Etapa (b), é realizado o processo de limpeza do produto, em que é levado por transportadores mecânicos da etapa (a) para a etapa (b); nesse segundo momento, o produto passa por uma máquina chamada Máquina de Limpeza, a qual é dotada de peneiras responsáveis por tirar, em um primeiro momento, a impureza maior dos grãos e, em um segundo momento, a impureza menor que os grãos.

A Etapa (c) é compreendida pela secagem, pois, nessa fase, o produto passa por dentro de um equipamento chamado de Secador, o qual consiste em forçar a passagem de ar aquecido pela massa de grãos. O aquecimento do ar é usualmente realizado por fornalhas alimentadas por biomassa; a passagem do ar pela massa de grãos é realizada por exaustores, localizados no secador, os quais sugam ou empurram o ar quente da fornalha pela massa de grãos.

Na última parte do processo de armazenagem de grãos, a Etapa (d), o produto é armazenado; existe uma grande diversidade de tipo de armazéns com capacidade de manter o produto armazenado, podendo ser silos Verticais ou Horizontais, de fundo V e semi V, dentre outros.

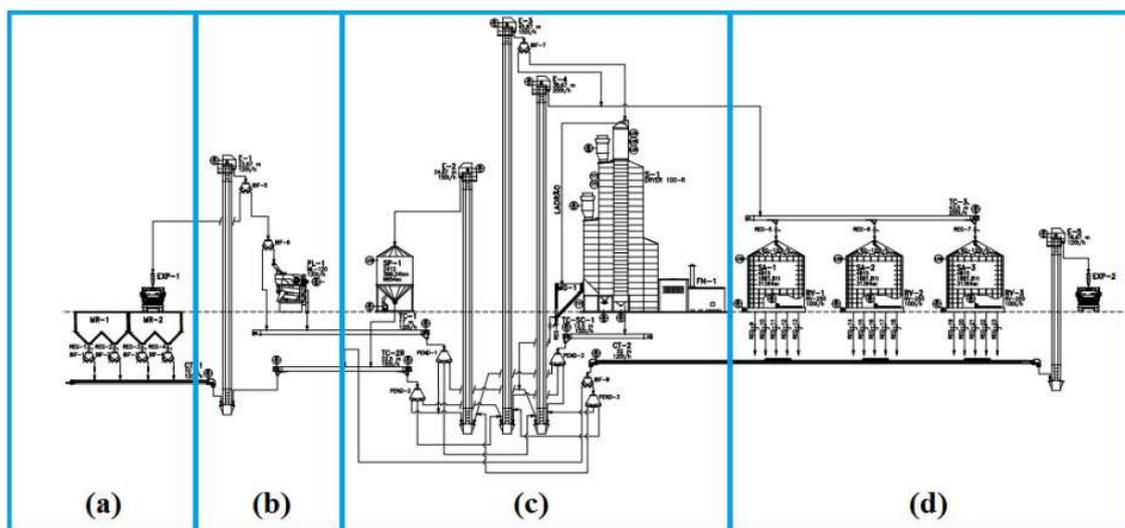


Figura 4 Fluxograma de uma unidade armazenadora (NUNES, 2019).

O processo de beneficiamento de grãos é relativamente simples, o qual consiste basicamente em receber, limpar, secar e guardar o produto; porém, muitas vezes, os grãos que são armazenados não são expedidos na sequência, seja por condições logísticas ou mesmo comerciais, necessitando ficar armazenados por longos períodos.

Com o passar do tempo, a tendência é de que o produto armazenado perca qualidade, sendo que a manutenção dessa qualidade em uma unidade armazenadora efetiva-se pela relação entre umidade do grão, versus temperatura do grão, versus tempo armazenado, tendo

em vista que, a partir do momento em que o produto foi armazenado, nunca terá sua condição melhorada e, sim, sempre tenderá ao declínio de qualidade (AGUIAR, 1982).

Com intuito de melhorar as condições de armazenagem de grãos, em unidades armazenadoras, é utilizado o sistema de termometria e aeração, que possui a finalidade de realizar a leitura da temperatura dos grãos armazenados e insuflar ar na massa de grãos para que essa seja resfriada. De acordo com a Instrução Normativa nº 29 do mapa, as Unidades a Nível de Fazenda, Coletoras e Intermediárias são obrigadas a possuírem esses sistemas.

A Norma norteia ainda quanto à quantidade e qualidade desses equipamentos; para a termometria, exige a presença de ao menos um sensor de temperatura para cada 150 m³ de produto. O sistema de aeração é exigido para os mesmos tipos de unidades que o sistema de termometria. A aeração mínima necessária é de 0,05 metros cúbicos de ar por minuto, por tonelada de grão armazenado, para silos do tipo vertical, e 0,1 metros cúbicos de ar, por minuto, por tonelada de produto, armazenado para estruturas horizontais.

3.4. Composição química dos grãos

Primeiramente, fazendo um esclarecimento das diferenças entre Grãos e Sementes, a legislação Brasileira estabelece a Instrução Normativa do MAPA nº 9 de 02/06/2005, que norteia todas as regras nacionais para a produção de sementes; a instrução normativa faz a seguinte normatização do que é considerado semente:

“XL - Semente: todo material de reprodução vegetal de qualquer gênero, espécie ou cultivar, proveniente de reprodução sexuada ou assexuada, que tenha finalidade específica de semeadura;” (MAPA nº 9 de 02/06/2005)

Porém, na Instrução Normativa Nº 25, de 27 de Junho de 2017 que norteia os procedimentos para importação e exportação de sementes e mudas, o texto diz:

“§ 1º Todo material de propagação vegetal, para efeitos legais, é considerado semente ou muda.” (IN 25 de 27 de Junho de 2017).

Ou seja, pelas leis brasileiras, quando há importação ou exportação de material vegetal, os grãos serão sempre considerados sementes; já em um âmbito nacional, só é considerado semente o grão que tiver, como seu destino, a propagação ou a semeadura, não possuindo, assim, diferenças físicas, biológicas ou genéticas entre ambos.

Os grãos são fundamentalmente formados por um embrião, o qual tem por finalidade a propagação da espécie; o posicionamento desse embrião e seu volume varia de acordo com cada tipo de espécie (AGUIAR, 1982).

O eixo embrionário é a parte mais importante da semente, pois é ele que tem a capacidade de se propagar; o eixo embrionário possui essa capacidade por ser dotado de tecido meristemático em seu ápice e sua base. Isso permite que o embrião cresça para as duas extremidades, na extremidade superior, formando a parte aérea, como as folhas e caule;

na extremidade inferior, com as raízes, anexo ao eixo embrionário, podem estar um ou dois cotilédones, formando, assim, o embrião (CARVALHO, 2000).

Todas as sementes possuem o tecido de reserva, que tem a finalidade de fornecer energia para a células do embrião até que tenha capacidade de se nutrir sozinho, por meio da fotossíntese. O tecido de reserva é formado pelo endosperma, cotilédone na ordem de um ou dois, e pelo perisperma (CARVALHO, 2000).

O endosperma é um tecido de reserva normalmente constituído por amidos ou proteínas e óleos; ele tem por finalidade fornecer energia ao embrião, de forma que sua quantidade é bastante variada em cada espécie (CARVALHO, 2000).

O cotilédone tem por finalidade fornecer ou sintetizar alimento ao eixo embrionário; é considerado um tecido vivo, formando o embrião juntamente com o eixo embrionário. A condição de “vivo” do cotilédone transfere a ele características distintas do endosperma, permitindo que esse seja autônomo no que tange às enzimas necessárias para suas atividades (AGUIAR, 1982).

Usualmente, é comum considerar somente as camadas principais da semente, como as abordadas acima, mas é importante salientar que cada espécie possui diferentes formações das sementes; assim, muitas vezes, cada parte ou camada da semente é subdividida em mais camadas. Delcour e Hoseneý (2010) evidenciam uma estrutura mais completa de constituição de algumas sementes, como exemplificado na Figura 5.

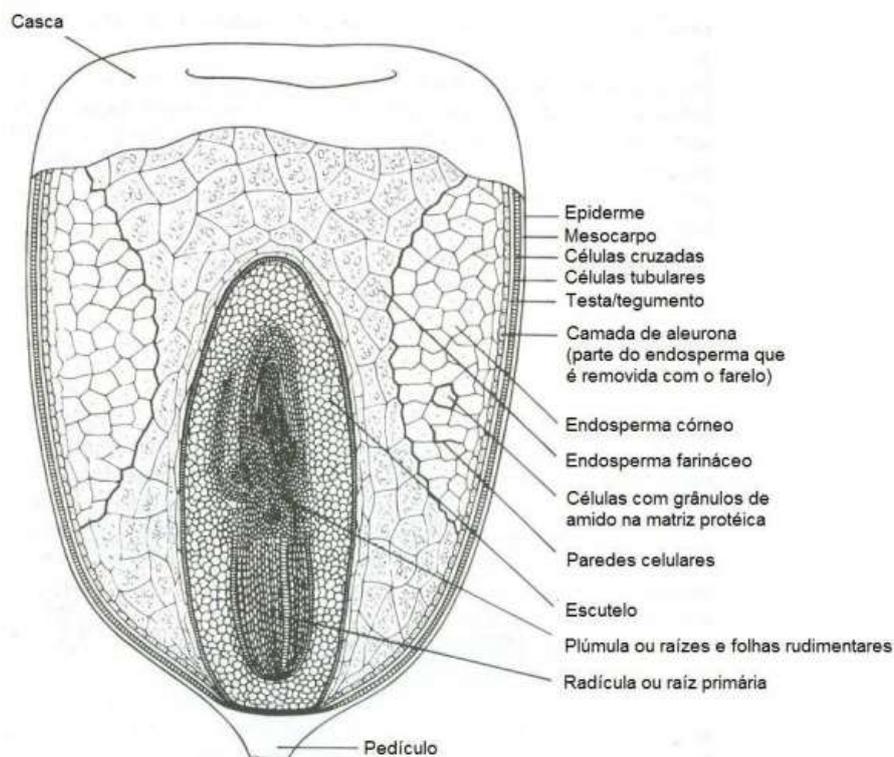


Figura 5 Estrutura de constituição do grão de milho (DELCOUR e HOSENEY, 2010).

A composição química das sementes pode ser bastante variável, podendo, em alguns casos, conter grandes quantidades de proteínas e, em outras situações, grandes quantidades de amido, dependendo da espécie (CARVALHO, 2000). Todavia, ainda que dentro de uma mesma espécie, a variação na composição química da semente também pode ser bastante recorrente. Essa variação intraespécie acontece em função da variabilidade genética, das condições climáticas de cultivo e, também, pelas condições nutricionais disponíveis para a planta em seu desenvolvimento (CARVALHO; NAKAGAWA, 1988).

Dentro de uma mesma semente, há uma variação de tecidos que tiveram origens diferentes durante o processo de formação dessa semente; essa diversificação de tecidos caracteriza a semente com uma variabilidade muito grande de constituição química entre suas partes. Tendo origem embrionária como exemplo, apresenta uma constituição química muito parecida com a planta mãe e possui células que vão gerar um exemplar também muito parecido com a planta original. Já os tecidos de reserva, possuem uma constituição química que, em alguns casos, não é encontrada na planta mãe, a saber, alguns tipos de proteínas (MAYER; POLJAKOFF-MAYBER, 1978; CARVALHO; NAKAGAWA, 1988; CARVALHO, 2000).

Basicamente, a produção de grãos é essencial em função de sua constituição química, que, por sua vez, tornar-se-á fonte de matéria-prima para a indústria. Pode-se, então, dividir os grãos ou sementes em dois grandes grupos; os grãos, que armazenam amidos, por exemplo, o trigo e o milho; e os grãos, que armazenam proteínas, como a soja e a canola.

Independentemente do grão produzido ter a finalidade de ser uma fonte de proteína ou amido, em ambos os casos, possuem um constituinte em comum, a água. Do instante em que o grão é colhido na lavoura, até o ponto em que pode ser armazenado, sua umidade interna pode sofrer grandes alterações. Para que a necessidade de secagem não seja tão grande, Nunes (2016) afirma que a colheita deve ser postergada o máximo possível, para que o grão perca umidade o mais naturalmente possível no ambiente, chegando a níveis de umidade ideais para armazenamento.

Silva (2008) afirma que a umidade ideal para a armazenagem de grãos é de 11%, porém, usualmente, a umidade no momento da colheita é bem diferente. Schmidt *et al.* (2017) realizaram um trabalho com 112 amostras no momento da colheita da safra do milho e constataram que a umidade variou de 22,5% até 31,6%, com uma média de 25,5%. Tais resultados mostram que, muitas vezes, a necessidade de secagem é bastante agressiva, resultando em uma grande perda de umidade.

A água e o tipo de tecido reserva presente no interior dos grãos são seus constituintes químicos mais importantes. A água tem sua importância ampliada no que tange à atividade de armazenagem, pois irá regular todos os processos bioquímicos internos da semente, sendo um agente com capacidade de acelerar ou frear sua degradação. Já o constituinte do

tecido de reserva, é o que confere o valor nutricional aos grãos de determinada espécie e, conseqüentemente, seu valor comercial, podendo ser rico em amidos, proteínas e gorduras.

3.5. Teor de água nos grãos

O teor de água nos grãos é comumente nomeado de umidade; existem normativas federais que norteiam os teores de umidade dos grãos para transações comerciais. As Instruções Normativas do MAPA Nº 11/2007 e 60/2011 especificam os teores, bem como procedimentos para a soja e milho, respectivamente.

Primeiramente, as instruções normativas evidenciam o seguinte texto sobre umidade:

“XI - umidade: o percentual de água encontrada na amostra do produto isenta de matérias estranhas e impurezas, determinado por um método oficial ou aparelho que dê resultado equivalente.” (MAPA Nº 11/2007).

As normativas Nº 11/2007 e 60/2011, que regulamentam a soja e milho, preveem como 14% o limite máximo de umidade permitido para negociações comerciais, como os valores de umidade durante a colheita, que são usualmente superiores a esse limite; é realizada, então, a secagem do produto para que possa ser comercializado. Durante o processo de recebimento do produto com umidade superior à 14%, em unidades de beneficiamento, é realizado o desconto da umidade em excesso sobre o peso total do produto.

Para a determinação da umidade, as normas também regulamentam que a amostra deve estar livre de impurezas e ser em quantidade suficiente para o método de determinação. Quanto à determinação de umidade em si, a regulamentação nacional efetiva-se pela Portaria nº 402, de 15 de agosto de 2013 do INMETRO; nesse documento, está presente a unificação das metodologias de amostras, sejam elas diretas ou indiretas.

De acordo com a Portaria nº 402, de 15 de agosto de 2013 do INMETRO, a umidade deve ser expressa em percentual de conteúdo de umidade (%U) e a referência deve ser sempre o método de determinação em estufa. O método de estufa, definido como padrão nacional pelo INMETRO, consiste no método da estufa, em que uma amostra é submetida a uma temperatura conhecida, até que sua massa permaneça constante; o valor da umidade concretiza-se pela quantidade de massa perdida pela amostra, dividido pelo peso inicial da amostra, multiplicado por 100%, conforme função:

$$\%U = \frac{m_o - m_f}{m_o} \times 100\% \quad 1$$

Em que: M_0 é a massa inicial da amostra e M_f é a massa final da amostra.

O teor de água nos grãos é tão importante que até mesmo suas propriedades físicas se alteram. Henry *et al.* (2000) realizaram estudos com grãos de soja com várias umidades e concluíram que, quanto maior a umidade, menor a capacidade do grão resistir a compressões;

Ribeiro (2007) obteve as mesmas conclusões, percebendo que, quanto menor o teor de umidade, mais peso é necessário para que um grão tenha a mesma deformação.

Tais propriedades físicas dos grãos são muito importantes para os processos pelos quais irão passar, principalmente, no que se refere à colheita. Silva (1997), por exemplo, afirma que a colheita, com valores de umidade muito alta, acarreta maiores danos mecânicos sobre sementes de milho, do que comparado com sementes colhidas com menor teor de umidade. Melendez *et al.* (1992) concluíram que, ao colher grãos de milho com umidades muito baixas, os processos mecânicos da colheita tendem a quebrar os grãos de milho em maior quantidade que em umidades maiores.

O entendimento da dinâmica da água no interior do grão é bastante complexo, pois encontra-se adsorvida no seu interior; é possível ainda encontrar a água em mais de um estado físico ali dentro. Contudo, essa água raramente fica em equilíbrio e, principalmente, no processo de secagem, é forçada a sair do interior do grão; esse movimento faz com que a água passe camada por camada no interior do grão, alternando entre seus estados físicos até que saia e passe a fazer parte da atmosfera ao redor (TOMKIEWICZ, 2010).

Visualmente, é difícil distinguir os diferentes tecidos que constituem um grão, porém, esse possui vários tecidos que tiveram origem distintas em sua formação, bem como propriedades diferentes. Com isso, a umidade no interior de um grão nunca é homogênea em seus diferentes tecidos e, ao ser armazenado, essa umidade tende ao equilíbrio nos diversos tecidos, mas é difícil afirmar que um grão, mesmo armazenado por muito tempo, tenha o mesmo teor de umidade em todos os seus tecidos (DELCOUR; HOSENEI, 2010).

Puzzi (1986) classifica a água presente no interior dos grãos em três categorias. A Primeira é nomeada de Água Livre, a qual é a de mais fácil retirada do grão, que está presente nos espaços intracelulares. O outro tipo é a Água Adsorvida, que consiste na água adsorvida a estruturas sólidas, a qual se encontra mais fortemente aderida à estrutura do grão que a Água Livre, visto que é de mais difícil perda para o ambiente. Por fim, a Água Combinada, pois essas moléculas fazem parte das estruturas do grão, ou seja, da constituição química do próprio grão e, conseqüentemente, é a de maior dificuldade de retirada.

Uma grande quantidade de água está presente no grão em forma líquida, realizando um papel osmótico nos tecidos vegetais e formando uma solução com a presença de açúcares e sais. Essa água é fracamente retida pelo grão e tem por finalidade papéis fisiológicos, como reações bioquímicas. Também, como está mais fracamente retida, além de ser perdida facilmente para o ambiente, também favorece o aparecimento de agentes indesejados durante o processo de armazenagem, facilitando a deterioração dos grãos (LASSERAN, 1978).

Os grãos são basicamente compostos por minerais, proteínas, carboidratos e lipídeos, variando obviamente de acordo com o tipo de grão; os três primeiros componentes são hidrofílicos e possuem capacidade de reter a água, ao contrário do último, que é um composto

hidrofóbico. O que confere uma menor ou maior capacidade de reter água é a polaridade de um elemento, ou seja, quanto maior for a polaridade de um elemento, maior sua higroscopicidade (ELIAS, 2003).

O Poder de adsorção de água pelo grão varia de acordo com sua constituição; basicamente, os açúcares possuem a maior capacidade de adsorção de água, pois esses têm uma grande quantidade de pontes de hidrogênio com os grupos hidroxilos (Figura 6), o que gera pontos de carga livre, acarretando a adsorção da molécula de água (VIDAL, 1981; LASSERAN, 1978).

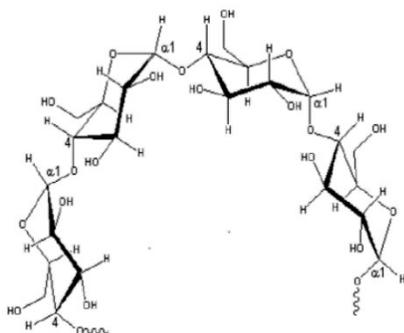


Figura 6 Representação Química do Açúcar (Adaptado de Laholo e Neves 2006).

Tais propriedades de atração só são possíveis graças às propriedades bastantes específicas da água, pois essa é um dipolo relativamente pequeno, o que lhe confere uma alta atratividade a substâncias polares. Com isso, vários agrupamentos iônicos, como os exemplificados na Tabela 1, possuem propriedades de atrair a água (LEHNINGER, 1975).

Tabela 1 Aminoácidos e seus agrupamentos

Grupamento	Aminoácido
-OH	Serina, Treonina e Hidroxi Prolina
-NH	Triptofano, Histidina e Prolina
-NH ₂	Lisina
-COOH	Ácido Aspártico e Glutâmico
-CONH ₂	Glutamina e Asparagina

Adaptado de LEHNINGER (1975)

Dependendo da constituição coloidal do grão, apresentará diversas interações com a água. Vidal (1982) afirma que essa interação entre as cargas elétricas dos coloides e da água inclui a atração de Vander Waals e dispersiva do efeito de London, gerando uma série de reações internas acarretadas pelas cargas iônicas presentes.

As proteínas estão em segundo plano, em se tratando de higroscopicidade; como as proteínas são basicamente uma grande cadeia de aminoácidos, esses, por sua vez, possuem também pontos de adsorção da água pela presença de -COOH, -NH₂, -NH, e também -OH.

As proteínas possuem ainda uma variação na sua capacidade de reter água, pois, dependendo do aminoácido em sua constituição, a quantidade de moléculas de água retida em cada ponto de polaridade é variável (ELIAS, 2003).

A adsorção ou desorção é ganho ou perda de água retida nas extremidades polares das moléculas; assim, a entrada ou saída dessa água do interior do grão depende da condição externa ao grão, sendo que a umidade de ambos tende ao equilíbrio (BRAGA, 1991).

3.6. Equilíbrio osmótico

O equilíbrio osmótico ou higroscopicidade é o evento que tange a troca de água entre o ar e os grãos. A tendência de movimentação da água entre esses dois elementos ocorre sempre do elemento que possui água mais disponível para o elemento que possui água menos disponível; caso ambos tenham a mesma disponibilidade de água, o sistema entra em equilíbrio, de maneira que a umidade do ar ou do grão não se alteram (ELIAS *et al.*, 2018).

A umidade de equilíbrio é amplamente conhecida por se tratar da base para a secagem de grãos e sementes; o estudo da umidade de equilíbrio envolve amplamente a criação de curvas chamadas Isotermas de Equilíbrio, as quais visam estudar a umidade do grão em diversas umidades relativas do ar e em diversas temperaturas (CONAB, 2006).

A afinidade de um grão com a água está diretamente ligada à sua constituição química, portanto, cada espécie possui uma determinada umidade de equilíbrio, como exemplificado na Tabela 2, em que vários grãos possuem uma determinada umidade de equilíbrio em função da umidade relativa do ar. Os grãos, ricos em amido, como o Milho e o Sorgo, apresentam umidades maiores em comparação à Soja e Algodão, quando expostos à mesma umidade no ar.

Tabela 2 Umidade de equilíbrio tipo de grão x UR (Umidade Relativa)

Sementes	Umidade Relativa (%)									
	15	30	40	60	65	70	75	80	90	100
Algodão	3,0	6,0	7,0	9,1	-	10,2	-	13,2	18,0	-
Amendoim	2,6	4,2	5,6	7,2	-	-	9,8	-	13,0	-
Arroz	5,3	9,0	10,0	12,6	13,0	13,4	14,4	15,3	18,2	-
Milho	6,0	8,5	9,8	12,5	13,0	13,5	14,8	-	19,0	24,2
Sorgo	6,2	8,6	9,8	12,0	12,8	13,5	15,2	-	19,0	23,0
Soja	4,0	6,5	7,1	9,3	11,0	11,8	13,1	15,4	20,0	-
Trigo	6,2	8,5	9,6	12,2	-	13,4	-	16,5	20,1	25,5

Peske *et al.* (2003).

A água que está presente dentro de grão tende a sair para o ambiente quando sua umidade está superior à umidade de equilíbrio; assim, quanto maior for a diferença entre a umidade de equilíbrio e a umidade do grão, mais veloz será a saída de água de dentro desse

grão. A força que faz a água sair e passar para o ar externo, e também o contrário, é nomeada de Pressão de Vapor.

A pressão de vapor de água é uma medida de pressão de água de um determinado local, dada em mbar, Pa ou mmHg, em que a água migra do local de maior pressão para o local de menor pressão (CONAB, 2006). Diante disso, um coloide, como um grão que possui 20% de água, tem uma determinada pressão de vapor; já o mesmo coloide, com 40% de água, possui uma pressão de vapor muito maior e, conseqüentemente, perderá água mais facilmente e mais rapidamente.

Pelas leis da termodinâmica, a água presente no ponto de maior concentração sempre tenderá ao ponto de menor concentração; o momento em que esse movimento cessa é chamado de umidade de equilíbrio. Nesse ponto, a umidade do grão e do ar não se alteram; conseqüentemente, esse evento ocorre quando a pressão vapor do grão se iguala à pressão vapor do ar (MONTE, 2018).

Para determinar a umidade de equilíbrio de um material, normalmente, não é necessário muito esforço, pois existem diversos trabalhos publicados com tais valores, porém, é possível encontrar a umidade de equilíbrio de duas formas; a primeira é calculando, com base nas funções já conhecidas; e a segunda efetiva-se por exposição do grão a um ar com umidade conhecida e controlada.

Para encontrar a umidade de equilíbrio de diversos produtos agrícolas por cálculo, é possível fazer uso da seguinte equação:

$$U_e = -\frac{1}{B} \times \ln \left[-\frac{(T + C)}{A} \times \ln(U_r) \right] \quad 2$$

Em que:

U_e – Umidade de equilíbrio em base seca;

T – Temperatura do ar (°C);

U_r – Umidade relativa do ar;

A , B e C – Constantes que dependem do produto.

As constantes A , B e C , para alguns produtos agrícolas, são apresentadas na Tabela 3:

Tabela 3 Valores de A, B e C

Produto	A	B	C
Cevada	761,74	19,889	91,323
Feijão	671,78	14,964	120,098
Milho	312,31	16,958	30,205
Amendoim em grão	254,98	29,243	33,892
Arroz em casca	594,65	21,733	35,703
Sorgo	1099,68	19,644	102,849
Soja	138,45	14,967	24,576
Trigo (durum)	921,69	18,077	112,350
Trigo (hard)	529,45	17,609	50,998
Trigo (soft)	725,89	23,607	35,662

Navarro e Noyes (2001).

O segundo método para determinação da umidade de equilíbrio de um determinado produto é pela exposição desse produto a uma determinada umidade de ar e temperatura constantes, além de conhecidas; dessa forma, posteriormente, é realizada sua aferição. Nesse método, é utilizado um frasco com uma solução salina saturada conhecida (Figura 7), a qual tem a propriedade de regular a umidade do ar em função do sal utilizado e, com isso, a amostra é exposta à atmosfera dentro do frasco sem entrar em contato com a solução, que entra em equilíbrio com a umidade relativa do ar ambiente. Esse é um processo bastante demorado, que pode levar dias ou semanas até atingir a umidade de equilíbrio. Uma versão com ar forçado dessa metodologia também é utilizada a fim de acelerar o processo (CONAB, 2006).

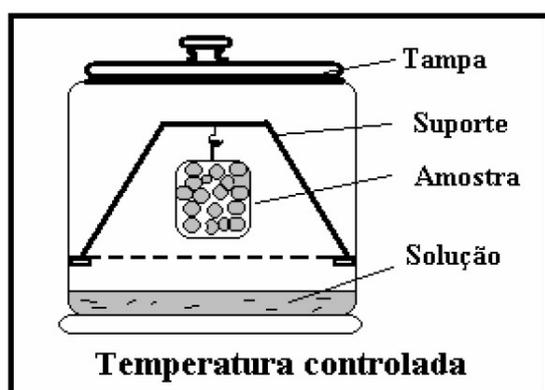


Figura 7 Método de determinação de umidade de Equilíbrio (CONAB 2006).

Sempre tendendo ao equilíbrio osmótico, o grão pode perder ou ganhar água, dependendo da umidade em seu exterior. O processo de perda de água é chamado de dessorção e ocorre no momento da secagem do grão; já o processo de ganho de água de um grão, é chamado de adsorção e ocorre principalmente no momento da germinação de sementes. Industrialmente, esse processo também é utilizado na moagem de trigo, para que o grão tenha a consistência ideal ao processo de moagem (DELCOUR; HOSENEI, 2010).

Porém, durante o processo de adsorção e dessorção, a condição é que dois materiais são expostos a uma mesma umidade relativa, porém, um ganha e outro perde umidade, de maneira que não chegarão à mesma umidade; esse fenômeno é chamado de histerese. A histerese estabelece que, para atingir a umidade desejada de um produto, a umidade do ar deve ser maior quando se quer ganhar a umidade e menor quando se quer perder umidade (Figura 8).

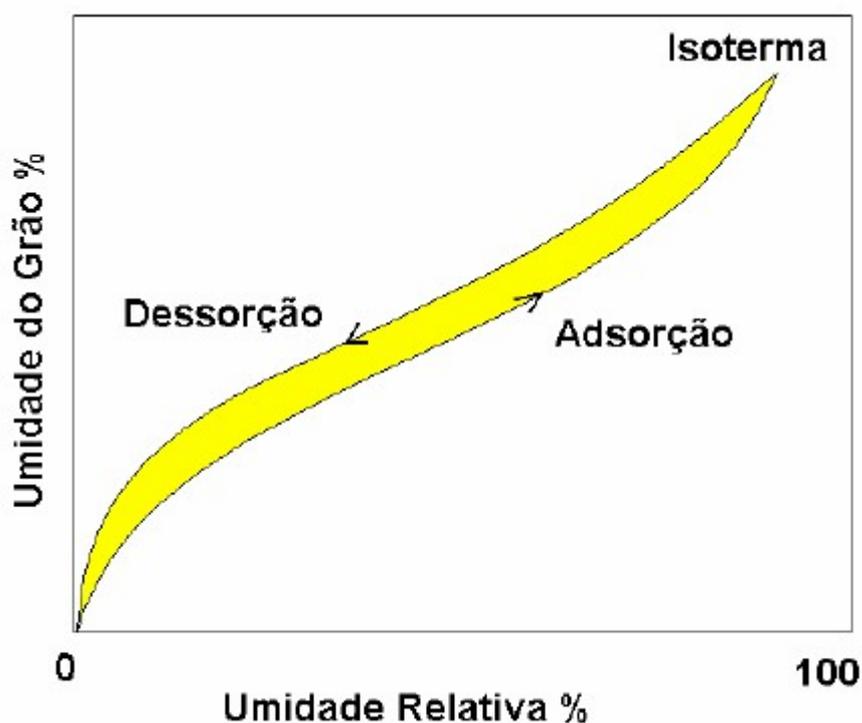


Figura 8 Fenômeno de Histerese observado durante o processo de dessorção/adsorção de produtos agrícolas (CONAB, 2006).

A histerese é um fenômeno que ainda não possui seu processo completamente elucidado, mas é bem aceita a teoria de que, ao perder água, as estruturas internas dos grãos se ajeitam de tal forma que não retornam ao seu estado inicial, não tendo o mesmo arranjo e, conseqüentemente, a mesma quantidade de água. Outra explicação, que ainda não exclui a primeira, é que, ao perder água, as estruturas responsáveis pela troca gasosa com o ambiente estão mais retraídas, o que dificulta mais a entrada que a saída. Na Figura 9, apresenta-se uma microscopia eletrônica de um grão de trigo hidratado (a) e outro desidratado (b). No grão hidratado (Figura 9a) e nas células tubulares (T), as células de revestimento (S) estão abertas; conseqüentemente, ficam mais propensas a trocas gasosas, enquanto as mesmas células estão mais fechadas (Figura 9 b) e menos propensas a trocas gasosas, quando o grão está desidratado (DELCOUR; HORSENEI, 2010).

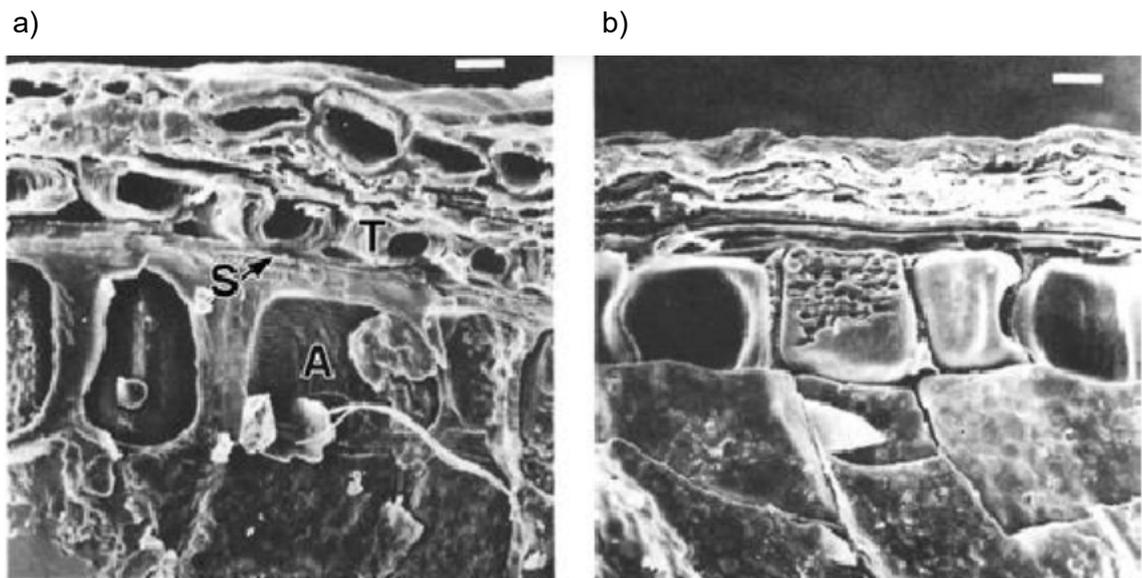


Figura 9 Células de trigo hidratada (a) e desidratada (b) (DELCOUR; HORSENEI, 2010).

Notas:

T: Células tubulares,

S: Revestimento da semente e

A: Célula de Aleurona.

O ganho ou perda de umidade de produtos agrícolas é norteado pelo seu equilíbrio com o meio; toda a secagem e conservação de grãos é baseada nesses conceitos. A pressão vapor é a medida que indica se um determinado produto vai perder ou ganhar umidade em função da condição a que está exposto, porém, a pressão vapor do ar é diferente para um mesmo material no momento da adsorção ou dessorção de água.

3.7. Propriedades psicrométricas do ar

A psicrometria é a parte da termodinâmica responsável por estudar a água presente na atmosfera em forma de vapor. A atmosfera é composta de vários gases, que praticamente não se alteram em sua constituição, porém, o vapor d'água pode variar de praticamente zero a até quatro por cento do volume do ar; sua variação afeta muito os seres vivos, por exemplo, as sementes (CONAB, 2006).

O método mais clássico para aferir a umidade relativa do ar é com base no psicrômetro, que consiste em dois termômetros, sendo um exposto naturalmente ao ar ambiente e um segundo, que possui seu bulbo envolto com um tecido úmido. Basicamente, quanto menor a umidade relativa do ar, maior será a diferença entre os termômetros; também, quanto maior a temperatura ambiente, maior a capacidade do ar em reter umidade.

Para cada umidade relativa, o ar possui uma pressão de vapor específica; assim, com base na equação a seguir, pode-se calcular a pressão vapor de um determinado ar a 100% de umidade (p_{vs}).

$$p_{vs} = 6,10^{25} / (1000 T^5) \cdot \exp(-6800/T) \quad 3$$

Em que: p_{vs} é a pressão dada em kPa; o T é a temperatura em Kelvin.

Quando o ar não se encontra em seu estado de saturação, ou seja, quando a umidade relativa não está em 100%, a pressão vapor desse ar é chamada de pressão vapor relativa (p_v)

A umidade relativa do ar nada mais é que a relação da capacidade máxima que o ar possui em reter água e a capacidade de água presente, evidenciada pela função:

$$UR = 100 \cdot p_v / p_{vs} \quad 4$$

Em que: a UR é a umidade relativa do ar em %.

A mistura de vapor d'água e ar seco, ainda, é variável em função da pressão atmosférica, portanto, a proporção de água em kg, dissolvida em ar, também em kg, é nomeada de Razão de Mistura (w) e apresentada pela função a seguir:

$$w = 0,622 \cdot p_v / (P - p_v) \quad 5$$

Outras duas medidas utilizadas são a Umidade Absoluta (Ua) e Umidade Específica (Ue), em que a primeira expressa a quantidade de água em gramas por m³ de ar e a segunda expressa a quantidade de água em gramas por grama de ar.

$$Ua = (348,37 P - 131,69 p_v) / T \quad 6$$

$$Ue = (0,622 p_v) / (P - 0,378 p_v) \quad 7$$

O grau de saturação (Gs) é uma medida que expressa o percentual da mistura ar/água atual com a mistura ar/água do ar saturado.

$$Gs = 100 \cdot w / w_s \quad 8$$

Uma medida bastante interessante é a temperatura do ponto de orvalho (t_{po}), que retorna em qual temperatura, em Graus Celsius, um ar não saturado se tornará saturado.

$$t_{po} = (186,4905 - 237,3 \log_{10}(10 p_v)) / (\log_{10}(10 p_v) - 8,2859) \quad 9$$

Outra medida bastante importante é a entalpia (h), sendo essa a quantidade de energia acumulada no ar úmido; assim, a medida é propiciada em kJ.kg^{-1} , sendo o T expresso em Kelvin e o w em kg.kg^{-1} .

$$h = 1,006 (T - 273,15) + w (2501 + 1,775 (T - 273,15))$$

10

As proporções de quantidade de água, umidade relativa do ar, temperatura e entalpia estão sempre intimamente relacionadas, podendo ser correlacionadas, obtendo-se o gráfico psicrométrico (Figura 10), que fornece um bom embasamento visual para entender às diferentes capacidades de absorção de água do ar nas mais diversas temperaturas, bem como sua entalpia.

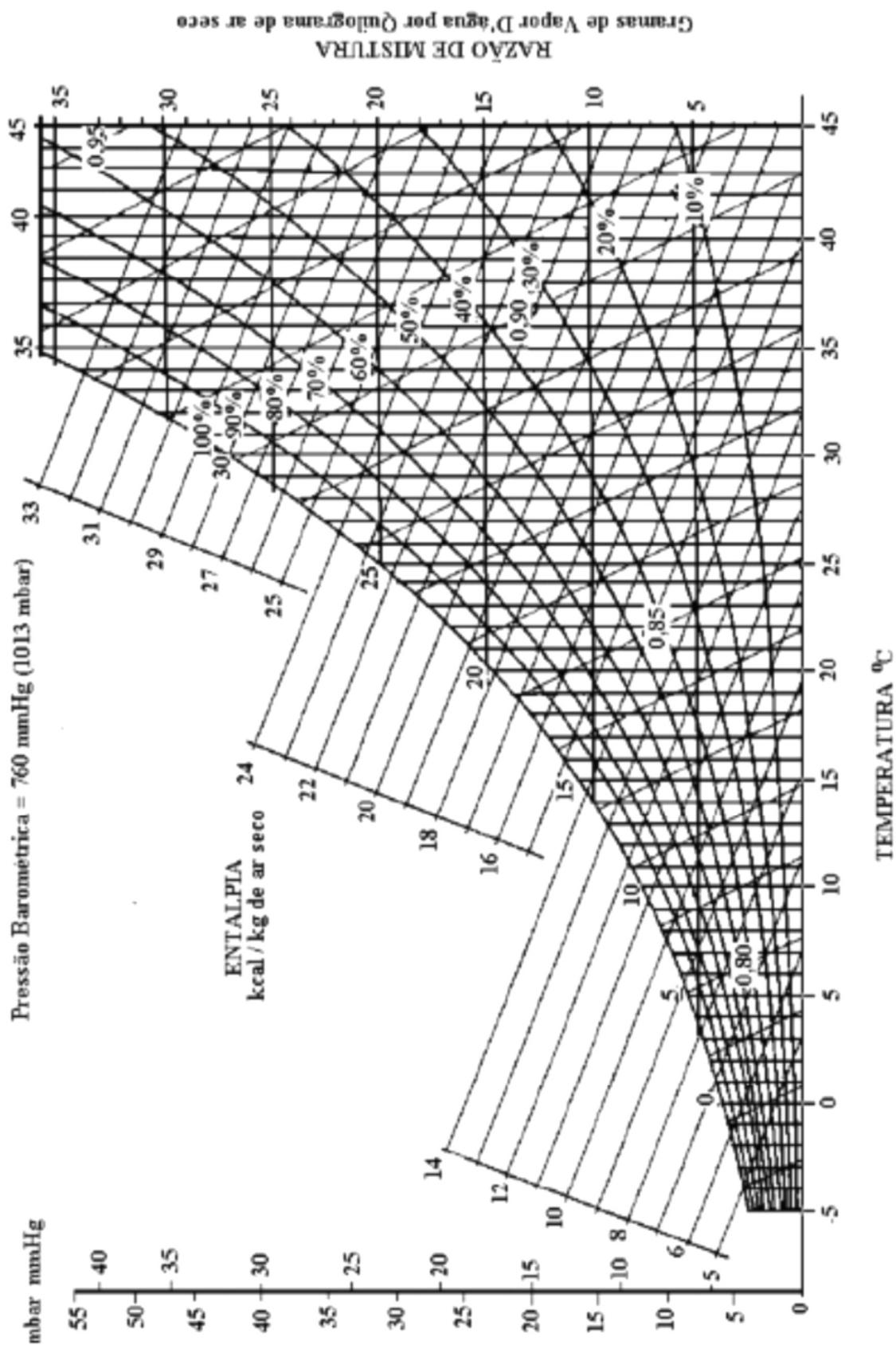


Figura 10 Gráfico psicrométrico.

3.8. Conservação de grãos

A armazenagem de grãos ou conservação de grãos é uma área de suma importância para o agronegócio brasileiro, pois todo o produto, que passou por meses sendo cultivado até a sua colheita, enfrenta o processo de armazenamento. O que varia nesse processo é o tempo em que esse produto fica armazenado; em alguns casos, são poucos dias no silo e, muitas vezes, longos períodos até sua devida comercialização ou industrialização.

No processo de armazenagem, três variáveis são utilizadas como ferramenta pelos profissionais da área para tentar manter a qualidade dos grãos; as três variáveis são: tempo, umidade e temperatura e, geralmente, quanto maior o tempo de armazenagem, menor deve ser a umidade do grão, bem como menor a temperatura do grão (FARONI *et al.*, 1998). Assim, utilizando uma mesma escala de tempo, ainda, pode ser considerada uma variação entre a temperatura e umidade; em alguns casos, por exemplo, são usados sistemas de resfriamento artificial para refrigerar os grãos. Nessas situações, o produto pode ser armazenado com umidades um pouco maiores.

O contexto da umidade é uma variável muito importante na armazenagem, pois, por norma, o grão deve ser comercializado com no máximo 14% de umidade, porém, essa umidade não é ideal para armazenagem por longos períodos; ao retirar umidade do produto para melhorar a condição de armazenagem, automaticamente, retira-se peso do produto. Esse processo de perda de umidade, abaixo de 14%, acarreta a quebra técnica, que é uma temática extremamente recorrente nas áreas técnicas.

A quebra técnica afeta tanto o produtor quanto os intermediários, ou seja, quando um produtor expede um produto armazenado por um longo período, com 12% de umidade, se esse mesmo produto fosse expedido com 13% de umidade, o produtor teria vendido 1,15% a mais. Já para as Cooperativas e Cerealistas, o impacto é maior, pois, no mesmo exemplo, o intermediário comprou um peso e está vendendo por um peso ainda menor, o que ocasiona grandes impactos econômicos.

Porém, armazenar produtos com alto teor de umidade não é o caminho, pois pode ocorrer a deterioração de todo o produto armazenado, bem como a perda de 100% do produto, não de somente 1,15%. Por esse motivo, os profissionais da área têm que equilibrar muito bem todas as variáveis para não acarretar a perda de qualidade, tampouco, o excesso de perda de umidade.

A redução na quantidade de água presente nos grãos, com base no processo de secagem, bem como a redução da temperatura da massa de grãos, possuem a capacidade de manter a qualidade dos grãos por um período maior de tempo em função de terem a capacidade de reduzir as reações bioquímicas interna dos grãos (AGUIAR *et al.*, 2012; ELY, 2018); porém, segundo Park *et al.* (2012) e Ely (2018), a temperatura pode ser um fator mais

importante que a umidade no que tange à manutenção das qualidades iniciais dos grãos armazenados.

Os grãos acondicionados em armazéns e armazenados por um período incompatível com sua condição de umidade e temperatura sofrem processos bioquímicos internos que vão gradativamente afetando sua qualidade (GALLIARD, 1986).

Esses processos bioquímicos, que ocorrem internamente, alteram as propriedades físicas e químicas dos grãos, fazendo com que não possuam a mesma qualidade para a alimentação ou outro tipo de industrialização. Assim, para tal fim, o produto pode ser completamente inutilizado ou, na melhor das hipóteses, ter um custo industrial mais elevado (HASJIM *et al.*, 2010).

Durante o processo de armazenagem, também é importante observar o produto que está sendo armazenado, pois, dependendo da situação, a deterioração dos grãos pode ser mais rápida ou lenta. Segundo Rockenbach (2018), os lipídeos são os mais sensíveis à deterioração, seguidos pelas proteínas e, por último, pelos amidos.

Além da influência direta sobre as atividades metabólicas dos grãos, a temperatura e umidade do ar também influenciam, diretamente, a proliferação de pragas e doenças. Segundo Songa e Irungu (2010), ao somar todas as perdas de produto durante o processo de armazenagem, 30% se devem a insetos.

Considerando a vasta extensão continental do Brasil, no Norte e no Sul, são presentes situações de clima bastante distintas e, conseqüentemente, há influência na armazenagem de grãos. No Norte, raramente, há baixas temperaturas e uma umidade bastante discrepante no verão e no inverno; já no Sul, algumas épocas do ano são extremamente frias, de maneira que geram condições propícias para o resfriamento da massa de grãos. Dessa forma, conseqüentemente, há prevenção na infestação por pragas e, como nem sempre há as condições de clima necessárias, no momento preciso, os pesticidas ainda são amplamente usados para o controle de insetos (SAMBARASHE *et al.*, 2013).

Os fungos também são extremamente prejudiciais ao processo de armazenagem e seu desenvolvimento na massa de grãos também está intimamente relacionado à temperatura e umidade. Em trabalho, realizado por Haebertlin (2016), a interação dos três fatores – temperatura, umidade e tempo – sobre os fungos fica bem clara, pois, em armazenagem de milho com 16% de umidade, variando a temperatura, a massa de grãos, que estava com 15 a 25 °C, suportou a armazenagem por 135 dias; já a massa de grãos, com 35°C, suportou a armazenagem por somente 45 dias. Ao comparar as temperaturas de armazenagem 15, 25 e 35°C, por 180 dias, o autor obteve 27,96%, 42,78% e 89,36% de grãos mofados, respectivamente.

A conseqüência de uma armazenagem inadequada é extremamente deletéria para o produto, pois, além do produto se deteriorar pelos seus processos bioquímicos internos, o efeito acarreta, ainda, o desenvolvimento de insetos e fungos, que, por sua vez, acelera mais

a deterioração do produto armazenado. Além desses três fatores, há um quarto fator que afeta diretamente a qualidade dos grãos, porém, esse não é determinado pelos processos de classificação convencional, as Micotoxinas.

De todos os grãos produzidos, os que possuem maior susceptibilidade ao aparecimento das micotoxinas são os amiláceos, ou seja, ricos em amido, como o milho e o trigo (MÁRQUEZ, 2008). As micotoxinas são produzidas por fungos que ocorrem nos grãos; o processo de armazenagem é extremamente propício para isso por fornecer o tempo adequado para seu desenvolvimento e, algumas vezes, o ambiente necessário.

Os Fungos do gênero *Aspergillus* são apontados por Silva (2012) como destaque na economia mundial, pois apresentam uma faixa de temperatura muito grande de desenvolvimento, além de se adaptarem muito bem a diversas fontes de alimento.

O aumento de Aflatoxinas em alimentos vem crescendo bastante no Brasil, principalmente, oriundas do aumento de fungos em milho (ALMEIDA *et al.*, 2002); para a redução desse contaminante, é fundamental o controle dos fungos no processo de armazenagem. Assim, para isso, os trabalhos com as três variáveis tempo, umidade e temperatura, somadas ao tipo de produto armazenado, são de fundamental importância.

Elaborado por Burges e Burrell (1964), e muito utilizado até hoje, o Diagrama de Conservação de Grãos (Figura 11) fornece um excelente embasamento das faixas ótimas de umidade e temperatura, além da propagação de fungos e insetos, bem como a faixa ideal de boa conservação dos grãos. No gráfico, é possível perceber como podem ser trabalhadas as temperaturas e umidades para que o produto seja armazenado por um maior período de tempo sem sua deterioração; também, há a associação de umidade elevada e temperatura alta, que são extremamente deletérias para o produto armazenado.

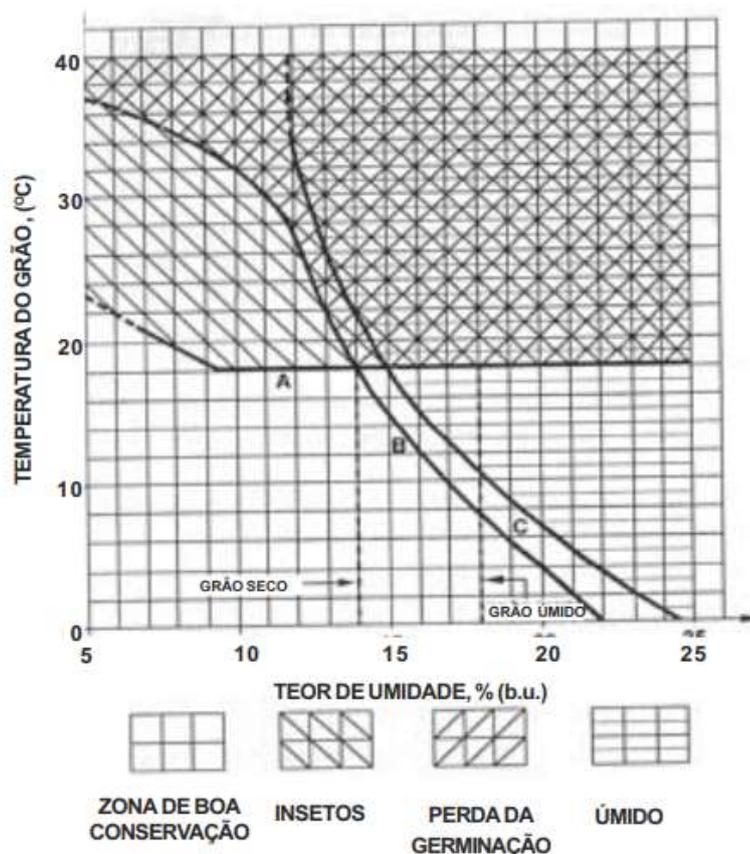


Figura 11 Diagrama de conservação de grãos (BURGES; BURREL, 1964).

Como abordado até aqui, são três as variáveis que regem a qualidade dos grãos no processo de armazenagem: tempo, umidade e temperatura. O tempo é muito mais influenciado pelo momento de comercialização ou logística; a umidade é ajustada antes do armazenamento do produto, por meio de secadores, e a temperatura é a variável que é controlada durante todo o processo de armazenagem, com base na aeração, ou seja, o produto é normalmente armazenado em temperaturas inadequadas e, ao longo do tempo, é resfriado com ar ambiente.

3.9. Aeração

O processo de aeração de grãos é a ação de forçar a passagem de ar pela massa de grãos com a finalidade de que esse ar faça a troca de calor com a massa de grãos. De acordo com o Decreto n.º 3.855/2001, as unidades em nível fazenda, unidades coletoras e unidades intermediárias são obrigadas a serem dotadas desse equipamento para a prestação de serviços, ficando somente a unidade do tipo terminal desobrigada de tal recurso.

O mesmo decreto norteia ainda a dimensão do sistema de aeração, sendo de, no mínimo, 0,05 metros cúbicos de ar, por minuto, para cada tonelada de produto, para silos do tipo vertical, e 0,1 metros cúbicos de ar, por minuto, para cada tonelada de produto, para silos horizontais.

A Figura 12 é uma representação de um sistema de aeração, em que um ventilador na base do silo é responsável por insuflar ar por um espaço poroso sob a massa de grãos. Esse ar, na temperatura ambiente, realiza a troca térmica com a massa de grãos e, conseqüentemente, seu resfriamento. O ar aquecido pelos grãos sai na parte superior do silo, retornando para o ambiente.

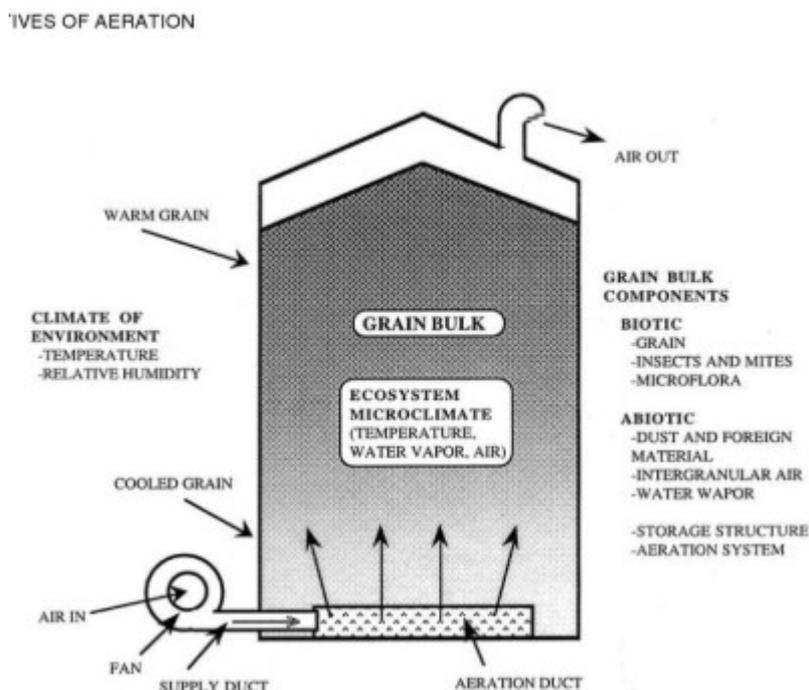


Figura 12 Sistema de aeração (NAVARRO; NOYES, 2002).

Para Navarro e Noyes (2002), a aeração pode ter seis objetivos: resfriar a massa de grãos, homogeneizar a temperatura dos grãos, prevenção do aquecimento, gerado pela atividade biológica dos grãos, limitar a secagem, introduzir e recircular gases de fumigação e retirar odores e resíduos de gases de fumigação. Todavia, é possível colocar mais um objetivo além desses seis apontados, que é promover a secagem.

O processo de aeração, normalmente, faz uso do ar ambiente para refrigerar a massa de grãos, então, seu processo é baseado em uma análise técnica para realização. Para Szesz Junior *et al.* (2016), a decisão de aerar deve ser baseada nas condições psicrométricas do ar ambiente e da massa de grãos. Por isso, é necessário um monitoramento periódico dessas duas variáveis.

Como é necessária a combinação das condições ambientais e da massa de grãos para o processo decisório de aeração, bem como a condição ideal de aeração, que usualmente ocorre em períodos noturnos, vários são os trabalhos que buscam modelos matemáticos para otimização da aeração (LOPES *et al.*, 2006; SZESZ JUNIOR *et al.*, 2016). Esses modelos matemáticos, associados ao nível de automação das unidades armazenadoras atuais, podem

apresentar excelentes resultados à armazenagem de grãos, minimizando a perda por qualidade e quebra técnica.

Durante o processo de aeração, enquanto o ar passa pela massa de grãos, não somente há a troca de temperatura entre os dois elementos, mas também há a troca de umidade (BASUNIA; ABE, 2005). Esse processo de troca de umidade ocorre na tendência do que há nesse ambiente, de maneira que a umidade tende a migrar do ambiente de maior pressão vapor para o ambiente de menor pressão vapor.

A troca de umidade com o ar pode acarretar, então, o umedecimento ou secagem excessiva do grão, devendo esse ser um fator de extrema cautela no processo decisório da aeração.

Durante o processo de aeração, o ar, que entra no silo pelos dutos de aeração, imediatamente, inicia sua troca de calor com a massa de grãos, porém, após seu aquecimento, passa pelo restante dos grãos já quente. Isso não altera a temperatura da massa de grãos superior, fazendo com que somente uma camada seja resfriada por vez.

Após o resfriamento da camada mais inferior, o ar frio não troca mais calor com essa camada, e sim com a camada seguinte, fazendo uma “zona de resfriamento”, como exemplificado na Figura 13. Essa camada de resfriamento sobe por todo o perfil do silo até que toda a massa de grãos esteja na mesma temperatura do ar externo.

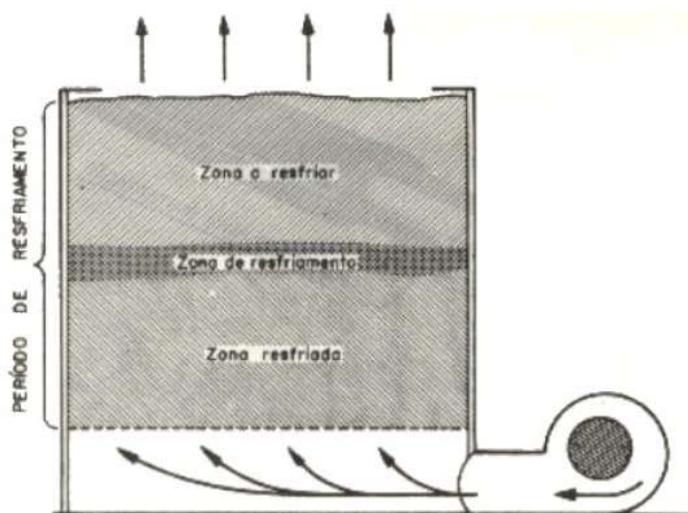


Figura 13 Exemplificação da frente de resfriamento em silo vertical (AC ALMEIDA & CIA, 2020).

Outra adaptação, realizada no sistema de aeração, é o uso de máquinas de resfriamento de ar. Essas máquinas possuem a capacidade de gelar o ar ambiente a uma temperatura controlada, promovendo uma maior homogeneidade do ar de aeração, além de fornecer uma temperatura mais baixa à massa de grãos e, conseqüentemente, menor perda de qualidade.

3.10. Qualidade de grãos armazenados

A metodologia para classificação de grãos segue normativa federal que visa nortear e padronizar as relações comerciais e internacionais. Para cada tipo de produto, existe uma instrução normativa; para o milho, por exemplo, suas regras constam na Instrução Normativa Número (IN:) 60/2011 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA); e, para a soja, as regras estão na IN: 11/2007 do MAPA.

Cada tipo de grão possui especificações técnicas inerentes às suas características e, também, finalidade industrial. No que tange à cultura da soja, a IN: 11/2007 classifica esses grãos em dois grupos de soja: a soja do grupo I e soja do grupo II.

A soja do grupo I é todo aquele material que será utilizado para consumo in natura, ou seja, que não passará por um processo de industrialização. Já a soja que será destinada à indústria, é classificada utilizando os parâmetros de classificação grupo II.

A classificação da soja no grupo II visa enquadrar a soja nos padrões para comercialização, ou seja, as normas determinam qualidades mínimas inerentes ao produto para que possa ser comercializado. São considerados produtos fora de padrão os casos contrários; os valores máximos permitidos estão demonstrados na Tabela 4.

Tabela 4 Limites máximo de tolerância para soja do Grupo II

Tipo	Avariados				Esverdeados	Partidos Quebrados e Amassados	Matérias Estranhas e Impurezas
	Total de Ardidos e Queimados	Máximo de Queimados	Mofados	Total (1)			
Padrão	4,0	1,0	6,0	8,0	8,0	30,0	1,0
Básico							

MAPA, 2007.

A classificação da soja conforme a normativa consiste em determinar a quantidade de umidade presente nos grãos: o teor de impureza e/ou matérias estranhas, partidos, quebrados e amassados, esverdeados e os avariados.

A umidade não enquadra a soja em categorias de tipo, mas tem como limite, para transações comerciais, a quantidade de 14% de umidade. Usualmente, em unidades de recebimento e beneficiamento, o produtor entrega seu produto em condições superiores de umidade, assim, é realizado um desconto de peso no produto entregue. O desconto, geralmente, segue tabelas específicas e não normatizadas; tais tabelas apresentam um ágio de desconto, ou seja, um desconto de umidade superior à diferença de umidade real com finalidade de cobrir os custos de secagem do produto.

Para a determinação das impurezas, é necessário o uso de uma peneira com espessura de chapa de 0,8 mm, perfurada com furos de diâmetro de 3 mm, com quantidade

de furos de 400 a cada 100 cm². Todo o produto que passar pela peneira é considerado impureza e é somado a esse qualquer material que fique retido na peneira, que não seja soja, incluindo vagens não debulhadas.

Após a amostra estar livre de matérias estranhas, é realizada a separação dos grãos com defeito; esse processo é realizado de maneira visual em toda a amostra pelo classificador. Para aferição do percentual de defeitos, esse deve ser realizado com o peso da amostra isenta de impurezas e/ou matérias estranhas.

Os grãos considerados quebrados são partes de grãos que ficam retidos na peneira de 3mm. Já os grãos amassados, são também retidos na peneira de 3 mm; estão inteiros, porém, apresentam-se esmagados ou com defeitos mecânicos. Os grãos esverdeados são grãos inteiros ou partes de grãos que apresentam seu desenvolvimento completo, todavia, seu conteúdo encontra-se completamente esverdeado.

A classificação dos grãos avariados possui uma subdivisão; apesar de apresentar o limite máximo de avariados, alguns defeitos não podem apresentar quantidade superior à mínima regulamentada.

Os avariados são considerados pela soma dos grãos queimados, ardidos, mofados, fermentados, germinados, danificados, imaturos e chochos; no entanto, isoladamente, os defeitos ardidos, somados aos queimados, queimados e mofados não podem ultrapassar 4%, 1% e 6%, respectivamente.

A classificação de grãos visa quantificar os parâmetros de qualidade de soja para comercialização, enquadrando-o nas quantidades mínimas, mas também são indicativos da qualidade de armazenagem, pois esses parâmetros podem ser determinados na entrada e saída do produto de um armazém e, posteriormente, aferir a diferença.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em uma unidade armazenadora dotada de dois silos idênticos entre si; a unidade tem sua localização em 24°59'37,75" Sul e 53°18'55,41 Oeste.

Para o trabalho, cada silo procedeu com a aeração do produto armazenado de forma distinta; o primeiro silo, chamado Silo 1, recebeu um sistema de umidificação de ar que foi adicionado ao seu sistema de aeração convencional. O Silo 1 ainda recebeu alguns sensores com finalidade de registrar o comportamento da massa de ar durante o processo de resfriamento dos grãos, bem como o registro desses dados no banco de dados para posterior análise. Já o segundo silo, ou Silo 2, não teve nenhuma alteração em seu sistema de aeração.

Durante o período de armazenagem, um silo recebeu aeração de maneira convencional e outro silo, aeração com ar umidificado artificialmente, sendo que, no final do período, a diferença de peso entre os silos foi aferida para a determinação da quebra técnica. Assim, foram realizadas, ainda, demais análises de umidade e qualidade do grão armazenado em ambos os sistemas.

Durante o período de armazenagem, a soja, depositada no silo 2, recebeu aeração de maneira convencional, enquanto a soja, que foi depositada no silo 1, recebeu aeração com ar umidificado artificialmente. Assim, no final do período, a diferença de peso entre os silos foi aferida para a determinação da quebra técnica, juntamente com outras análises de umidade e qualidade detalhadas nessa metodologia.

4.1. Unidades armazenadoras

Para comparativo, foram utilizados dois sistemas de aeração idênticos, em dois silos idênticos, com diferentes condições psicrométricas do ar de aeração e seus efeitos na massa e qualidade do produto armazenado.

Os dois silos são metálicos e com capacidade volumétrica de 10.000 metros cúbicos cada; estão localizados na mesma área. Na Figura 14, é apresentada a sua disposição e, na Figura 15, há a Imagem virtual, que é a mesma para ambos os silos. As unidades armazenadoras são dotadas de espalhador de grãos para seu carregamento e fundo melita. No fundo dos silos, estão localizadas as saídas de ar da aeração e três comportas para a saída de produto.



Figura 14 Vista dos silos utilizados no experimento.

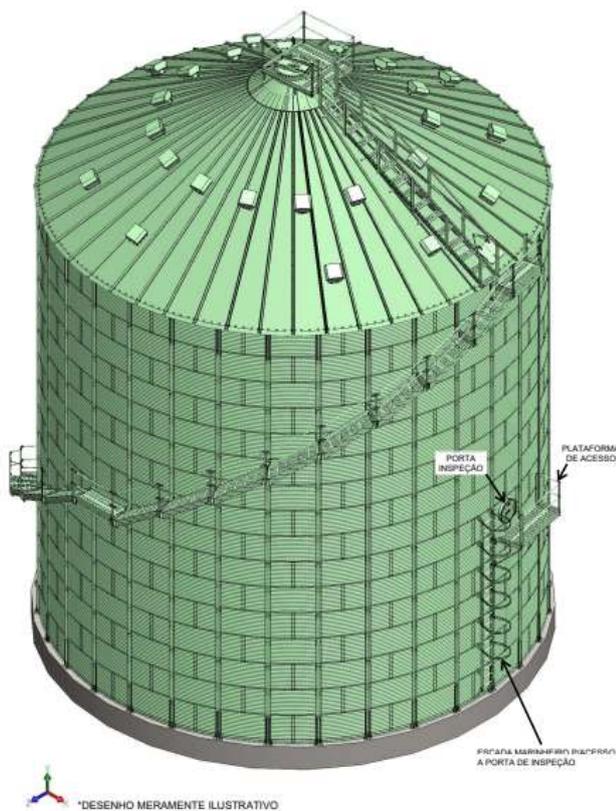


Figura 15 Maquete eletrônica dos silos.

Ambos os silos foram carregados com soja durante a safra 2019/2020 com peso conhecido; o peso foi aferido em balança rodoferroviária com escala de 10 kg. Dessa forma, foi utilizado, para a pesagem, um vagão com capacidade média de 50 toneladas e a quantidade foi a necessária para encher o silo, deixando somente um espaço de aproximadamente 50 centímetros do teto para a saída do ar.

O produto armazenado no silo foi classificado conforme a Instrução Normativa do MAPA Nº 11/2007, sendo determinados a umidade, impureza e avariados. A amostragem foi realizada a cada 1.000 toneladas até o total enchimento do silo. Para determinação de

umidade, foi utilizado aparelho homologado pelo Inmetro; e, em paralelo a isso, foi realizada a determinação de umidade em estufa com as mesmas amostras.

Ambos os silos são dotados de sistema de aeração com capacidade de 0,15 m³ de ar por m³ de grão por minuto; os dutos de aeração e os elementos vazados ficam localizados no melita (Figura 16, 17 e 18). O sistema de aeração de cada silo é composto por dois motores com ventiladores para cada lado do melita, os quais são controlados por um software integrado a uma estação meteorológica localizada na unidade.



Figura 16 Imagem do fundo do silo 1.

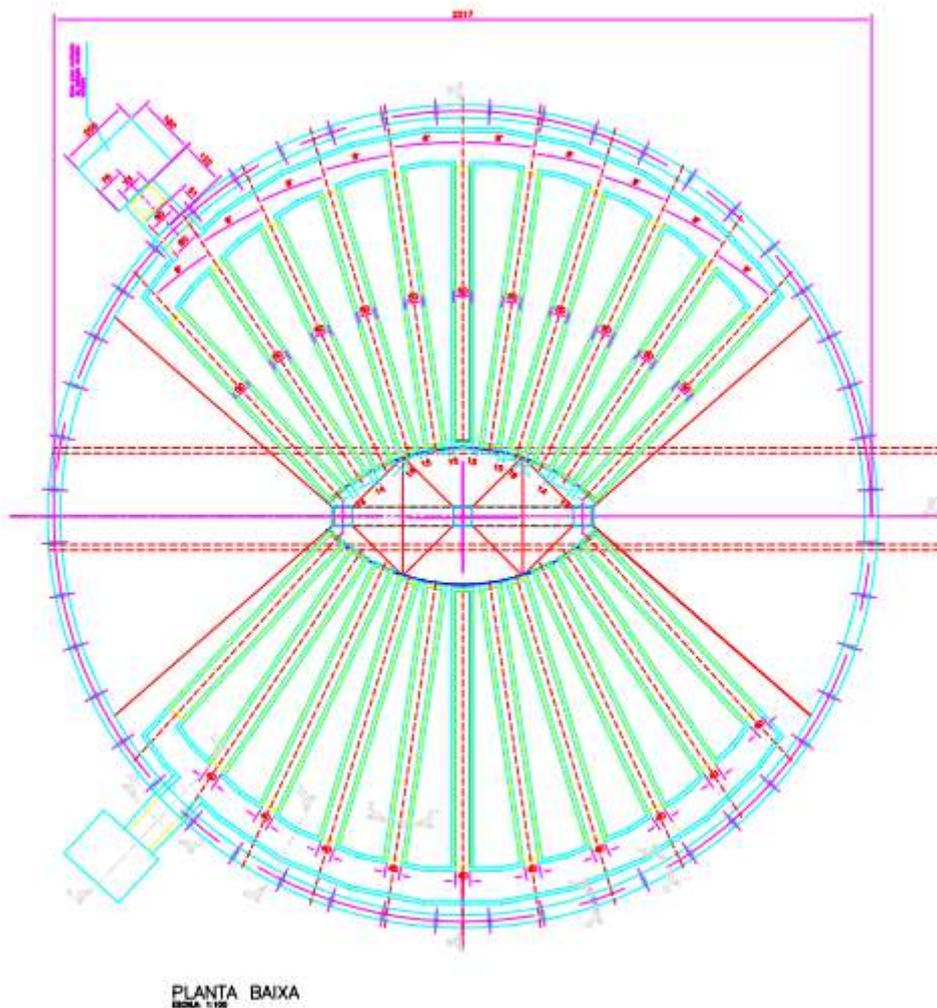


Figura 17 Planta baixa do fundo tipo melita dos silos 1 e 2.

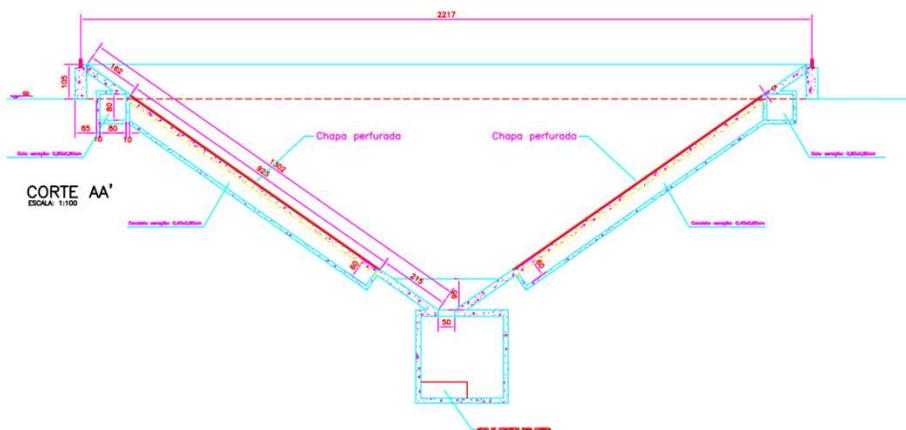


Figura 18 Croqui do fundo tipo melita dos silos 1 e 2 (Corte AA).

O software controlador da aeração é o Airmaster, na versão 2.9.2 da Fockink (Figura 19). A aeração foi configurada em ambos os silos em condições iguais de temperatura, porém, em condições diferentes de umidade. A temperatura de aeração no momento da carga do armazém foi de 24°C, o que é condizente com o clima da região nesse momento do ano; assim que as condições de clima forem favoráveis, a temperatura de aeração dos silos foi reduzida para 16°C.

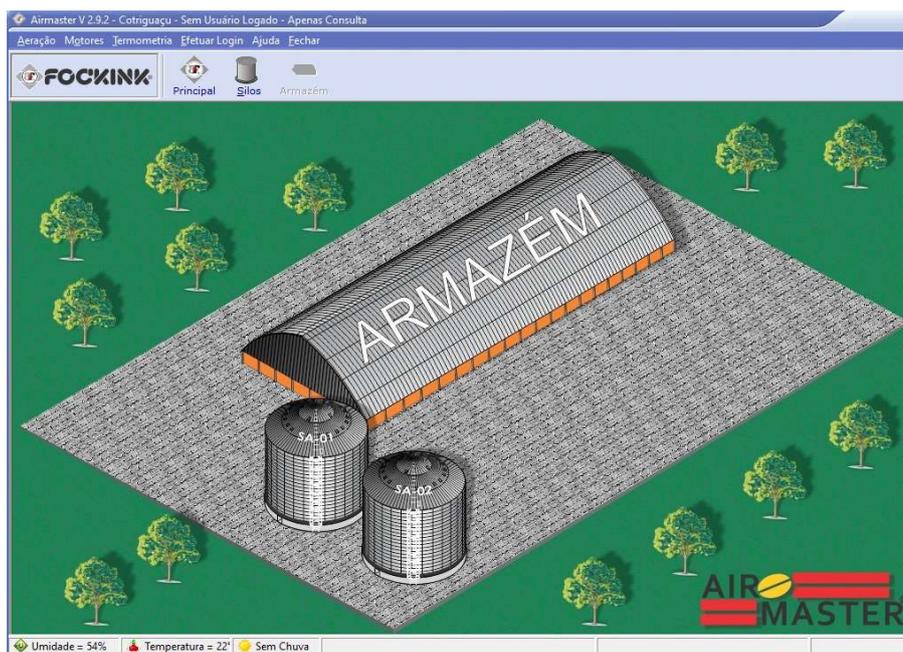


Figura 19 Tela do Software Airmaster V.2.9.2.

4.2. Delineamento experimental

Ambos os silos tiveram seu sistema de controle de aeração configurados com parâmetros bastante próximos; em um dos silos, foi utilizada a aeração usual, a qual foi considerada normalmente em unidades armazenadoras. Já no outro silo, foi utilizado um sistema para alterar artificialmente a umidade do ar, para que estivesse nos padrões desejados de aeração mesmo com umidade relativa do ar ambiente abaixo da ideal.

A diferenciação nos parâmetros de aeração dos diferentes silos foi somente quanto à umidade de aeração; o tratamento padrão, que foi realizado no Silo 2, é identificado na Figura 16 como SA 02; já o Silo 1, ou SA 01, tem um controle artificial da umidade relativa do ar.

4.2.1. Tratamento 01: Aeração Padrão

O tratamento 01 consistiu na realização da aeração padrão usual do mercado e da unidade armazenadora, em que os parâmetros de umidade relativa do ar estarão entre 75 e 100% de umidade relativa do ar. Os parâmetros de temperatura variaram de acordo com as condições de ambiente para a melhor condição possível de homogeneização e resfriamento da massa de grãos.

4.2.2. Tratamento 02: Aeração com controle artificial de umidade

O tratamento 02 recebeu um ar de aeração variando de 50 a 100% de umidade relativa do ar; sua umidade foi incrementada sempre que o ar entrante na massa de grãos estivesse em umidade de equilíbrio inferior à umidade dos grãos.

4.2.3. Controle das condições de aeração

O mesmo software realizou a leitura diária da temperatura da massa de grãos armazenada em ambos os silos, o que permitiu verificar durante o processo de armazenagem se houve problemas com aquecimento em cada um dos silos, principalmente, no sistema com adição de umidade.

Foi instalado, no Silo 1, um sistema adicional de controle de umidade, que entrou em operação e adicionou água no ar da aeração nos momentos em que a umidade do ar de entrada não estiveram dentro dos parâmetros desejados para o estudo.

Para o controle da umidade do silo 1, foi utilizado um software construído para tal finalidade (Figura 20). O software realiza a leitura e registro das umidades e temperaturas de todos os sensores envolvidos nos processos, define e controla a quantidade de água a ser adicionada no ar de aeração.

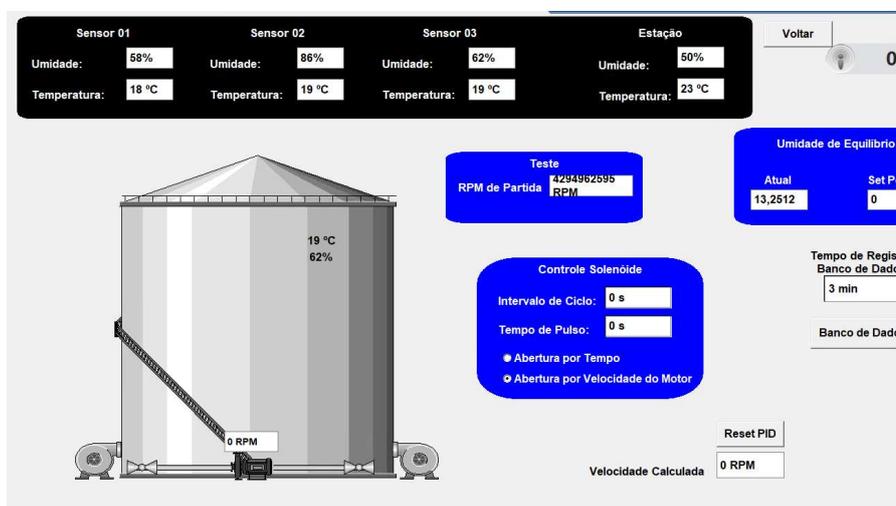


Figura 20 Software de controle e registro das umidades e temperatura.

Os valores de temperatura e de umidade do ar usados para controle do sistema de aeração foram coletados na estação meteorológica (presente na unidade). Também, foram instalados, no interior do silo 1, outros três sensores com finalidade de registrar as condições de umidade e temperatura do ar de aeração durante esse processo. Os dois primeiros sensores foram instalados na grela da aeração, sendo um em cada lado do melita, ou seja, cada sensor captou o ar de um ventilador.

Para o sensor não trabalhar em condições adversas do ambiente de alta pressão de dentro do silo, acima da grela de aeração, foi instalado um dispositivo cuja finalidade foi captar o ar de aeração no exato momento em que esse entrou na massa de grãos (Figura 21); foi acoplada, nesse dispositivo, uma mangueira para direcionamento de uma pequena parcela do ar até uma caixa isolante com o sensor (Imagem 22). Tal dispositivo realizou a leitura de umidade e temperatura desse ar, fornecendo dados das reais condições do ar, que entrou na massa de grãos, após receber ou não água e passar pelo ventilador e dutos. No software, esses dois sensores localizados na grela de aeração foram chamados de sensor 1 e sensor 2.



Figura 21 Dispositivo de coleta do ar de aeração.

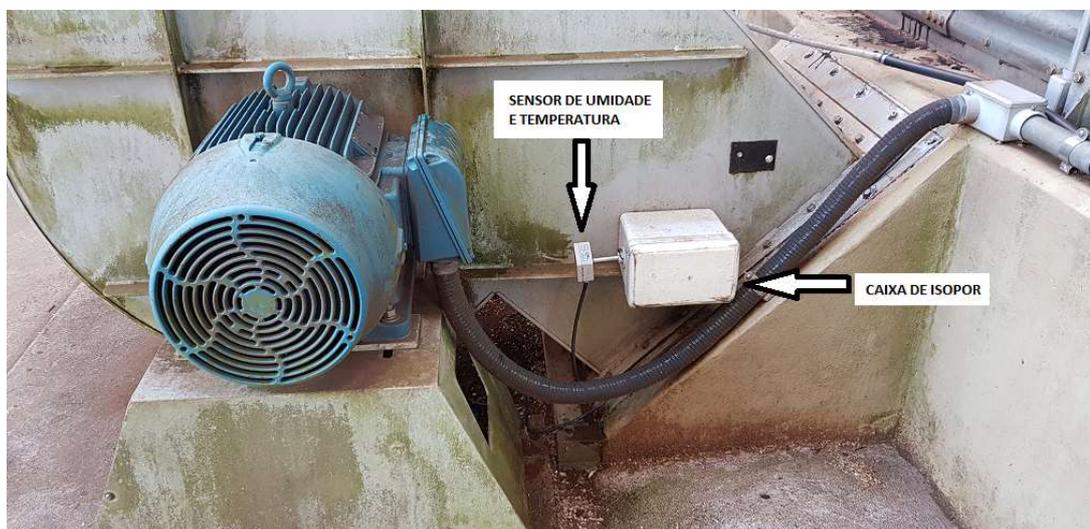


Figura 22 Caixa e sensor para leitura da umidade e temperatura do ar de aeração.

O terceiro sensor foi instalado na parte superior do silo; esse sensor foi alocado dentro de um duto metálico que ficou com uma extremidade submersa no grão e outra extremidade fora da massa de grãos. A parte submersa do duto ficou em torno de um metro de profundidade dentro da massa de grãos e foi parcialmente construída de elemento vazado, para que o ar oriundo da aeração tenha sua passagem facilitada pelo interior do duto. O

sensor, instalado dentro do duto e abaixo do nível de grãos, realizou a leitura da umidade e temperatura do ar que sai da massa de grãos; esse sensor foi identificado como sensor 3.

O controle artificial da umidade relativa do ar foi realizado por uma motobomba instalada entre os dois exaustores do Silo 1, a qual foi ligada a três aspersores localizados na entrada de cada ventilador. O controle da vazão de água efetivou-se pelo giro do rotor da motobomba, ligada a um inversor de frequência, que consegue alterar a rotação de trabalho de zero rotações por minuto (RPM) até a máxima de trabalho do equipamento, que é de 3400 RPM.

A quantidade de água desejada no ar de aeração foi determinada pela umidade de equilíbrio desejada na massa de grãos. Para esse estudo, a umidade desejada foi selecionada como 16%, no primeiro ano, e 14%, no segundo ano.

Para cálculo da umidade de equilíbrio, foi utilizada a Função 11, criada da tabela de umidade de equilíbrio de soja, disponibilizada por Equipasa (2020), em que UmEqui é a umidade de equilíbrio do grão, X é a temperatura do ar de aeração e Y é a umidade do ar de aeração.

$$\text{UmEqui} = -2.0847 - 0.00506 * X + 0.226 * Y \quad (11)$$

Para controle da rotação do motor, foi utilizada uma função baseada na umidade relativa do ar externo versus a rotação do motor versus a umidade do ar que entra na massa de grãos, que é a média dos sensores 1 e 2.

Durante o acionamento do sistema de aeração, a cada três minutos, foi realizado o registro dos dados dos sensores da estação, sensor 1, 2 e 3, para posterior análise. Com o cálculo da vazão de ar estimada pelo fabricante do ventilador, o sistema também realizou o cálculo da quantidade de água em volume absoluto que entra na massa de grãos e que sai da massa de grãos. Consequentemente, seu saldo, seja positivo ou negativo, foi registrado em tempo real para averiguar a perda ou ganho de umidade da massa de grãos.

4.3. Avaliação da quebra técnica e qualidade dos grãos

No momento do carregamento dos silos, foram realizadas sete amostras de produto para cada silo; posteriormente, essas amostras foram analisadas em relação à Umidade em Aparelho Homologado (UAH), Umidade em Estufa (EU), Impureza (I) e Avariados Total (AT), com finalidade de avaliar se houve diferença estatística entre o produto armazenado em cada silo.

O produto colocado no silo foi classificado conforme a Instrução Normativa do MAPA Nº 11/2007, sendo determinados a umidade, impureza e avariados. A amostragem foi realizada a cada 1.000 toneladas até o total enchimento do silo. Para a determinação de

umidade, foi utilizado aparelho homologado pelo Inmetro e, em paralelo a isso, foi realizada a determinação de umidade em estufa com as mesmas amostras.

Ao final do período de armazenagem, todo o produto foi retirado dos silos e devidamente pesado nas mesmas balanças que aferiram o produto na entrada. Assim, foi comparado o peso total de entrada e de saída de cada silo, aferindo a diferença de peso para a armazenagem em cada sistema de aeração utilizado e em cada ano em que o trabalho foi realizado.

As mesmas análises de UAH, EU, I e AT foram realizadas; o comparativo foi realizado entre os diferentes silos, com finalidade de avaliar a diferença estatística entre os dois sistemas de aeração. Também, foi realizado o comparativo entre o produto do início e do final do período de armazenagem, com finalidade de avaliar a influência dos diferentes sistemas de aeração sobre os grãos.

Após a expedição do produto, foi avaliada a massa total de produto que entrou e saiu de cada silo, bem como a umidade e qualidade do produto, na forma comparativa ao método padrão de aeração.

4.4. Análise estatística

Os dados obtidos na classificação do produto foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com finalidade de identificar possíveis diferenças entre os tratamentos e também quanto a diferenças em qualidade e umidade antes e depois do processo de armazenagem.

No momento do carregamento dos silos, foram realizadas sete amostras de produto para cada silo; posteriormente, essas amostras foram analisadas em relação à Umidade em Aparelho Homologado (UAH), Umidade em Estufa (EU), Impureza (I) e Avariados Total (AT), com finalidade de avaliar se houve diferença estatística entre o produto armazenado em cada silo.

No final do período de armazenagem, as mesmas análises de UAH, EU, I e AT foram realizadas; o comparativo foi efetivado entre os diferentes silos, com finalidade de avaliar a diferença estatística entre os dois sistemas de aeração. Também, foi realizado o comparativo entre o produto do início e do final do período de armazenagem, com finalidade de avaliar a influência dos diferentes sistemas de aeração sobre os grãos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O trabalho foi realizado com a armazenagem de grãos em dois anos distintos, perfazendo um período de coleta de dados entre os dias 07 de agosto de 2019 e 07 de junho de 2020. Assim, todo esse período foi composto por enchimento das unidades armazenadoras, aeração, período de armazenagem e expedição.

Como a intenção do trabalho foi realizar a aferição da quebra técnica em condições de armazenagens normais, o período de armazenagem foi diretamente afetado pelas condições de mercado, sendo que, no primeiro ano, o produto ficou armazenado por aproximadamente 7 meses, somados o período de aeração e armazenagem; já no segundo ano, o período de armazenagem foi de 4 meses, tendo uma variação no tempo, porém, não uma variação no processo de aeração.

5.1. Quebra Técnica

A primeira variável analisada é a que motivou este trabalho; a diferença de peso no momento da armazenagem e no momento da expedição de grãos, sendo a diferença de peso entre esses dois momentos, é a quebra técnica ou sobra técnica.

Como apresentado na Tabela 5, o Silo 1, com tratamento de umidificação de ar, apresentou melhor resultado em comparação ao Silo 2, nos dois anos testados. O resultado de redução de quebra técnica foi consistente nos dois anos da pesquisa, havendo uma expressiva diferença entre os dois anos de testes. No primeiro ano, o Silo 1 apresentou sobra técnica, ou seja, o efeito inverso do Silo 2, que apresentou quebra técnica.

No primeiro ano, a sobra técnica do Silo 1 foi de 1,37% contra uma quebra técnica de 1,13% do Silo 2, apresentando excelente desempenho do sistema de umidificação de ar nesse período e para esse quesito avaliado. Para o segundo ano, os parâmetros de umidificação foram reduzidos e, mesmo assim, o sistema de umidificação apresentou bom desempenho, reduzindo a quebra técnica de 1,16%, apresentada no Silo 2, para 0,32%, apresentada no Silo 1 e com sistema de umidificação de ar.

Tabela 5 Peso e variação do produto armazenado

	Silo 1		Silo2	
	Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2
Entrada	7.120.490	7.098.360	6.918.440	7.108.920
Saída	7.217.770	7.075.480	6.840.400	7.026.210
Saldo	97.280	-22.880	-78.040	-82.710
Variação	1,37	-0,32	-1,13	-1,16

Não foi encontrada literatura sobre aeração com ar umidificado, mas os resultados obtidos na aeração convencional (sem umidificação) corroboram o que foi evidenciado por vários autores. Afonso *et al.* (2018), por exemplo, aferiram quebra técnica em unidade armazenadora de grãos na ordem de 1,06% com o produto Soja. Os dados, obtidos no tratamento padrão, são similares ainda aos apresentados por Neves & Savelli (2017), que, ao estudarem vários métodos de secagem e armazenamento, constataram a quebra técnica em todos os modelos testados.

O resultado conquistado com o controle artificial de umidade nos sugere que a manutenção de uma aeração com umidade relativa do ar constante, mantida de maneira artificial, pode proporcionar uma redução à perda de umidade dos grãos e, com isso, reduzir a quebra técnica durante todo o processo, impactando positivamente o peso de saída.

Com os resultados obtidos, foi observado que a alteração na umidade relativa do ar de aeração pode ser uma importante ferramenta para evitar ou reduzir a quebra técnica, porém, mais estudos devem ser realizados para poder compreender melhor quais seriam os teores de umidade do ar desejado e tempo de armazenagem ideais para um melhor desempenho do sistema.

5.2. Efeitos do sistema de aeração nas condições psicrométricas do ar de aeração

Para determinar as alterações do ar, durante o processo de aeração, todos os registros realizados com o sistema de umidificação artificial foram excluídos, ficando, assim, somente os dados dentro da faixa usual de aeração e sem efeito de controle artificial.

Na figura 23, são apresentados os registros de temperatura do ar ambiente e temperatura do ar entrante na massa de grãos, bem como umidade relativa do ar e umidade relativa do ar que atinge a massa de grãos; é possível observar que o ar de aeração que realmente atinge a massa de grãos possui temperatura sempre superior à temperatura do ar ambiente. Já um efeito inverso foi observado para a umidade relativa do ar, sendo que o ar de aeração, que efetivamente atinge a massa de grãos, possui valores inferiores à umidade relativa do ar observada no ar ambiente.

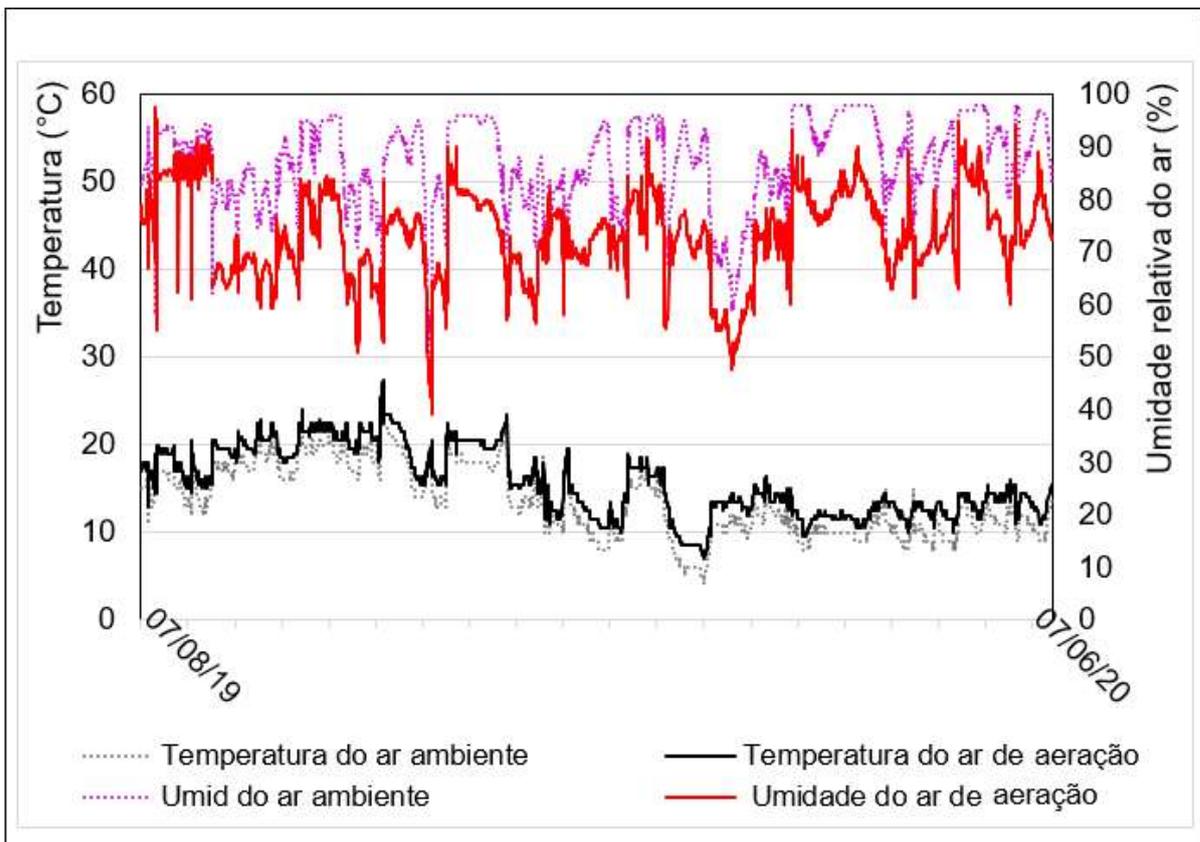


Figura 23 Temperatura e umidade do ar ambiente e de aeração.

Notas: Temperatura e a umidade do ar ambiente foram medidas na Estação meteorológica. Temperatura e umidade do ar de aeração compreendem a média entre as medições realizadas nos sensores 1 e 2.

Na Tabela 6, é apresentada a diferença entre a temperatura do ar antes e após a passagem pelo sistema de aeração, o que evidencia média de 2,14°C mais elevada no momento da entrada na massa de grãos.

Tabela 6 Diferença na temperatura medida após passagem pelo sistema de aeração para as temperaturas do ar ambiente amostradas

Temperatura do ar ambiente	Repetição	Diferença de temperatura média	Desvio padrão
4,00	8	3,31	0,26
5,00	27	2,69	0,37
6,00	143	2,51	0,21
7,00	36	2,61	0,30
8,00	173	2,59	0,57
9,00	482	2,43	0,64
10,00	646	2,20	0,76
11,00	681	2,17	0,73
12,00	511	1,99	0,68
13,00	487	2,11	1,40
14,00	332	2,15	1,58
15,00	276	2,25	2,11

Temperatura do ar ambiente	Repetição	Diferença de temperatura média	Desvio padrão
16,00	267	2,11	0,72
17,00	432	2,31	1,71
18,00	455	2,11	0,65
19,00	365	1,87	0,69
20,00	313	1,88	0,74
21,00	103	1,62	0,60
22,00	73	0,89	0,87
23,00	13	2,00	1,00
24,00	2	1,50	0,00
27,00	4	-0,13	0,95
Média	5829	2,14	1,07

Observando a diferença entre a temperatura do ar antes e após sua passagem pelo sistema de aeração, na Figura 24, apresentamos de que forma realmente o sistema de aeração interferiu, aumentando a temperatura do ar; isso fez com que a temperatura se apresentasse superior à aferida pela estação meteorológica. Outro ponto importante a ser observado é que, quanto menor a temperatura do ar ambiente, maior é a diferença de temperatura do ar ambiente e do ar de entrada na massa de grãos, ou seja, quanto mais frio, maior o ganho energético do ar.

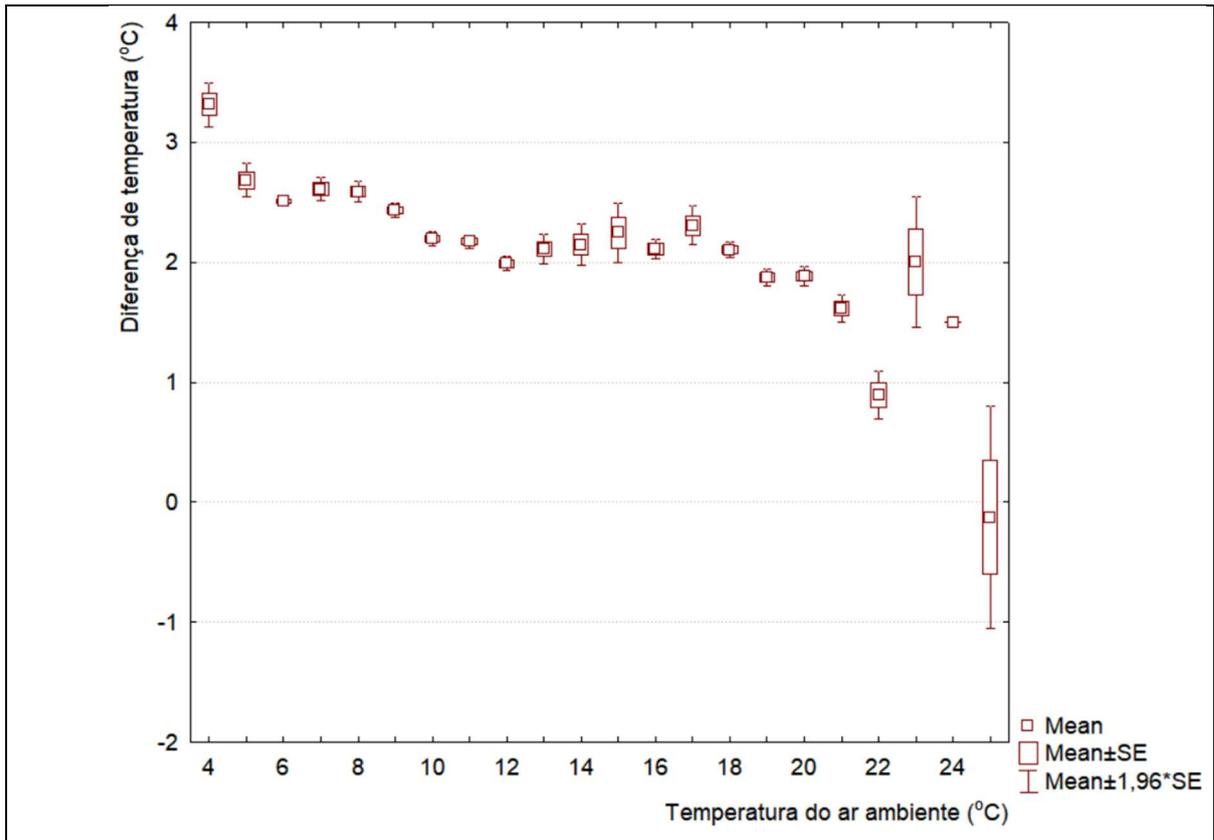


Figura 24 Correlação estatística entre a temperatura do ar ambiente e a diferença de temperatura após passagem do ar pelo motor do sistema de aeração.

Os dados, apresentados na Tabela 6, também foram submetidos à análise de regressão com 95% de significância e são exibidos na tabela resumida da ANOVA (Tabela 7). Assim, podemos afirmar que a temperatura do ar ambiente influenciou a diferença de temperatura do ar antes e depois do sistema de aeração, corroborando o que pode ser percebido na Figura 25.

Tabela 7 Análise de variância do efeito do sistema de aeração na temperatura do ar de aeração

Fonte de variação	SQ	GL	F	p
Regressão	99,578	1	94,940	0,00000
Erro puro	8,955,796	5830		

Quanto ao incremento de temperatura, gerado pelo sistema de aeração, provavelmente, é parcialmente devido aos atritos presentes em todo o sistema. Autores como Adhrae (2001) e Yamachita (2013) publicaram trabalhos que tratam dos atritos causados em sistemas de ventiladores e seu ganho de temperatura, porém, não mencionam a interferência desse atrito e ganho de temperatura do equipamento com o ar em seu entorno.

Quando pesquisado o ganho de temperatura de sistemas, algumas referências foram visualizadas, como a equação de Darcy-Weisbach, que visa determinar o ganho de

temperatura de fluidos em tubulações, mas não foi encontrado algo específico para ventiladores.

Apesar da ausência de referências a respeito, com os dados obtidos no trabalho, é possível afirmar que há um ganho de temperatura do ar durante sua passagem pelo sistema de aeração. Para tentar compreender melhor esse processo, foram realizadas algumas imagens termográficas, nos exaustores do Silo 1, no entanto, nesse caso, um exaustor estava ligado e o outro desligado.

Na Figura 25, é possível ver a imagem termográfica em que o ventilador 1 encontrava-se desligado e o ventilador 2 encontrava-se ligado. Nesse caso, podemos ver a diferença de temperatura de todo o sistema, principalmente, na perspectiva em que vemos o motor em si, o qual apresenta temperatura substancialmente mais elevada que o motor desligado, o que é natural.

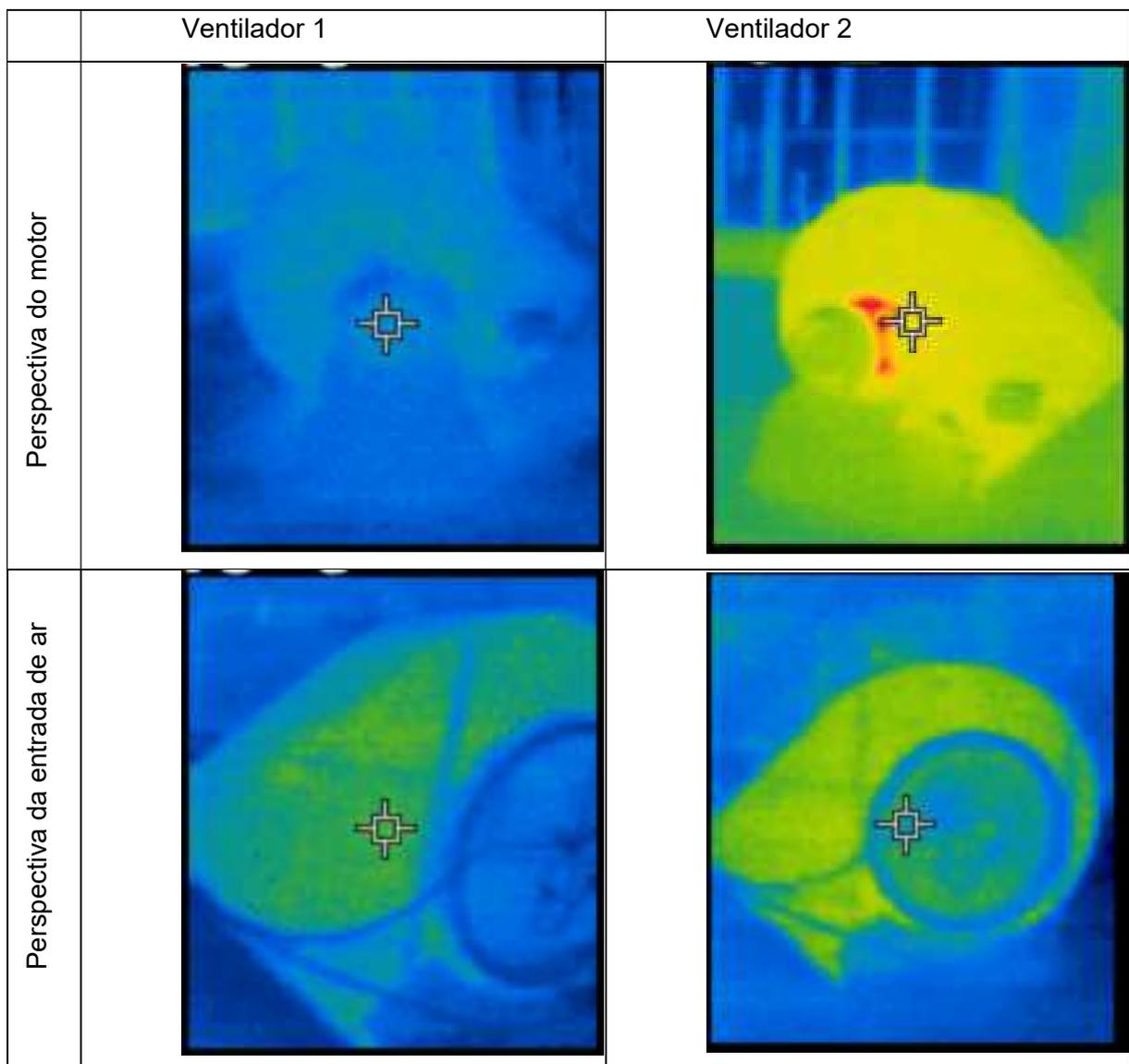


Figura 25 Correlação estatística entre a temperatura do ar ambiente e a diferença de temperatura após passagem do ar pelo motor do aerador.

Com as imagens de termometria, percebe-se que todo o sistema de aeração ligado se encontra em temperatura superior ao sistema de aeração desligado, incluindo a entrada de ar. Ainda, com o intuito de tentar entender melhor esse processo, com auxílio de um Termohigrômetro aferido e certificado, foram realizadas medições de temperatura ao redor do ventilador ligado.

A temperatura na entrada do ventilador foi aferida em 19,3°C; na entrada do ar de arrefecimento do motor, a temperatura foi de 19,5°C; já a uma distância de 15 metros do motor, a temperatura aferida foi de 18°C. Em comparativo, no mesmo instante, a temperatura da estação meteorológica estava em 17,5°C e a temperatura do ar, aferido pelos termômetros internos do silo, estava em 19,5°C.

As leituras realizadas corroboram a possibilidade de todo o sistema de aeração estar interferindo na temperatura do ar de aeração. O incremento de temperatura no ar basicamente é propiciado pelo ganho de entalpia do ar ou o ganho de energia do ar. Yamachita (2013) faz uma abordagem da dinâmica da energia gerada por ventiladores, que, por sua vez, é dispersa para o ambiente, seja para o ar ou outros corpos presentes.

As trocas de energia entre corpos em um ambiente podem acontecer por convecção, convecção forçada, condução e radiação, o que nos permite supor que todo o calor, gerado pelo motor e demais pontos de atrito no sistema, é transferido para o ambiente, que, por sua vez, altera as condições psicrométricas do ar.

Como o ar é aquecido durante o processo de aeração, sofre alterações em suas condições psicrométricas; esse ar - mais quente - ganha entalpia e, conseqüentemente, aumenta sua capacidade de retenção de água. Como sua umidade absoluta não é alterada, sua umidade relativa sim e, portanto, é reduzida. Esse efeito pode ser observado na Tabela 8.

Tabela 8 Diferença na umidade relativa medida após passagem pelo sistema de aeração para as umidades do ar ambiente amostradas

Umidade do ar ambiente	Repetição	Diferença de umidade	Desvio padrão
47,00	3	-6,8333	1,040833
48,00	1	-7,5000	0,000000
49,00	1	-10,0000	0,000000
50,00	3	-8,1667	0,763763
51,00	2	-8,0000	0,707107
53,00	1	-8,0000	0,000000
55,00	8	-8,1875	1,193360
56,00	2	-8,2500	0,353553
57,00	7	-7,4286	1,966989
58,00	4	-8,5000	0,816497

Umidade do ar ambiente	Repetição	Diferença de umidade	Desvio padrão
59,00	9	-10,1111	0,961047
60,00	8	-11,0000	1,195229
61,00	7	-9,9286	1,718249
62,00	10	-10,7500	6,214901
63,00	13	-10,5000	2,179449
64,00	11	-11,6364	2,684128
65,00	10	-11,2500	2,263846
66,00	20	-10,2750	4,027782
67,00	22	-10,6364	2,335960
68,00	29	-11,8793	1,750792
69,00	38	-12,8158	1,526438
70,00	31	-12,1774	2,899852
71,00	40	-13,5500	1,800285
72,00	59	-13,6780	2,750804
73,00	42	-11,8333	5,939396
74,00	66	-9,0530	6,123177
75,00	87	-10,1839	6,179070
76,00	118	-9,8432	5,283299
77,00	105	-11,6238	5,112570
78,00	107	-10,8785	5,055746
79,00	166	-13,5602	3,901746
80,00	150	-12,6567	4,397275
81,00	168	-12,6637	4,403488
82,00	204	-12,4436	5,603527
83,00	259	-13,4286	4,313503
84,00	207	-14,4734	3,606967
85,00	215	-14,3279	2,653804
86,00	245	-15,0959	3,023471
87,00	211	-14,8270	3,005500
88,00	274	-15,0894	4,394493
89,00	212	-13,7382	4,903196
90,00	247	-13,8158	5,363558
91,00	243	-13,7407	5,444372
92,00	239	-14,3075	4,422843
93,00	256	-13,7969	4,687672
94,00	302	-14,2831	4,490131
95,00	343	-14,8746	2,653812
96,00	411	-15,0073	1,561721
97,00	256	-13,6934	3,224708

Umidade do ar ambiente	Repetição	Diferença de umidade	Desvio padrão
98,00	357	-14,6120	2,136177
Média	5829	-13,6840	4,273857

Com a transferência de energia do sistema de aeração para o ar, conseqüentemente, tivemos redução na umidade relativa do ar, que entra na massa de grãos, em comparação ao ar ambiente. Essa redução de umidade foi em média de 13,68%, porém, o gráfico, apresentado na Figura 26, sugere uma relação entre a redução dessa umidade relativa do ar, com a umidade relativa do ar ambiente, em que, quanto maior a umidade relativa do ar ambiente, maior seria a redução de umidade.

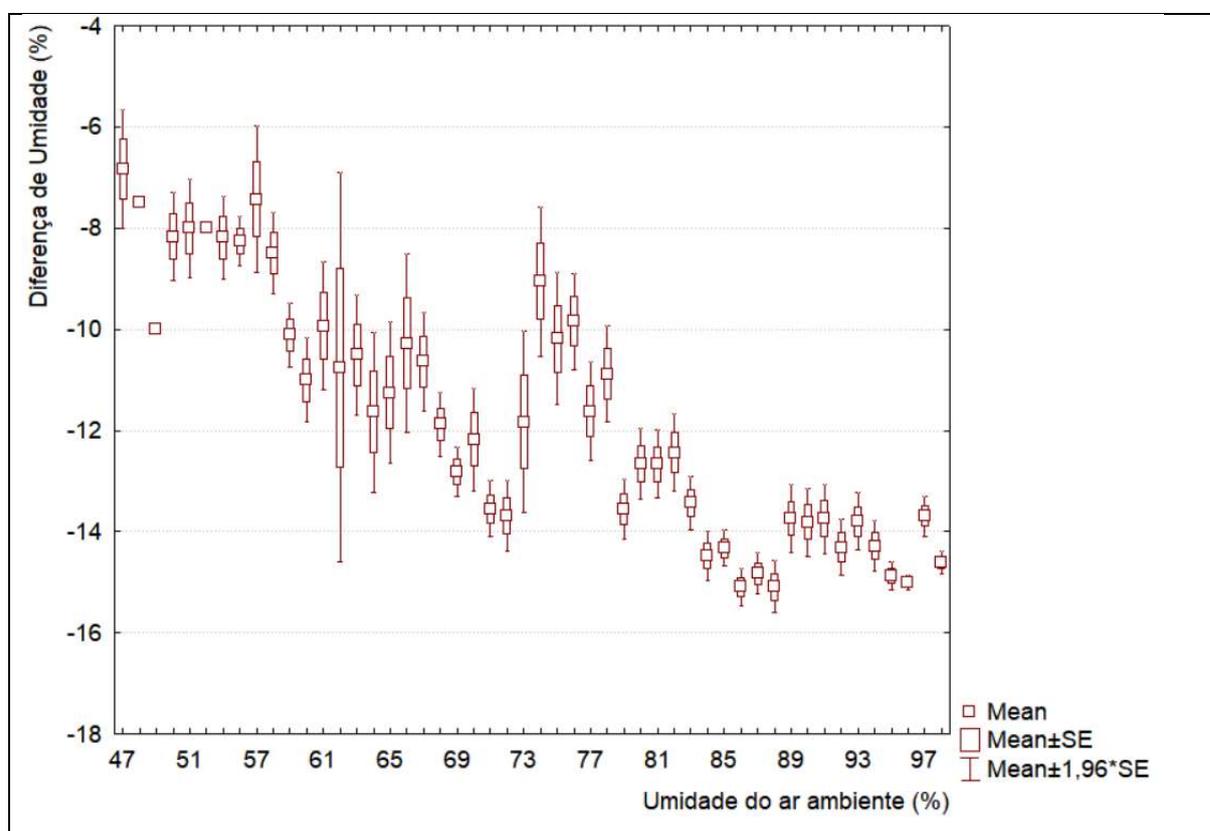


Figura 26 Correlação estatística entre a umidade relativa do ar ambiente e a diferença de umidade após passagem do ar pelo motor do aerador.

A análise de regressão dos dados, apresentados na tabela 8 e Figura 26, propicia a verificação a 95% de probabilidade de que a afirmativa anterior é verdadeira (Tabela 9). Assim, quanto maior a umidade relativa do ar ambiente, mais esse é afetado em termos de perda de umidade relativa do ar durante o processo de aeração.

Tabela 9 Análise de variância do efeito do sistema de aeração na temperatura do ar de aeração

Fonte de variação	SQ	GL	F	p
Regressão	7761,9	1	454,7861	0,000
Erro puro	99501,0	5830		

Durante o processo de aeração, um ponto bastante importante foi a diferença no tempo de aeração, sendo que, em um mesmo período de tempo, o Silo 1 realizou um número muito maior de horas de aeração, fazendo com que o produto, armazenado no Silo 1, tivesse uma coluna de resfriamento de grãos sempre mais avançada que o Silo 2.

Como o Silo 1 possuía um sistema que adicionava umidade ao ar de aeração, sua configuração para acionar a aeração era restrita somente à temperatura do ar; já o Silo 2, só tinha sua aeração acionada quando a temperatura estava na faixa desejada e, também, dependia de uma umidade relativa do ar igual ou superior a 75%. Em vários momentos, tivemos temperaturas do ar em faixa suficiente para aeração de ambos os silos, porém, a umidade do ar estava inferior a 75%, fazendo com que somente o Silo 1 realizasse a aeração; com isso, o processo de resfriamento do grão foi mais rápido.

Não foram encontrados, na literatura, trabalhos que mencionem maior número de horas de aeração por controle de umidade relativa do ar. Contudo, na Tabela 10, apresentamos a diferença entre os silos por ano.

Tabela 10 horas de aeração por silo

	Silo1	Silo2	Dif.	%
2019	7770	4389	3381	77,03
2020	8121	5982	2139	35,76

Como os anos foram climaticamente distintos ao longo do tempo, os dois anos do trabalho exemplificam bem as ocorrências de aeração em diferentes condições climáticas, bem como o efeito do sistema testado nesses dois anos. O ano de 2019 foi um ano com pouco frio, durante o período de aeração, em comparativo com 2020, o que mostra um número de horas de aeração superior, em 2020, mesmo com período menor. E quanto à umidade relativa do ar, 2019 também foi um ano mais seco, durante o período de aeração, mostrando que a utilização do sistema de umidificação de ar apresentou um ganho de 77% em horas de aeração no mesmo período; já 2020, que foi um ano com umidades maiores, apresentou um ganho de 35% no número de horas de aeração.

Guardando as devidas características climáticas de cada ano e de cada região, eventualmente, temos condições de temperatura ideal para aeração, todavia, a umidade pode estar abaixo do desejado. Com isso, o sistema de umidificação de ar propiciará um ganho à oportunidade de aeração, fazendo com que o número de horas aeradas, no final do período, seja superior em comparação à aeração sem umidificação.

5.3. Temperatura do ar de aeração

O sistema de aeração parece exercer influência direta em relação à temperatura do ar, fazendo com que o que, efetivamente, entra na massa de grãos seja em torno de 2°C mais quente que o ar ambiente. Todavia, quando utilizado o sistema de controle artificial de umidade relativa do ar, em uma condição de aeração com umidades muito baixas, o efeito demonstrou-se inverso.

Na Figura 27, apresentamos o gráfico da umidade relativa do ar ambiente e o ganho de temperatura no ar de aeração, de maneira que podemos verificar que, quanto menor a umidade relativa do ar ambiente, o ar que efetivamente entra na massa de grãos possui temperatura menor, gerando um efeito inverso do apresentado com somente o sistema de aeração, sem o sistema de umidificação; ou, ainda, quando o sistema de umidificação está desligado por umidades altas no ar ambiente.

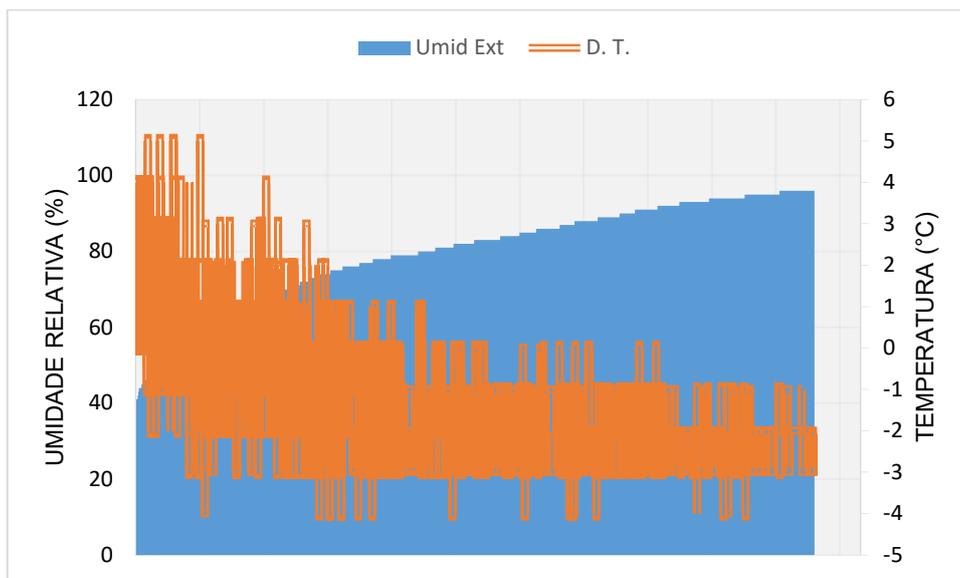


Figura 27 Umidade relativa do ar ambiente e ganho de temperatura no ar de aeração (Umid Ext – Umidade Externa / D. T. – Diferença de Temperatura do Ar Ambiente e do Ar Entrante na Massa de Grãos).

É apresentada, na Tabela 7, a análise de regressão dos dados, evidenciados na Figura 28, de forma que se percebe que há 95% de probabilidade, quando utilizado o sistema de umidificação de ar, em ar ambiente com umidades inferiores, de adição de umidade ao ar. Assim, tal situação acarreta redução da temperatura no ar que entra na massa de grãos, ao contrário do ganho de temperatura quando comparado a uma aeração sem umidificação.

Tabela 7 Análise de variância da umidade relativa do ar ambiente e a diferença de temperatura antes e após o sistema de aeração

Fonte de variação	SQ	GL	F	p
Regressão	7761,9	1	10871,76	0,00
Erro puro	99501	5106		

O efeito de redução, no ganho de temperatura, no processo de aeração com umidificação de ar já é esperado, pois diversas são as utilizações de umidificação do ar com finalidade de redução de temperatura como aviários, ou mesmo para ambientação humana. Trabalhos, como o realizado por Barros (2019), que estudou três formas de umidificação de ar, pode ter diferença na eficiência da umidificação do ar, mas a resposta inversa entre ganho de umidade e temperatura é sempre presente.

O efeito da redução de temperatura é denominado de Resfriamento Evaporativo, sendo amplamente utilizado, porém, seu efeito é reduzido em regiões de clima muito úmido (CAMARGO, 2003). Apesar de termos uma tecnologia antiga e que já é amplamente utilizada em outras áreas para a redução de temperatura, a armazenagem de grãos não faz uso desse recurso.

Agora, temos, então, dois fatores atuando simultaneamente na temperatura do ar durante a aeração; de um lado, temos o efeito do sistema de aeração, que acarreta ganhos à temperatura do ar. Assim, trabalhando simultaneamente, temos o sistema de umidificação, que provoca redução de temperatura.

Mais estudos desses recursos, trabalhando simultaneamente, devem ser realizados; já os dados que foram coletados, neste trabalho, até então, nos evidenciam que a diferença de temperatura entre o ar de aeração pode variar de +2 a até -3, ou seja, um ganho de temperatura no ar com o sistema de umidificação desligado a até um resfriamento do ar com o sistema de umidificação em potência alta.

5.4. Qualidade dos grãos armazenados

A qualidade dos grãos armazenados foi avaliada quanto aos Avariados Totais (AT). A qualidade do produto, que foi armazenado nos Silos 1 e 2, tanto no primeiro quanto no segundo ano, não apresentou diferença estatística significativa para AT, o que indica que a qualidade do produto armazenado, nos dois silos, foi homogênea em ambos os anos de experimento.

Durante a realização do experimento, duas bases para a umidade relativa do ar foram utilizadas. No primeiro ano, considerou-se uma umidade relativa do ar maior a fim de conhecer e compreender o sistema; já no segundo, foi utilizada uma umidade do ar a níveis usuais. O sistema calcula a umidade relativa do ar de aeração, baseado na umidade de equilíbrio que

se deseja para a soja; no primeiro ano, foi utilizada umidade de 16% e, no segundo ano, de 14%.

No primeiro ano, com a umidade de trabalho do sistema de umidificação mais alta e acima do recomendado, os resultados apresentaram uma quantidade de avariados maior, no Silo 1, em comparativo ao Silo 2, ou seja, o sistema com adição de água acarretou uma piora à qualidade da soja. Na tabela 8, apresentamos os resultados dos avariados e podemos observar que a média de avariados do Silo 1 apresentou quase o dobro em comparativo ao Silo 2, o que é muito ruim, tendo em vista que ambos os silos receberam produtos com a mesma qualidade no momento da armazenagem.

Tabela 8 Resultado teste de média Tukey para avariados dos Silos 1 e 2 no primeiro ano

Silo	Média
Silo 1	8,24 a
Silo 2	4,53 b

Após o resultado do primeiro ano, no segundo ano de armazenagem, os parâmetros de água, adicionados ao ar, foram reduzidos; com isso, obtivemos também uma redução na deterioração dos grãos durante o período de armazenagem.

Na Tabela 9, é apresentada a ANOVA para os grãos avariados, após o período de armazenagem, de maneira que se constata que os avariados não apresentaram índices significativamente superiores no tratamento com adição de água, mantendo a igualdade entre os tratamentos, assim como no início do período de armazenagem.

Tabela 9 Resultado da ANOVA para grãos avariados no segundo ano de armazenagem.

Fonte de variação	SQ	GL	F	p
Regressão	3,2400	1	3,8214	0,070869
Erro puro	11,8700	14		

Os resultados obtidos indicam que o sistema de umidificação pode ser utilizado na armazenagem de grãos; assim, seu efeito sobre a qualidade do produto armazenado merece mais estudos, de maneira que, provavelmente, a umidade do ar regulada no sistema de umidificação será a determinante para manutenção ou não da qualidade do produto.

Os resultados diferentes, obtidos no primeiro e segundo ano, são bastante coerentes com trabalhos publicados em geral. Alencar *et al.* (2009), por exemplo, concluíram que a armazenagem de grãos em temperaturas e umidades maiores afetam diretamente a qualidade de produto armazenado.

Em trabalho realizado por Paraginski *et al.* (2015), a armazenagem de grãos é testada com 14%; em temperaturas mais baixas, o produto sofre menor deterioração e, em caso de ambientes de clima bastante seco, o sistema de umidificação pode ajudar a reduzir a temperatura dos grãos mais rapidamente.

Tão importante é a umidade do produto durante a armazenagem que, mesmo armazenando em ambientes herméticos, produtos armazenados com inferiores umidades se mantêm em melhores condições fisiológicas (TIECKER JUNIOR, 2013).

5.5. Grau de Umidade dos grãos armazenados

A determinação do grau de umidade dos grãos, no momento da armazenagem, não apresentou diferença estatística significativa a 95% de probabilidade entre os silos, em nenhum dos anos testados; portanto, podemos afirmar que a umidade dos grãos, no momento da armazenagem, era a mesma para ambos os silos nas duas situações de experimentação.

No momento da retirada dos grãos da unidade armazenadora, também não houve diferença estatística de umidade entre os silos. Esse resultado foi bastante surpreendente, pois, ao menos no primeiro ano de armazenagem, quando estava sendo utilizada uma umidade de equilíbrio mais alta, era de se esperar um ganho ou, ainda, uma menor perda de umidade nos grãos.

Esse resultado causa estranheza, ademais, por resultados anteriores, por exemplo, uma maior presença de avariados no primeiro ano de armazenagem e com umidificação mais intensa. Mais surpreendente ainda é o resultado de peso obtido nos dois anos de experimento, pois tivemos um ganho de peso no primeiro ano e uma menor quebra no segundo ano. Diante disso, esse resultado ocasiona a espera de uma umidade de grãos maior, visto que esse peso maior do tratamento com umidificação seria água, o que é detectável na determinação de umidade.

A umidade dos grãos foi determinada de duas formas; a primeira aconteceu por Aparelho Homologado (UAH) e a segunda, por Estufa (EU). Portanto, ambos os métodos de determinação não apresentaram diferença estatística. Os dois métodos de determinação de umidade foram testados entre si e ainda não apresentaram diferença estatística significativa, evidenciando baixa diferença entre os métodos.

A primeira hipótese pensada para o efeito de mesma umidade entre os tratamentos seria a histerese, que, por sua vez, explica que, para o grão adsorver umidade, a umidade de equilíbrio da atmosfera ao redor do grão deve ser superior à umidade de equilíbrio durante dessorção (CONAB, 2006). Entretanto, esse efeito não explicaria a deterioração maior dos grãos e, principalmente, a menor redução de massa.

Quando observamos a umidade do ar final, durante a aeração, e o equilíbrio higroscópico que a massa de grãos deveria atingir com essa umidade, os resultados obtidos neste trabalho, a nível comercial, condizem com os apresentados por Faroni *et al.* (2005), Alencar *et al.* (2010) e Ely (2018); a nível de laboratório, porém, os resultados destoam no momento da determinação final da umidade dos grãos armazenados.

Maiores estudos são necessários para o melhor entendimento da dinâmica da umidade dentro de uma unidade armazenadora com a adição de umidade de maneira artificial. Esses estudos são bastante importantes, antes do uso comercial em larga escala, pois, apesar de termos respostas positivas do sistema quando utilizado de maneira moderada, a umidade aferida nos grãos não parece representar o manejo realizado.

5.6. Frente de resfriamento

Durante todo o trabalho realizado, em relação ao monitoramento da saída do ar da massa de grãos, após a efetivação de todos os registros, os dados foram submetidos à análise de regressão para verificar se houve alteração na umidade e temperatura do ar de saída da massa de grãos ao longo do tempo. Assim, com 95% de probabilidade (Tabela 9), podemos afirmar que, nos dois anos testados, tanto a umidade quanto a temperatura sofreram alteração na saída da massa de grãos.

Tabela 9 Resultado da ANOVA para temperatura e umidade relativa do ar em dois anos

2019					
	Fonte de variação	SQ	GL	F	p
Temp.	Regressão	6270,07	1	2143,74	0,00
	Erro puro	7566,53	5106		
2020					
	Fonte de variação	SQ	GL	F	p
Umidade	Regressão	179,35	1	17,31	0,00
	Erro puro	26808,68	2587		
	Fonte de variação	SQ	GL	F	p
Temp.	Regressão	6314,51	1	2916,15	0,00
	Erro puro	5857,29	2705		
	Fonte de variação	SQ	GL	F	p
Umidade	Regressão	729,838	1	371,27	0,00
	Erro puro	5317,393	2705		

Nas Figuras 29 e 30, apresentamos a variação da Temperatura e da Umidade relativa do ar de saída do produto ao longo do tempo. Ainda que seja de maneira sutil, é possível perceber que houve um decréscimo de ambos, havendo a redução tanto da temperatura quanto da umidade.

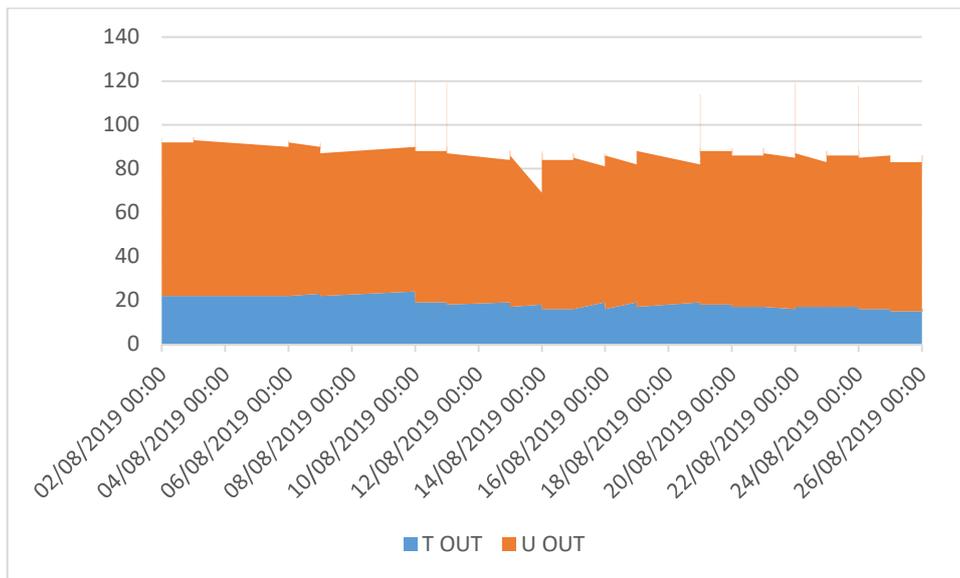


Figura 29 Gráfico da temperatura e umidade relativa do ar de saída da aeração no primeiro ano (T OUT – Temperatura de saída / U OUT – Umidade Relativa do Ar de Saída).

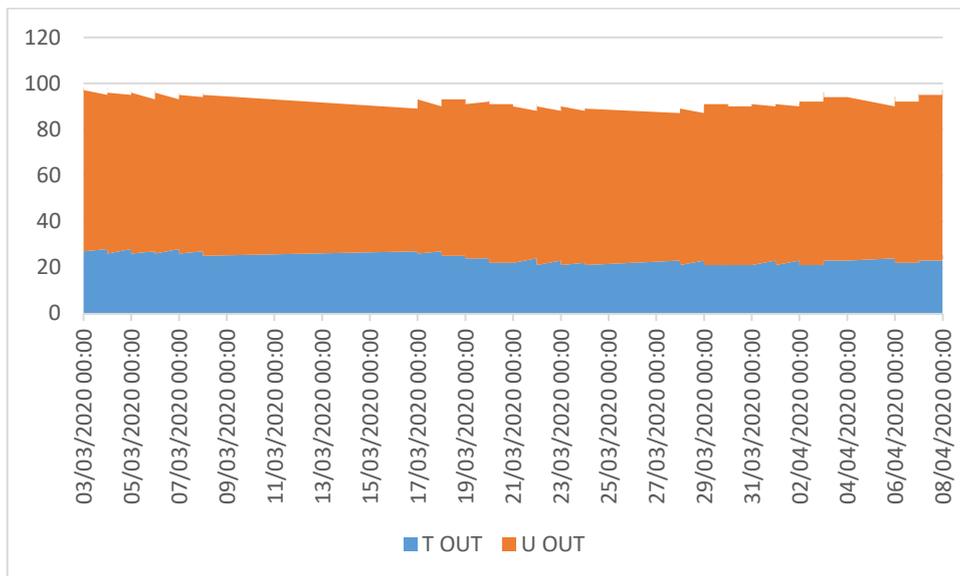


Figura 30 Gráfico da temperatura e umidade relativa do ar de saída da aeração no segundo ano (T OUT – Temperatura de Saída / U OUT – Umidade Relativa do Ar de Saída).

Quando temos a redução da temperatura na massa de grãos, esse evento satisfaz a intenção da aeração; quando essa redução na temperatura chega até a parte superior do silo, esse fato indica que a frente de resfriamento chegou ao fim do silo, indicando que toda a massa de grãos está resfriada. Tal situação foi ainda condizente com o acompanhamento da termometria, pois todo o processo de aeração foi acompanhado do início ao fim; a medida de temperatura na parte superior dos grãos foi extremamente fiel ao comportamento da frente de resfriamento verificada via sistema de termometria.

Dos dados coletados, pode-se afirmar que é indesejada a redução da umidade dos grãos, pois, mesmo com o controle da umidade do ar de entrada do silo, fazendo com que

todo ar entre com umidade desejada, ainda assim, houve redução da umidade na parte interna na massa de grãos.

Outro ponto observado foi o saldo de umidade durante todo o período de aeração, quando iniciada a aeração, pois, nessa fase, o sistema calculava a umidade absoluta do ar de entrada e, simultaneamente, a umidade absoluta do ar de saída. Assim, o saldo de umidade no ar foi sempre positivo, no início da aeração, indicando que estava sendo retirada umidade dos grãos armazenados.

Na Figura 31, apresentamos o saldo de umidade ao longo do período; assim, é possível perceber que esse saldo vai ficando aos poucos positivo, até que a frente de resfriamento chegue sob o silo. Porém, nesse momento, quando o silo estava todo homogêneo na temperatura desejada, foram reduzidos os parâmetros de temperatura de aeração, formando uma nova frente de resfriamento, o que gerou, novamente, o padrão de saída de água da massa de grãos.

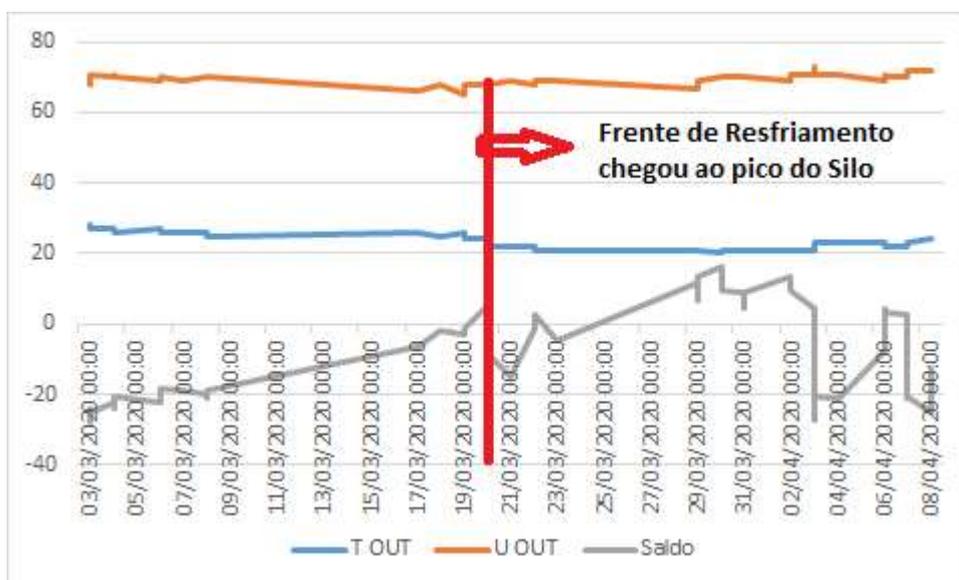


Figura 31 Gráfico da temperatura e umidade relativa do ar de saída de aeração e o saldo de água a cada 3 minutos de aeração (T OUT- Temperatura do Ar / U OUT- Umidade Relativa do Ar / Saldo – Saldo de Água Durante a Aeração).

Com esses resultados, pode-se observar que, mesmo entrando ar com umidade relativa desejada e mesmo que esteja superior à umidade de equilíbrio da soja armazenada, ainda assim o ar de saída possuía mais água que o ar de entrada. Porém, esse efeito pode ser explicado pelas alterações ocorridas nas condições psicrométricas do ar durante o processo de aeração.

Nos primeiros 15 dias de aeração, o ar acessava a massa de grãos com 18,09°C, em média; esse mesmo ar sempre possuía umidade mínima de 76%, a qual é regulada pelo sistema de umidificação. Essa umidade foi determinada para um equilíbrio com a soja com 14% de umidade, todavia, quando esse ar passava pela massa de grãos, era aquecido e saía com uma temperatura de 26,31°C. Dessa maneira, ao alterar sua temperatura, alterava

também sua capacidade de adsorção de água, o que acarretava a retirada de água na massa de grãos.

No exemplo dos primeiros 15 dias de aeração, o ar, com 18,09°C de temperatura e 76% de umidade, possuía uma umidade absoluta de 11,75 gramas de água por metro cúbico de ar, bem como uma capacidade de adsorver até 15,46 gramas de água por metro cúbico de ar. Diante disso, ao ser aquecido a 26,31°C, a capacidade de adsorção de água passou para 24,79 gramas de água por metro cúbico de ar, porém, o volume de água presente era o mesmo, ou seja, 11,75 gramas. Esse efeito faz com que o ar ganhe capacidade de adsorção de água, entretanto, ainda tinha sua umidade absoluta inalterada, gerando baixa umidade relativa do ar.

Com isso, esse efeito de aquecimento do ar, durante a aeração, tende a alterar a pressão vapor do ar, fazendo com que, durante a passagem do ar pela massa de grãos, sempre tenhamos, junto com o resfriamento da massa de grãos (SAUER, 1992), uma secagem ainda à frente de resfriamento. Diante disso, podemos supor que, sempre em relação a uma frente de resfriamento, segue-se uma frente de secagem.

Os resultados observados quanto à secagem também corroboram os obtidos por Lasseran (1981), que afirma que, quanto maior a temperatura dos grãos, maior será a perda de água do grão para o ar. Todavia, como podemos perceber, na segunda frente de resfriamento, o grão volta a perder água intensamente, mesmo estando frio. Esse efeito acontece pela redução na temperatura do ar externo, então, podemos ainda complementar as conclusões afirmando que não somente a temperatura do grão é importante, mas sim a diferença entre temperatura do ar x temperatura do grão; quanto maior a diferença, maior será a perda de água.

6. CONCLUSÃO

- A utilização de um sistema de umidificação do ar de aeração pode reduzir ou até mesmo neutralizar a quebra técnica.
- A umidificação do ar não deve exceder os padrões para uma boa armazenagem de grãos, com risco de deterioração da qualidade dos grãos armazenados.
- O sistema de umidificação de ar pode proporcionar um incremento às condições ideais para aeração e redução da temperatura de aeração.
- Todo o sistema de aeração causa influências sobre o ar de aeração, acarretando um aumento de sua temperatura; assim, deve o operador, sempre que possível, considerar essa interferência no processo decisório de aeração.
- Apesar de ter influência no peso do produto armazenado, o sistema de umidificação não apresentou interferência no grau de umidade dos grãos armazenados.
- Durante o processo de resfriamento dos grãos, o ar da aeração passa por um aquecimento e, conseqüentemente, alterações em sua psicrometria, tendo seu potencial de secagem ampliado.
- Com a alteração das condições psicrométricas do ar, na frente de resfriamento, acima dessa, parece se formar uma frente de secagem.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.C ALMEIDA E CIA. **Manual de Conservação de Grãos**. Disponível em: www.acalmeidaecia.com.br. Acesso em: 12 abr. 2020.

AFONSO, A. D. L.; PEREIRA, G. S.; SILVA, D. R. DA; SILVA, R. V. DA. Determinação da Quebra Técnica em uma Unidade Armazenadora – Estudo de Caso. **Anais - VII Conferência Brasileira de Pós-Colheita**, 2018.

AGUIAR, P. A. A. **Armazenamento e conservação de grãos**. Embrapa, 1982. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/131323/armazenamento-e-conservacao-de-graos-i-nocoas-basicas-de-conservacao-ii-armazenamento-e-conservacao-empriedades-agricolas>. Acesso em: 12 abr. 2020.

ALENCAR, E. R.; FARONI, L. R. D.; LACERDA FILHO, A. F.; PETERNELLI, L. A.; COSTA, A. R. Qualidade dos grãos de soja armazenados em diferentes condições. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, local, v.13, n.5, p. 606-613, mês, 2009.

ALENCAR, E. R.; FARONI, L. R. D.; PETERNELLI, L. A.; SILVA, M. T. C.; COSTA, A. R. Influence of soybean storage conditions on crude oil quality. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, local, v.14, n.3, p.303-308, mês, 2010.

ALMEIDA, A. P. *et al.* Mycoflora and fumonisin contamination in Brazilian corn from sowing to harvest. **Journal Agricultural Food Chemistry**, Estados Unidos, v. 50, n. 13, p. 3877-3882, mês, 2002.

BARROS, M. P. Uma análise comparativa do desempenho de quatro sistemas de umidificação do ar em condições de seca no centro-oeste brasileiro. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 19, n. 2, p. 187-202, abr./jun., 2019.

BASUNIA, M. A.; ABE, T. Thin-layer rewetting of rough rice at low and high temperatures. **Journal of Stored Products Research**, local, v.41, n.2, p.163-173, mês, 2005.

BRAGA, M. E. D. **Estudo da histerese entre as isotermas de sorção e dessorção do milho br-451**. Orientador: . 1991. 146f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba - Campus II Campina Grande - Brasil, 1991.

BURGES, H. D.; BURRELL, N.J. Cooling bulk grain in the British climate to control storage insects and to improve keeping quality. **J. Sci. Food Agric.**, local, v. 15, n., p. 32-50, mês, 1964.

CAMARGO, J. R. **Sistemas de resfriamento evaporativo e evaporativo-adsortivo aplicados ao condicionamento de ar**. Orientador: . 2003. Número de folhas. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, local, 2003.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: Ciência, tecnologia e produção**. Campinas: Fundação Cargill, 1988.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acomp. safra bras. grãos**, v. 7 Safra 2019/20 - Terceiro levantamento, Brasília, p. 1-28, dezembro 2019 Ministério da Economia. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/balanca/mes/2020/BCE023R.xlsx>. Acesso em: 12 abr. 2020.

CONAB - **COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/armazenagem/serie-historica-da-armazenagem>. Acesso em: 12 abr. 2020.

ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, de M.; VANIER, N. V. **Tecnologias De Pré-Armazenamento, Armazenamento E Conservação De Grãos**; Pólo De Inovação Tecnológica Em Alimentos Da Região Sul - Corede-Sul, SCT-RS, UFPEL, 2018. Disponível em: . Acesso em:

ELY, A. **Redução da qualidade de grãos de soja durante o armazenamento em diferentes condições de umidade e temperatura**. UNIPAMPA - Universidade Federal do Pampa, Alegrete/RS – Brasil: editora, 2018.

FARONI, L. R. A. et al. Avaliação qualitativa e quantitativa do milho em diferentes condições de armazenamento. **Engenharia na Agricultura**, local, v.13, n., p.193-201, mês, 2005.

GALLIARD, T.; Hydrolytic and oxidative degradation of lipids during storage of whole meal flour: Effects of bran and germ components. **Journal Cereal Science**, local, v.4, n., p.179-192, mês, 1986.

HASJIM, J.; LEE, S.; HENDRICH, S.; SETIAWAN, S.; AI, Y.; JANE, J. Effects of a novel resistant-starch on postprandial plasma-glucose and insulin responses. **Cereal Chemistry**, local, v.87, n., p.257-262, mês, 2010.

HAEBERLIN, L.; BANDEIRA, A. H.; MARTENS ,S.; PILAR, E. M.; BILHALVA, N. dos S.; PARAGINSKI, R. T. Parâmetros Comerciais de Grãos de Soja Armazenados Durante Seis Meses Com Umidade de 16%; **Anais do 8º Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão** – Universidade Federal do Pampa, 2016.

HENRY, Z. A.; SU, B.; ZHANG, H. Resistance of soya beans to compression. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v.76, n.2, p.175-81, mês, 2000.

INMETRO, **Portaria nº 402, de 15 de agosto de 2013**. Disponível em: . Acesso em:

JUNIOR, A. T. **Avaliação da qualidade de grãos de milho e soja em armazenamento hermético e não hermético sob diferentes umidades de colheita**. Orientador: . 2013. 83f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

LAJOLO, F. M.; MENEZES, E. W. **Carboidratos en alimentos regionales Iberoamericanos**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006.

LASSERAN, J. C. Princípios gerais de secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, local, v., n. 3, p. 17-46, mês, 1978.

LASSERAN, J.C. **Aeração de grãos**. Viçosa: Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem, 1981.

LEHNINGER, A.L. **Biochemistry**. s. l., Worth Publishers, Inc. 1975.

MAPA, **Instrução Normativa MAPA nº 9 de 02/06/2005**.

MAPA, **INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 25, DE 27 DE JUNHO DE 2017**.

MAPA, **Instrução Normativa MAPA nº 29**.

MAPA, **Instrução Normativa MAPA Nº 11/2007**.

MAPA, **Instrução Normativa MAPA Nº 60/2011.**

MÁRQUEZ, R. N. **Uso de Adsorbentes de Micotoxinas em La Salud Animal.** CnidMicrobiologia, INIFAP México, 2008.

MELENDEZ, J.; GRENOVERO, S.; CAPELLACCI, H. Anticipated maize harvest in Entre Rios province. In: **Congreso argentino de ingeniería rural**, 2, Villa Maria, Argentina, p.101, 1992.

MONTE, M. J. S. Pressão de vapor. **Rev. Ciência Elem.**, local, v. 6, n. 3, p., mês, 2018.

NEVES, E. DAS; SAVELLI, R. A. M. Determinação da perda de peso de grãos de milho armazenados através de diferentes métodos. **Enciclopédia biosfera**, Goiânia, v.14, n. 26, p. 257-270, dez., 2017.

PARAGINSKI, R. T.; ROCKENBACH, B. A.; SANTOS, R. F.; ELIAS, M. C; OLIVEIRA, M. Qualidade de grãos de milho armazenados em diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.4, p.358-363, mês, 2015.

PARK, C. E.; KIM, Y. S.; PARK, K. J.; KIM, B. K.; Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at diferente temperatures. **Journal of Stored Products Research**, local, v.48, n., p.25-29, mês, 2012.

PESKE, S. T.; ROSENTHAL, M. D´A.; ROTA, G. R. M. **Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos.** Local: editora, 2003.

RIBEIRO, D. M.; PAULO C. C.; BRUNO F. F.; ANDRÉ L. D. G.; Resende, O.; Propriedades mecânicas dos grãos de soja em função do teor de água. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.27, n.2, p., mês, 2007.

ROCKENBACH, B. A. **Efeitos do tempo de espera, temperatura de secagem e tempo de armazenamento sobre propriedades tecnológicas e compostos fenólicos de grãos de arroz com pericarpo vermelho.** Orientador: . 2018. 121f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

SAMBARASHE, M.; CHITAMBA, J.; SIPIWE, G. Screening of stored maize (Zea mays L.) Varieties Grain for Tolerance against Maize Weevil, Sitophilus zeamais (Motsch.). **International Journal of Plant Research**, local, v. 3, n., p.17-22, mês, 2013.

SAUER, D. B. **Storage of grains and their products.** 4ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1992.

SCHMIDT, C. A. P. Avaliação estatística dos valores de umidade de grãos de milho entregues em uma unidade de recebimento de grãos no oeste do estado do Paraná. **II Seminário de Engenharia de Energia na Agricultura Acta Iguazu**, local, v. 6, n. 5, p. 92-103, mês, 2017.

SCUSSEL, V. M.; ROCHA, M. W.; LORINI, I. **Atualidades em Micotoxinas e Armazenagem Qualitativa de grãos II.** Florianópolis: ABMAG, 2008.

SILVA, J. L. **Identificação Morfológica e Molecular de Aspergillus flavus e Aspergillus parasiticus isolados de alimentos destinados a caprinos em lactação.** Orientador: . 2012. 85f. Dissertação (Mestrado em Sanidade, Segurança Alimentar e Ambiental no Agronegócio) - Instituto Biológico - Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, São Paulo, 2012.

SILVA, J. S. **Tecnologia de secagem e armazenagem para a agricultura familiar.** Viçosa: Aprenda Fácil, 2008.

SILVA, A. A. L. Desenvolvimento de um índice para avaliação de danos mecânicos em grãos de milho. **Engenharia na Agricultura, Viçosa**, v.5, n.3, p.244-253, **mês**, 1997.

SONGA, W.; IRUNGU, J. **Post-harvest Challenges to food security in Kenya**. Republic of Kenya Ministry of Agriculture: **editora**, 2010.

SZESZ JUNIOR, A.; JUNIOR, M. M.; ARIANGELO, H. D.; MATHIAS, I. M.; CONTIL, G. Embedded system in Arduino platform with Fuzzy control to support the grain aeration decision. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.46, n.11, p.1917-1923, **mês**, 2016.

TOMKIEWICZ, D. **Application Of The Method Of Dynamic Model Identification For Grain Water Content Estimation**. 4 Th International Scientific Conference Tae, Volume: Trends In Agricultural Engineering, 2010. **Disponível em:** . **Acesso em:**

8. EQUIPAMENTOS/MATERIAIS UTILIZADOS.

- 02 Silos Consilos de 10.000 m³ cada com estrutura metálica, fundo melita e espalhador de grãos tipo “Chapéu Chinês”.

- 02 sistemas de aeração Consilos com capacidade de 0,20 m³/ton/hora com dois ventiladores Modelo: VENT RFS 800 40CV 4P60HZ380660V H/225° - WEG, Potência: 40 Cv, Rpm: 1770.

- Sistema de termometria analógico Fockink

- 03 sensores de umidade e temperatura Modelo: RHT-DM Transmitter, OUT 4-20 mA, Power 12 TO 30 vdc, Marca: NOVUS.

- 01 estação meteorológica analógica Fockink (2016).

- 50 metros de mangueira 1” para o sistema hidráulico.

- 25 metros de mangueira 0,5” para condução do ar de aeração.

- 02 dispositivos para captura do ar sob as grelhas de aeração.

- 01 dispositivo para captura do ar de saída dos grãos.

- 06 pontas de pulverização gota fina Teejet.

- 01 reservatório de água de 100 litros.

- 01 válvula solenoide 1”.

- 01 boia de nível para caixa d’água.

- 01 saída para caixa d’água.

- 06 terminais para ponta de pulverização.

- 01 Inversor de frequência Siemens.

- 01 CLP Siemens Modelo 3.500.

- 01 remota Siemens

- 01 cartão entrada analógico para remota Siemens

- 01 cartão saída para remota Siemens.

- 01 conversor sinal analógico/TCIP

- 01 motobomba Weg 24 MCA.

- 01 servidor.
- 01 no break para servidor.
- rede ethernet com comunicação /1.000
- 35 metros de cabo Pp 4x4mm.
- 90 metros de cabo Pp 3x0,75mm.