

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
FACULDADE DE AGRONOMIA ELISEU MACIEL
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS



Dissertação

Efeitos da temperatura e do tempo de armazenamento em sistema semi-hermético sobre a qualidade de trigo

Marcos de Oliveira Monte
Engenheiro Agrônomo

Pelotas, 2023

Marcos de Oliveira Monte

Efeitos da temperatura e do tempo de armazenamento em sistema semi-hermético sobre a qualidade de trigo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias

Coorientador: Prof. Dr. Maurício de Oliveira

Coorientador: Prof. Dr. Mateus da Silveira Pasa

Pelotas, 2023

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

M772e Monte, Marcos de Oliveira

Efeitos da temperatura e do tempo de armazenamento em sistema semi-hermético sobre a qualidade de trigo / Marcos de Oliveira Monte ; Moacir Cardoso Elias, orientador. — Pelotas, 2023.

56 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2023.

1. *Triticum aestivum* L.. 2. Pós-colheita. 3. Conservação de qualidade. I. Elias, Moacir Cardoso, orient. II. Título.

CDD : 633.116

Elaborada por Ubirajara Buddin Cruz CRB: 10/901

Marcos de Oliveira Monte

Efeitos da temperatura e do tempo de armazenamento em sistema semi-hermético sobre a qualidade de trigo

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 04 de abril de 2023

Banca examinadora:

Prof. Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias (Orientador), Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas.

Prof^a. Dr^a. Elessandra da Rosa Zavareze – Doutora em Engenharia e Ciência de Alimentos pela Universidade do Rio Grande

Prof^a. Dr^a. Rosana Colussi, Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas.

Prof. Dr. Volnei Luiz Meneghetti – Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas

Dedico

A Deus

Aos meus pais, João e Ana Maria

Aos meus irmãos, Márcio e Márcia

AGRADECIMENTOS

A Deus pelas oportunidades que me foram dadas na vida, principalmente por ter conhecido pessoas e lugares interessantes, mas também por ter vivido momentos difíceis, que foram matérias-primas de aprendizado.

Aos meus pais e colegas de profissão, João de Farias Monte e Ana Maria P. de Oliveira, aos meus irmãos, Marcio Monte e Márcia Monte e ao meu cunhado Humberto Madeira por tornarem realidade a investida neste curso, sem medir esforços e sempre presente em todos os momentos.

Ao meu orientador, professor Dr. Moacir Cardoso Elias pela orientação deste trabalho, por acreditar e tornar possível sua realização, pelo acolhimento, preocupação, conversas, viagens, conselhos e por me colocar nesse time de campeões.

Ao professor Dr. Maurício de Oliveira pela coorientação.

A professora Dr^a Elessandra da Rosa Zavareze pela atenção, coordenação, e ajuda para solucionar os problemas, desenrolar os entraves com a pandemia e por tornar a nossa vida no curso mais fácil.

Ao professor Mateus da Silveira Pasa, por nos atender prontamente e fornecer o material necessário para este projeto.

Aos demais professores do PPGCTA e aos graduandos e pós-graduandos do LABGRÃOS por toda a ajuda, pelo apoio, pelo incentivo e por também acreditarem e não me deixarem desistir.

À Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos e à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio.

Resumo

MONTE, O. Marcos. **Efeitos da temperatura e do tempo sobre atributos de qualidade de trigo no armazenamento em sistema semi-hermético por doze meses.** 2023. 56f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

O trigo (*Triticum aestivum* L.), uma das principais culturas para a segurança alimentar global, é indiscutivelmente o cereal mais intensivamente cultivado, usado principalmente para moagem em farinha destinada à fabricação de produtos de panificação, massas ou malte. Suas características físicas e reológicas são fortemente afetadas pela temperatura e pelo tempo de armazenamento, cuja influência, dependendo da sua magnitude, pode causar perdas consideráveis na quantidade e na qualidade dos grãos. Para a manutenção da qualidade dos grãos no armazenamento, estes fatores devem ser controlados, e seus efeitos bem compreendidos. Objetivou-se, com o trabalho, estudar a influência da temperatura e do período de armazenamento sobre parâmetros de avaliação de atributos de qualidade do trigo armazenado em sistema semi-hermético por doze meses. A avaliação da interação do processo foi por meio de análise de variância, análises de componentes principais e correlação, em um delineamento experimental fatorial de temperaturas (16 ± 2 , 22 ± 2 e $28\pm 2^\circ\text{C}$) e tempos de armazenamento (inicial, 2, 4, 6, 8, 10, 12 meses). Utilizando armazenamento dos grãos em sistema semi-hermético, foram avaliados os parâmetros proteína, lipídeos, fibras, cinzas, amido, teor de água, defeitos metabólicos, peso volumétrico, peso de mil grãos, condutibilidade elétrica, número de queda, perfil colorimétrico, teor de glúten. A interação dos fatores temperatura e tempo de armazenamento afetou significativamente os atributos de qualidade dos grãos de trigo e de suas farinhas no armazenamento; o sistema semi-hermético de armazenamento mostrou-se eficiente em manter o teor de água dos grãos por pelo menos 12 meses nas temperaturas mais baixas, com teor estável por todo o período; o teor de amido sofreu interação significativa nas temperaturas mais elevadas, enquanto as proteínas, lipídeos, fibras e cinzas foram afetados principalmente pelo aumento do tempo de armazenamento; condições de armazenamento em temperaturas mais elevadas impactaram a qualidade tecnológica dos grãos de trigo, como incidência de defeitos metabólicos, peso de mil grãos, perfil colorimétrico e condutividade elétrica, com a maioria dos parâmetros se alterando após o quarto mês de armazenamento; os atributos de qualidade de farinha, glúten e perfil viscoelásticos foram mais afetados pelo período de armazenamento, enquanto a interação entre temperatura e armazenamento impactou significativamente o número de queda a partir do quarto mês de armazenamento.

Palavras-chaves: *Triticum aestivum* L.; pós-colheita; conservação de qualidade.

Abstract

MONTE, O. Marcos. **Effects of temperature and time on quality attributes of wheat during twelve months of storage in a semi-hermetic system.** 2023. 56f. Dissertation (Master's in Food Science and Technology) – Graduate Program in Food Science and Technology, Eliseu Maciel Agronomy School, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2023.

The wheat (*Triticum aestivum* L.), one of the main crops for global food security, is undeniably the most extensively cultivated cereal, primarily used for milling into flour for the production of bakery products, pasta, or malt. Its physical and rheological characteristics are strongly affected by temperature and storage time, whose influence, depending on their magnitude, can cause considerable losses in grain quantity and quality. In order to maintain grain quality during storage, these factors must be controlled, and their effects well understood. The objective of this work was to study the influence of temperature and storage period on evaluation parameters of quality attributes of wheat stored in a semi-hermetic system for twelve months. The interaction of the process was evaluated through analysis of variance, principal component analysis, and correlation, in a factorial experimental design of temperatures (16 ± 2 , 22 ± 2 , and $28\pm 2^\circ\text{C}$) and storage times (initial, 2, 4, 6, 8, 10, 12 months). Using storage of grains in a semi-hermetic system, the parameters evaluated were protein, lipids, fiber, ash, starch, moisture content, metabolic defects, bulk density, thousand grain weight, electrical conductivity, falling number, colorimetric profile, and gluten content. The interaction of temperature and storage time factors significantly affected the quality attributes of wheat grains and their flours during storage; the semi-hermetic storage system proved to be efficient in maintaining grain moisture content for at least 12 months at lower temperatures, with stable content throughout the entire period; starch content showed significant interaction at higher temperatures, while proteins, lipids, fiber, and ash were mainly affected by increased storage time; storage conditions at higher temperatures impacted the technological quality of wheat grains, such as the incidence of metabolic defects, thousand grain weight, colorimetric profile, and electrical conductivity, with most parameters changing after the fourth month of storage; flour quality attributes, gluten, and viscoelastic profile were more affected by the storage period, while the interaction between temperature and storage significantly impacted the falling number from the fourth month of storage.

Keywords: *Triticum aestivum* L.; post-harvest; quality conservation.

Lista de figuras

Figura 1 – Série histórica de estoque, área, produção, consumo e estoque de trigo	19
Figura 2 – Estrutura de grão de trigo.....	21
Figura 3 – Sistema tridimensional de cores, CIE LAB(L*a*b*)	32
Figura 4 – Teor de água dos grãos de trigo (%,) submetidos a diferentes temperaturas e períodos de armazenamento.....	34
Figura 5 – Biplot da análise de componentes principais mostrando a relação entre as variáveis e a discriminação entre os períodos de armazenamento (0, 2, 4, 6, 8, 10 e 12 meses).....	48
Figura 6 – Biplot da análise de componentes principais mostrando a relação entre as variáveis e a discriminação entre as temperaturas de armazenamento (16, 22 e 28°C)	48

Lista de tabelas

Tabela 1 – Área, produtividade e produção total de trigo por regiões	20
Tabela 2 – Classes do trigo do Grupo II destinado à moagem e outras finalidades..	24
Tabela 3 – Tipos do trigo do Grupo II destinado à moagem e a outras finalidades...	24
Tabela 4 – Teor de proteína (%), lipídios (%), fibras (%) e cinzas (%) conforme efeito de interação temperatura e período de armazenamento.	35
Tabela 5 – Teor de amido (%), em grãos de trigo armazenados por 12 meses em três diferentes temperaturas.....	36
Tabela 6 – Teor de danificado por calor, mofados e ardidos (%) em grãos de trigo armazenados por 12 meses em três diferentes temperaturas.	37
Tabela 7 – Danificado por insetos (%) em grãos de trigo armazenados por 12 meses em três diferentes temperaturas.....	38
Tabela 8 – Chochos, triguilhos e quebrados (%) em grãos de trigo armazenados por 12 meses em três diferentes temperaturas.	38
Tabela 9 – Total de defeitos (%) em grãos de trigo armazenados por 12 meses em três diferentes temperaturas.....	39
Tabela 10 – Peso hectolítrico (kg/hL) em grãos de trigo armazenados por 12 meses em três diferentes temperaturas.....	40
Tabela 11 – Peso de mil grãos (g) em grãos de trigo armazenados por 12 meses em três diferentes temperaturas.....	41
Tabela 12 – Coordenadas cromatográficas sistema CIELAB (L*a*b*) em grãos de trigo armazenados por 12 meses em três diferentes temperaturas	42
Tabela 13 – Valores ΔE (índice diferença de cor) em grãos de trigo armazenados por 12 meses em três diferentes temperaturas	43
Tabela 14 – Condutividade elétrica ($\mu S\ cm^{-1}\ g^{-1}$) em grãos de trigo armazenados por 12 meses em três diferentes temperaturas.	44
Tabela 15 – Número de queda (s) em grãos de trigo armazenados por 12 meses em três diferentes temperaturas.....	45
Tabela 16 – Teor de glúten úmido (%) e glúten seco (%) das farinhas de trigo armazenados em três temperaturas diferente por 12 meses	46
Tabela 17 – Análise de componentes principais, mostrando autovalores, rotações e proporção da variação explicada pelos três primeiros componentes principais	47

Tabela 18 - Coeficientes de correlação de Person, indicando a relação entre as variáveis analisadas	49
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS, SÍMBOLOS E UNIDADES

% – por cento

%, b.s. – percentagem em base seca

%, b.u. – percentagem em base úmida

= – igual

± – mais ou menos

a' – coordenada de cromaticidade a' que varia de -a' (verde) até +a' (vermelho)

AACC – *American Association of Cereal Chemists* (Associação Americana de Química de Cereais)

AOAC – *Association of Official Analytical Chemists International* (Associação Internacional de Análises Química Oficiais)

AOSA – *Association of Official Seed Analysts* (Associação de Análises de Sementes Oficiais)

b.s. – base seca

b.u. – base úmida

b' – coordenada de cromaticidade b' que varia de -b' (azul) até +b' (amarelo)

CIELab – *Commission Internationale d'Eclairage L' + a' + b'* (Comissão Internacional em Iluminação + as coordenadas de cromaticidade L' + a' + b')

cm – centímetro

cm² – centímetro quadrado

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

g – grama

g ¼ L⁻¹ – grama por um quarto de litro

h – hora

J – Joule

kg – quilograma

kg de trigo habitante⁻¹ ano⁻¹ – quilograma de trigo por habitante por ano

kg m⁻³ – quilograma por metro cúbico

L' – coordenada de cromaticidade de luminosidade que varia entre zero (preto) e 100 (branco)

mL – mililitro

mm – milímetro

mmCA – milímetro de coluna d'água

NIRS – *Near InfraRed Spectrometer* (espectrômetro de infravermelho próximo)

°C – grau Celsius

Prof. – professor

t há⁻¹ – tonelada por hectare

μm – micrometro

μS cm⁻¹ g⁻¹ – microSiemen por centímetro por grama

Sumário

1.	Introdução.....	16
2.	Objetivos.....	18
2.1.	Objetivo Geral.....	18
2.2.	Objetivos específicos.....	18
3.	Revisão Bibliográfica	19
3.1.	A Cadeia Tritícola	19
3.2.	Estrutura e Composição do Grão	21
3.3.	Qualidade Industrial de Trigo e Parâmetros de Classificação	23
3.4.	Principais Atributos de Qualidade dos Grãos de Trigo.....	24
3.4.1.	Incidência de Defeitos.....	24
3.4.2.	Peso Hectolítrico (P.H.)	25
3.4.3.	Peso de Mil Grãos (PMG).....	26
3.4.4.	Condutividade Elétrica	26
3.4.5.	Número de Queda (Falling Number).....	26
3.5.	Armazenamento.....	27
4.	Material e Métodos.....	29
4.1.	Material Experimental	29
4.2.	Pré-limpeza, Secagem e Armazenamento das Amostras	29
4.3.	Delineamento Experimental.....	30
4.4.	Composição Proximal.....	30
4.5.	Grau de Umidade	30
4.6.	Incidência de Defeitos	31
4.7.	Peso Hectolítrico.....	31
4.8.	Peso de Mil Grãos	31
4.9.	Perfil Colorimétrico	31
4.10.	Condutividade Elétrica dos Grãos	32
4.11.	Número de Queda	32
4.12.	Perfil de Glúten	33
4.13.	Análise Estatística	33
5.	Resultados e Discussões.....	34
5.1.	Teor de Água dos Grãos de Trigo	34

5.2. Composição Proximal dos Grãos de Trigo	35
5.3. Incidência de Defeitos	37
5.4. Peso Hectolítrico.....	39
5.5. Peso de mil grãos	41
5.6. Perfil Colorimétrico	41
5.7. Condutividade Elétrica.....	43
5.8. Número de queda (Falling Number)	44
5.9. Glúten.....	46
5.10. Análise de Componentes Principais	47
5.11. Correlações	49
6. Conclusões.....	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

1. Introdução

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é uma das principais espécies cultivadas no mundo, por alimentar muitas pessoas, sendo excelente fonte de carboidratos, proteínas, vitaminas, minerais e compostos bioativos importantes para a nutrição humana. A cadeia produtiva do trigo possui grande importância econômica no Brasil, principalmente na região sul, que possui condições edafoclimáticas adequadas para a cultura, contribuindo com cerca de 90% da produção do país, segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2023). No Brasil, os grãos de trigo são usados principalmente para panificação e como ingrediente para diversos outros alimentos. No entanto, o País importa quase a metade do trigo que consome porque a produção nacional não atende à demanda. Atualmente busca reduzir a importação do cereal por meio do aumento da produção e manutenção da qualidade dos grãos, com a consequente melhoria das farinhas produzidas.

A manutenção da qualidade dos grãos requer um armazenamento adequado, com controle tecnológico, embora ainda assim ocorram perdas quantitativas e qualitativas, especialmente se as condições de armazenamento forem inadequadas. Essas perdas são devidas a fatores genotípicos e ambientais, como temperatura, umidade relativa e duração do armazenamento. As condições edafoclimáticas durante a etapa de produção no campo e principalmente a secagem na pós-colheita também afetam a qualidade dos grãos nesse período. Altas temperaturas de armazenamento aumentam a deterioração dos grãos, por induzirem reações bioquímicas e microbiológicas mais rápidas. A variação da temperatura do ar na unidade de armazenamento também influencia a umidade relativa de tal modo que a maior duração do armazenamento aumenta os sinais de alteração (LANCELOT et al., 2021; NUTTALL et al., 2017).

Em todo o mundo, estudos têm sido realizados sobre o armazenamento de grãos de trigo, visando minimizar as alterações durante essa etapa, havendo relatos de aumento do número de queda ao longo do armazenamento em altas temperaturas, ocorrência de redução da capacidade germinativa e do peso hectolitro, reduções nos teores glúten úmidos e amido. As alterações nesses atributos levam a perdas na qualidade dos grãos e consequentemente das farinhas deles obtidas. (KIBAR et al., 2015; GONZÁLEZ-TORRALBA et al., 2013; Ziegler et al. 2021)

Apesar desses avanços no armazenamento de grãos de trigo no mundo devido à pesquisa, o tema no Brasil precisa ser mais aprofundado, levando em conta as condições brasileiras. Ultimamente, vem crescendo o armazenamento de grãos utilizando tecnologias de refrigeração e isso também justifica a necessidade de se estudar essa tecnologia.

Objetivou-se, com o estudo, investigar a influência da temperatura e do período de armazenamento sobre parâmetros de avaliação de atributos de qualidade dos grãos e de suas farinhas, a fim de identificar a faixa de temperatura mais adequada para o armazenamento de grãos de trigo no maior período possível.

2. Objetivos

2.1. Objetivo Geral

Investigar a influência da temperatura sobre a qualidade dos grãos de trigo e de suas farinhas no armazenamento em sistema semi-hermético por 12 meses.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar efeitos da temperatura sobre os parâmetros proteína, lipídeos, fibras, cinzas, amido, teor de água, defeitos metabólicos, peso volumétrico, peso de mil grãos, condutibilidade elétrica e perfil colorimétrico dos grãos de trigo ao longo de 12 meses de armazenamento a $16^{\circ}\text{C}\pm 2$, $22^{\circ}\text{C}\pm 2$, $28^{\circ}\text{C}\pm 2$.
- Avaliar efeitos da temperatura sobre os parâmetros número de queda, teor de glúten e perfil alveográfico de farinhas obtidas de grãos de trigo logo após a colheita e aos 12 meses de armazenamento a $16^{\circ}\text{C}\pm 2$, $22^{\circ}\text{C}\pm 2$, $28^{\circ}\text{C}\pm 2$.

3. Revisão Bibliográfica

3.1. A Cadeia Triticola

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é a commodity agrícola com maior área cultivada no mundo, havendo estimativas para próxima safra de 222,1 milhões de ha, apresentando um aumento de 0,13%, se comparada à safra (2021/2022). Atualmente ocupa o segundo lugar na produção global (Figura 1), e deve produzir 781,31 milhões de toneladas em 2023, um recorde equivalente a 0,1% maior do que os dados indicados em dezembro de 2022, ou 0,3% acima dos da última safra. Os maiores produtores internacionais de trigo são historicamente China, Índia, Rússia e EUA, que somados respondem por cerca de 49,2% da produção total desse cereal (USDA, 2022).

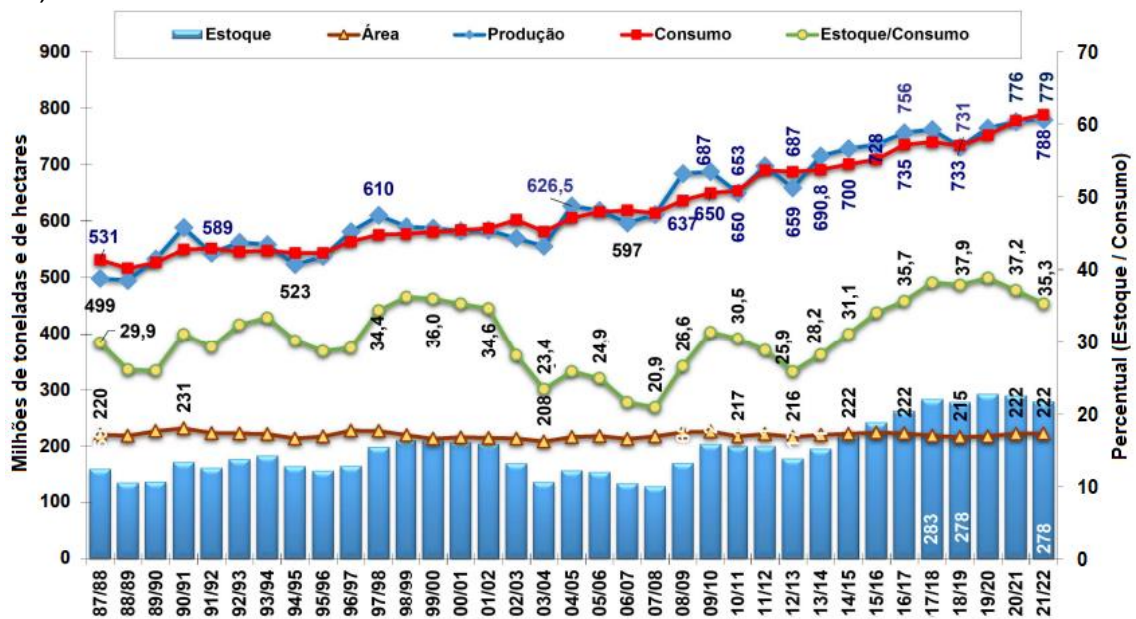


Figura 1 – Série histórica de estoque, área, produção, consumo e estoque de trigo

Fonte: USDA/abril/ 2022

Para a segurança alimentar global, o trigo é uma das principais culturas, por suas características adequadas para armazenamento e por sua composição nutricional, portanto ideal para garantir reservas alimentares. Em muitos países é indiscutivelmente o cereal mais intensivamente cultivado, usado principalmente para moagem de preparação de farinha para a posterior fabricação de produtos de panificação, massas ou malte. Além disso, é usado como matéria-prima para rações e, em menor escala, para a produção de etanol ou amido industrial (NARWAL et al.,2020).

O Brasil importa grãos de trigo, pois a produção do país não atende à demanda. Atualmente, a nação busca reduzir a importação de trigo por meio do aumento da produção e pela manutenção da qualidade dos grãos armazenados (SILVEIRA, et al., 2020). O consumo anual de trigo no país gira em torno de 13 milhões de toneladas, importadas 6,2 milhões de toneladas em 2022, ou seja, quase a metade da demanda doméstica. A produção nacional de 9,67 milhões de toneladas em 2022 significou 16,2% a mais que em 2021, com uma produtividade média próxima a 2.657 kg de cereais por hectare (CONAB, 2022).

O Brasil é o décimo sexto produtor, sétimo importador e décimo primeiro consumidor mundial de trigo. Da atual produção de 9,5 milhões de toneladas (Tabela 1), cerca de 90% ocorreram na região sul, ou seja, nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, com menor participação das regiões Sudeste e Centro-Oeste, nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Mato grosso do Sul, Goiás e Distrito Federal. Nos últimos anos, a cultura brasileira do trigo teve avanços notáveis em genética, principalmente por meio da criação de novos materiais, variedades cada vez mais adaptadas às condições edafoclimáticas regionais e aspirações da indústria processadora de trigo, viabilizando a consolidação da cultura em alguns estados do Nordeste, principalmente na Bahia, além do desenvolvimento de tecnologias de cultivo adequadas à região.

Tabela 1 – Área, produtividade e produção total de trigo por regiões

Unidade geográfica	Área (mil ha)			Produtividade (Kg/ha)			Produção (mil t)		
	2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019	2020	2021
Norte	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nordeste	3,0	3,0	6,1	4800,0	5700,0	5700,0	14,4	17,1	34,8
Centro-Oeste	62,0	57,7	92,8	3365,0	3224,0	1976,0	208,6	186,0	183,4
Sudeste	165,4	171,6	159,2	2675,0	2917,0	2676,0	442,4	500,4	426,0
Sul	1810,1	2109,2	2457,3	2480,0	2622,0	2867,0	4489,3	5530,9	7044,5
Brasil	2040,5	2341,5	2715,4	13320,0	14463,0	13219,0	5154,7	6234,4	7688,7

Fonte: CONAB (2021)

Nas décadas de 1980 e 2000 foram realizadas experiências de produção de trigo na Bahia e no norte de Minas Gerais, e a partir de 2015 a produção de trigo no Nordeste começou a se consolidar no cerrado baiano. O Ministério da Agricultura,

Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2021) estabeleceu uma Zona de Risco Agroclimático (ZARC) para a cultura do trigo no estado, com 158 municípios com potencial de produção. No entanto, a produção realmente existe apenas em Riachão das Neves, Luís Eduardo Magalhães e São Desidério.

3.2. Estrutura e Composição do Grão

O grão de trigo possui formato oval e é dividido em três partes: o pericarpo, o endosperma e o gérmen. O pericarpo corresponde a quase 20% do peso seco do grão e é o que mais possui minerais e celulose, tendo um papel protetor do endosperma e é formado por seis camadas: epiderme, hipoderme, células cruzadas, células tubulares, testa e tecido nucelar (Figura 2). Já o endosperma está presente em quase 85% da composição do grão. É envolto pela camada de aleurona e considerado a parte mais importante do grão, por conter o amido e as proteínas. O germe ou embrião, composto de duas partes, o eixo embrionário que inclui o embrião propriamente dito, prefiguração da futura plântula, compreendendo para cima a gêmula coberta pelo coleóptilo e para baixo a radícula coberta pela coleorriza, e flanqueada no lado do endosperma pelo escutelo, que é o cotilédone rudimentar (HOSENEY, 2010; JAEKEL, 2013).

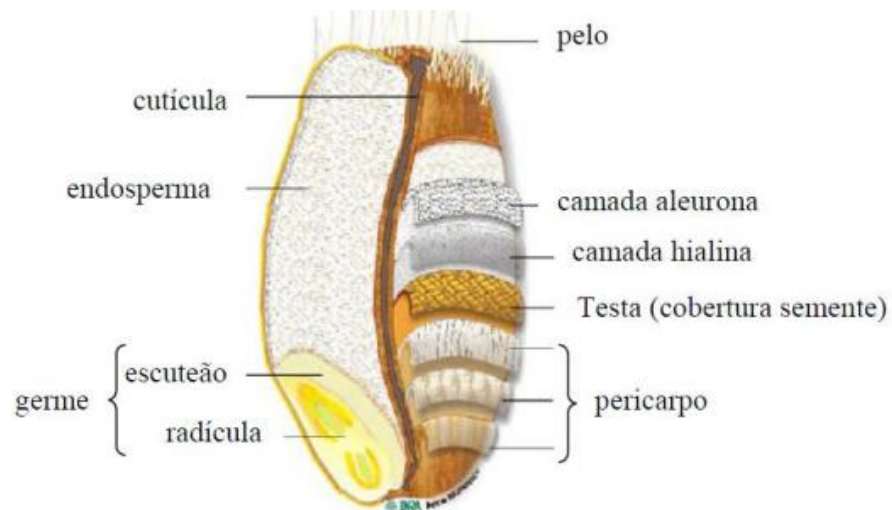


Figura 2 – Estrutura de grão de trigo

Fonte: Adaptado pelo autor de Hemery et al., 2007

A composição química dos grãos afeta as suas características funcionais e tecnológicas e, juntamente com as propriedades estruturais, define a qualidade da farinha de trigo. De forma geral, computando-se percentuais em base seca (bs), a

farinha de trigo é composta principalmente por amido (70-75), água (12-14), proteínas (8-16), lipídios (2%), cinzas (1%) e outros constituintes menores. Variações na quantidade e na composição dos constituintes da farinha ocorrem em função da genética das cultivares, das condições de cultivo e de pós-colheita, e influenciam a qualidade final dos produtos (DELCOUR; HOSENEY, 2010).

O amido encontrado no grão de trigo é formado especificamente por dois polissacarídeos: amilose e amilopectina. É responsável pela formação de géis que conferem grande potencial na modificação da textura e influenciam na qualidade dos produtos elaborados na panificação (SCHEUER et al., 2011). Essas estruturas sofrem transformações quando submetidas ao tratamento térmico, como a gelatinização e a retrogradação (MIRANDA et al., 2019).

Dentre os grãos de cereais, as proteínas do trigo são as únicas a apresentar capacidade para formação de massa retentora de dióxido de carbono. Esta capacidade está relacionada à formação do glúten. A quantidade total de proteínas existente no grão de trigo varia entre 8 e 21%. Desta fração, 15% correspondem a globulinas e albuminas que não são formadoras de glúten e 85% correspondem a gliadina e a glutenina que combinadas têm a propriedade de formar o glúten (WIESER, 2007; SOUZA et al., 2015).

Muitos países consideram que o teor de proteína do trigo e da farinha é um importante padrão de qualidade do trigo. A determinação é realizada usando o método de espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS) ou pelo método de Kjeldahl. É geralmente aceito que o teor de proteína da farinha de trigo está intimamente relacionado ao teor de glúten. No entanto, o conteúdo de proteína e glúten não fornece informações sobre a qualidade, força do glúten. A expressão força do glúten é frequentemente usada para indicar a maior ou menor capacidade da farinha de suportar o manuseio mecânico quando misturada com água. Também está relacionado com a maior ou menor capacidade de absorção de água das proteínas formadoras de glúten, que combinada com a capacidade de reter o gás carbônico, resulta em um pão com volume e textura mais desejáveis (MORAES et. al., 2011).

Outros componentes químicos, como lipídios, fibras, vitaminas e minerais, estão presentes nos grãos, porém em quantidades menores em relação ao teor de amido e proteínas, os grãos de trigo também contêm, embora em menor concentração, uma variedade de compostos fitoquímicos das classes fenólica e

terpenoide, que geralmente estão distribuídos na camada de aleurona e no pericarpo (SIBAKOVA et.al, 2015).

3.3. Qualidade Industrial de Trigo e Parâmetros de Classificação

A produção brasileira de grãos é caracterizada por avanços significativos em tecnologia, resultando em aumento de produtividade, uso racional de insumos, adoção de plantio direto de palha e rotação de culturas. As perdas quantitativas e qualitativas na fase de pós-colheita devido a contaminantes e matérias-primas não direcionadas de acordo com as especificações do produto final afetam a qualidade e a eficiência do processo produtivo. Alguns dos problemas causados pelo armazenamento deficiente são: perda de grãos por pragas, presença de fragmentos de insetos, deterioração da qualidade dos grãos, contaminação por fungos, presença de micotoxinas, efeitos negativos na saúde humana e animal, dificuldade na exportação (SEIXAS, 2020).

Para avaliar a qualidade industrial do trigo se levam em conta as características do grão, o comportamento na moagem, diferentes valores analíticos e qualidade panificadora. Segundo Bittencourt et. al. (2018), um peso hectolitro baixo corresponde a uma moagem pobre, baixo rendimento de farinha e de qualidade inferior.

O regulamento técnico do trigo estabelecido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, por meio da Instrução Normativa n.º 38, de 30 de novembro de 2010 (BRASIL, 2010), elevou o grau de exigência de qualidade industrial dos grãos do trigo, definindo o seu padrão oficial de classificação, com os requisitos de identidade e qualidade, a amostragem, o modo de apresentação e a marcação ou rotulagem, nos aspectos referentes à classificação do produto. Nas Tabelas 2 e 3 estão apresentados os parâmetros de determinação de classe e de tipificação de trigo do Grupo II, de acordo com a IN MAPA N°38/2010.

Tabela 2 – Classes do trigo do Grupo II destinado à moagem e outras finalidades

Classes	Força do Glúten Valor mínimo expresso em 10-4J)	Estabilidade (tempo expresso em minutos)	Número de queda (Valor mínimo expresso em segundos)
Melhorador	300	14	250
Pão	220	10	220
Doméstico	160	6	220
Básico	100	3	200
Outros Usos	Qualquer	Qualquer	Qualquer

Fonte: MAPA IN 38/2010

Tabela 3 – Tipos do trigo do Grupo II destinado à moagem e a outras finalidades

Tipos	Peso do Hectolitro (Valor mínimo)	Matérias Estranhas e Impurezas (% máximo)	Defeitos (% máximo)			Total de Defeitos (% máximo)
			Danificados por Insetos	Danificados pelo Calor, mofados e ardidos	Chochos, Triguilhos e Quebrados	
1	78	1,00	0,50	0,50	1,50	2,00
2	75	1,50	1,00	1,00	2,50	3,50
3	72	2,00	2,00	2,00	5,00	7,00
Fora de tipo	Menor que 72	Maior que 2,00	Maior que 2,00	10,00	Maior que 5,00	Maior que 7,00

Fonte: MAPA IN 38/2010

3.4. Principais Atributos de Qualidade dos Grãos de Trigo

3.4.1. Incidência de Defeitos

Os defeitos dos grãos de trigo colhidos permitem avaliar a qualidade da safra e determinar seu uso em função das necessidades de cada cadeia alimentar associada. No Brasil, a classificação do trigo é regulamentada pela IN MAPA 38/2010 (BRASIL 2010), permitindo identificar fornecedores de matéria-prima aqueles que atendem às exigências do mercado. Isto garante que o produto adquirido seja realmente o ofertado e possibilita o reconhecimento do produto de melhor qualidade.

Estas normativas determinam os defeitos, regras e limites de enquadramento do trigo que será comercializado, o classifica na aptidão de uso e aplica-se os

descontos para os itens que ultrapassarem os limites estabelecidos no momento da comercialização. De acordo com BRASIL (2010), os principais defeitos, são:

- Grãos danificados por insetos: os grãos inteiros ou pedaços de grãos que apresentam danos resultantes da ação de insetos ou outras pragas, em qualquer uma das suas fases evolutivas;
- Grãos ardidos, danificados pelo calor ou queimados: os grãos inteiros ou pedaços de grãos que apresentam alteração na coloração original, caracterizada pelo escurecimento total ou parcial do endosperma, causado pela ação de processos fermentativos ou devido à ação de elevada temperatura na secagem;
- Grãos chochos, triguilhos e quebrados: os grãos inteiros ou pedaços de grãos que vazarem através da peneira de crivos oblongos de 1,75 mm x 20,00 mm (um vírgula setenta e cinco milímetros por vinte milímetros) e chapa de espessura de 0,72 mm (zero vírgula setenta e dois milímetros).

3.4.2. Peso Hectolítrico (P.H.)

O peso hectolítrico é uma medida utilizada na indústria de trigo para avaliar a densidade dos grãos, expressa em quilogramas por hectolitro (kg/hl). É considerado um indicador da qualidade do trigo e desempenha um papel significativo na produção de farinhas, segundo o Regulamento Técnico do Trigo (BRASIL, 2010) alterado pela Instrução Normativa nº 23, de 1º de julho de 2016, do Mapa (BRASIL, 2016).

O peso hectolítrico adequado para grãos de trigo destinados à produção de farinhas varia dependendo de fatores como a região e a finalidade do trigo. No entanto, geralmente é considerado que um peso hectolítrico na faixa de 72 a 80 kg/hl é adequado para obter farinhas de qualidade.

O peso hectolítrico influencia a produção de farinhas de várias maneiras, com implicações importantes para o rendimento da moagem, qualidade da farinha e processamento industrial. Grãos com peso hectolítrico mais alto tendem a ter uma menor proporção de impurezas, cascas e grãos quebrados, resultando em um rendimento de moagem mais elevado, ou seja, uma maior quantidade de farinha de qualidade obtida a partir de uma determinada quantidade de grãos.

Além disso, o peso hectolítrico está associado à qualidade da farinha produzida. Grãos com peso hectolítrico mais alto geralmente apresentam um maior teor de proteína e melhor poder de absorção de água, características fundamentais para a

qualidade da farinha e para a produção de produtos de panificação com boa estrutura e textura. De acordo com Franceschi et al. (2009), a redução do peso do hectolitro pode ser resultante da alta taxa de respiração, associada aos grãos germinados, que consomem os carboidratos acumulados.

3.4.3. Peso de Mil Grãos (PMG)

O peso de mil grãos é um parâmetro importante para a avaliação da qualidade de grãos armazenados. Ele fornece informações sobre a sanidade, uniformidade, tamanho médio e densidade dos grãos. O peso de mil grãos é usado como indicador da integridade dos grãos, sendo que grãos danificados apresentam pesos mais baixos. Além disso, o peso de mil grãos é utilizado para estimar a uniformidade do tamanho dos grãos, influenciando o processamento e a eficiência operacional. A densidade dos grãos também está relacionada ao peso de mil grãos, afetando o armazenamento, transporte e manuseio dos grãos. O peso de mil grãos desempenha um papel essencial no cálculo de parâmetros e estimativas de qualidade dos grãos, conforme as Regras de Análise de Semente (2009).

3.4.4. Condutividade Elétrica

O teste de condutividade elétrica, se mostra uma alternativa interessante na avaliação de vigor, se trata de um teste rápido, objetivo e de fácil condução (Nogueira et al., 2013). O teste consiste na medição da quantidade de solutos lixiviados na solução, ligado diretamente com a integridade da membrana das sementes, ou seja, membranas danificadas ou mal estruturadas tendem a ceder mais lixiviados a solução, obtendo leituras altas no condutivímetro.

3.4.5. Número de Queda (Falling Number)

Mede a atividade amilásica das farinhas, dependendo delas a capacidade fermentativa das massas de panificação. A atividade dessas enzimas num trigo é variável, influenciada pelas condições no momento da colheita. Clima úmido e quente faz com que a atividade das enzimas aumente, liquefazendo as massas, provocando pães de miolo pegajoso. Por esse medido, de acordo com o tempo em segundos, tem-se uma ideia da atividade enzimática. (OTA et. al, 2018).

Na indústria moageira de trigo, a facilidade de resolução de diferentes situações depende da atividade enzimática presente nos grãos. Um trigo com atividade enzimática altíssima, evidenciada por um número de queda de 50 segundos, pode representar um desafio para a produção de farinha de qualidade. Nesse caso, as enzimas podem impactar negativamente a estabilidade da massa e a qualidade da farinha. No entanto, ajustes nos processos de moagem, como controle de umidade e aditivos, podem ajudar a minimizar os efeitos negativos. Por outro lado, um trigo com atividade enzimática muito baixa, acima de 450 segundos, indica um amadurecimento inadequado dos grãos, o que pode resultar em problemas na extração da farinha e qualidade do glúten. Segundo Gutkoski et al. (2015), valores altos de número de queda indicam que há menor atividade de enzimas amilolíticas nas farinhas de trigo, tanto o excesso quanto a escassez de enzimas, neste caso α -amilase, pode interferir significativamente no processo de panificação, alterando as propriedades tecnológicas desses produtos.

3.5. Armazenamento

O armazenamento de grãos é uma atividade importante para garantir o abastecimento de alimentos em períodos de escassez. No entanto, o armazenamento inadequado pode levar a perdas de qualidade e de quantidade, causando prejuízos aos produtores e consumidores (MENEGHETTI, 2019). Para garantir a qualidade dos grãos após a colheita, é importante adotar boas práticas de armazenamento. Segundo Elias et al. (2021), essas práticas incluem a escolha adequada do local de armazenamento, a limpeza e desinfecção dos equipamentos, o controle da temperatura e umidade, e a adoção de medidas de segurança contra pragas e doenças.

De acordo com Gómez et al. (2018), a pós-colheita de grãos é um processo crítico na cadeia de produção de alimentos, que envolve a colheita, secagem, limpeza, armazenamento e transporte. Durante esse processo, os grãos estão expostos a diversas condições ambientais, que podem afetar sua qualidade e segurança alimentar.

Van der Werf et al. (2019) destacam a importância da ventilação no armazenamento de grãos, permite a remoção de calor e umidade do ambiente, reduzindo as condições favoráveis para a proliferação de fungos e bactérias. Além

disso, a ventilação também contribui para a manutenção da qualidade dos grãos, evitando o acúmulo de gases tóxicos e o desenvolvimento de odores indesejáveis.

No entanto, mesmo com a adoção de boas práticas de armazenamento, é possível que ocorram perdas de grãos devido a fatores como infestação por pragas, deterioração microbiológica e umidade excessiva. Segundo Wang et al. (2021), o uso de tecnologias de monitoramento e controle pode ajudar a minimizar essas perdas, permitindo a identificação precoce de problemas e a tomada de medidas corretivas.

Outra estratégia importante para garantir a qualidade dos grãos após a colheita é a seleção de variedades com características adequadas para o armazenamento. Segundo Tashiro et al. (2019), algumas variedades de grãos apresentam maior resistência a fatores como danos mecânicos, infestação por pragas e deterioração microbiológica, o que pode contribuir para a redução das perdas durante o armazenamento.

Meneghetti et al. (2021) reportam importante estudo realizado in loco, na região sul do Brasil, sobre avaliação e manejo de perdas de trigo durante o armazenamento, demonstrando a necessidade aprofundamento de estudos sobre o tema.

O sistema semi-hermético, próprio de silos e armazéns graneleiros, é o mais utilizado para grãos no Brasil (ELIAS, 2009).

4. Material e Métodos

4.1. Material Experimental

Foram utilizados grãos de trigo produzidos na lavoura experimental do Centro Agropecuário da Palma – UFPEL, localizada no município do Capão do Leão, Rio Grande do Sul (Latitude: 31° 46' 3" Sul; Longitude: 52° 26' 55" Oeste; Altitude 15 metros) de acordo com as recomendações técnicas

A cultivar escolhida foi a TBIO Ello, recomendada para regiões de clima temperado, especialmente para o cultivo no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, apresenta características agrônômicas favoráveis, como boa sanidade foliar, alta produtividade e qualidade industrial. Classificado pelo detentor do genótipo como “Pão”, coloração vermelha dureza do grão como “semi-duro” e boa estabilidade de PH.

A colheita foi realizada por colhedeira automática, quando os grãos tinham umidade próxima a 20%. Estes grãos foram limpos, secos e armazenados, em sistema semi-hermético controlado, no Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos da FAEM.

Após a colheita, o experimento foi desenvolvido nas dependências do Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos, do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial (DCTA), na Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL).

4.2. Pré-limpeza, Secagem e Armazenamento das Amostras

Os grãos foram submetidos à operação de pré-limpeza com auxílio de máquina de peneiras, escala piloto laboratorial, imediatamente antes de cada secagem. A secagem foi realizada em secadores de coluna e de bandeja com fluxo de ar contínuo com temperatura a 40°C até atingir a umidade de armazenamento recomendada para a cultura de 13%.

Após os processos de limpeza e secagem, os grãos foram homogeneizados e caracterizados de acordo com a composição proximal e o índice de defeitos. Posteriormente, amostras de 1 Kg cada, foram acondicionados em embalagens de polietileno de 200µm de espessura. As embalagens foram seladas e armazenadas separadamente em três câmaras com controle de temperatura. Cada câmara operou

com uma temperatura de armazenamento (16, 22 e 28°C) e as avaliações foram feitas no início e bimestralmente dos dois aos doze meses de armazenamento.

Para simular o sistema semi - hermético de armazenamento, típico de silos e de armazéns graneleiros, as embalagens contendo os tratamentos foram mensalmente abertas para a renovação do ar intergranular, atenuando os efeitos da hermeticidade, modificadora da atmosfera pelo processo de respiração dos grãos.

4.3. Delineamento Experimental

No experimento foram estudados efeitos da temperatura de armazenamento (16 ± 2 , 22 ± 2 , 28 ± 2) durante 12 meses de armazenamento (0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 meses) em arranjo fatorial 3 x 7, com avaliações das características físicas, químicas e físico-químicas, incluindo umidade, composição proximal (proteína bruta, lipídeos, fibra bruta, cinzas totais e amido), incidência de defeitos, peso hectolítrico, peso de mil grãos, perfil colorimétrico, número de queda (falling number), perfil de glúten e perfil alveográfico.

4.4. Composição Proximal

Os teores de proteína, lipídeos, fibras, cinzas e amido foram determinados através de espectrometria de infravermelho próximo – NIRS. Os grãos foram analisados em espectrômetro (NIRS™ DS2500, FOSS, Dinamarca), com leituras na faixa de 400 a 2500nm, utilizando curva de calibração específica do próprio aparelho, para trigo em grãos. Os resultados foram expressos em percentagem, após serem realizadas as leituras em triplicata.

4.5. Grau de Umidade

As análises de umidade foram determinadas em estufa com circulação natural de ar, por 24 horas, em temperatura de $105\pm 3^\circ\text{C}$, com amostras de 5g, de acordo com as normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz (1985). Os resultados das análises realizadas em triplicata foram expressos em porcentagem de umidade em base úmida.

4.6. Incidência de Defeitos

Os procedimentos técnicos para a análise de defeitos seguiram as normas da IN MAPA 38/2010, com a obtenção de uma amostra de, no mínimo, 250 g (duzentas e cinquenta gramas) para a determinação das matérias estranhas e impurezas, grãos danificados por insetos, grãos danificados pelo calor, mofados e ardidos, grãos chochos, triguilhos e grãos quebrados.

4.7. Peso Hectolítrico

O peso do hectolitro dos grãos foi determinado utilizando balança específica para peso hectolítrico, seguindo as instruções do equipamento (Balanças Dalle Molle Ltda), de acordo com a metodologia descrita pelo método oficial de análise de sementes (ISTA, 2008). Os resultados foram expressos em kg/hL, em base seca(b.s.)

4.8. Peso de Mil Grãos

O peso de mil grãos foi determinado de acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), sendo as amostras separadas em lote de 100 grãos, com uso de contador eletrônico de modelo ESC 2011, em contagens de 10 repetições por amostra e pesagem em balança de precisão (0,01g).

4.9. Perfil Colorimétrico

O perfil colorimétrico dos grãos foi determinado em cada período de armazenamento, utilizando um calorímetro Minolta (modelo CR-400) que indica as cores em um sistema tridimensional (Figura 4) conhecido como CIE LAB(L*a*b*). No espaço de cores L*, a* e b*, o L* indica a luminosidade que varia do branco ao preto, enquanto que o a* e o b*, representam as coordenadas cromáticas que indica coloração do verde (-a) ao vermelho (+a), e b*, do amarelo (-b) ao azul (+b).

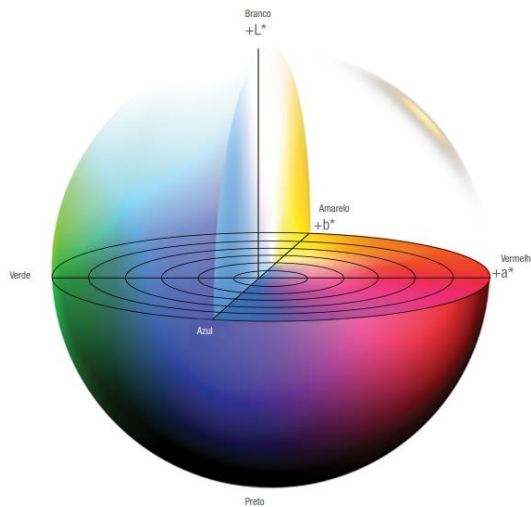


Figura 3 – Sistema tridimensional de cores, CIE LAB(L*a*b*)

Fonte: KONIKA Minolta

4.10. Condutividade Elétrica dos Grãos

A condutividade elétrica da solução contendo grãos de trigo foi realizada conforme Vieira et al. (2001). Os testes foram conduzidos em três repetições, com 50 grãos para cada tratamento a cada dois meses de armazenagem. Os grãos foram pesados e colocados em copos plásticos de 200mL, aos quais foram adicionados 75mL de água deionizada. Em seguida, os copos foram colocados em câmara climática, em temperatura de 25°C, durante 24 horas. Os copos foram retirados da câmara para medições da condutividade elétrica do extrato obtido da infusão dos grãos. As leituras foram realizadas em medidor de condutividade elétrica (modelo Tec-4MP, Tecnal, Brasil), com ajuste para compensação de temperatura e eletrodo, com constante da célula de $1,0 \mu\text{S cm}^{-1}$, calibrado com solução-padrão de cloreto de sódio de condutividade elétrica conhecida, em temperatura de 25°C. O valor da condutividade elétrica fornecido pelo aparelho foi dividido pela massa de matéria seca dos grãos, obtendo-se valor expresso em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ de matéria seca.

4.11. Número de Queda

Determinado com uso do aparelho Falling Number (Mod. 1200 Fungal, Perten Instruments, Swis) de acordo com o método 56-81B da AACC (2000), utilizando 7 g

de amostra, corrigida para 14% de teor de água (b.u.). Os resultados expressos em segundos.

4.12. Perfil de Glúten

A determinação do teor de glúten foi realizada pelo método manual conforme EMBRAPA-CNPSO. n°60 (1993), utilizando 20g de farinha de trigo em um copo becker de 100 ml, adicionado a 10 ml de cloreto de sódio a 5%. Após repouso de 30 minutos, a massa foi lavada a sob peneira de malha 200 mesh e amassada até a extração total do glúten. Para determinação das percentagens do glúten úmido e glúten seco foram empregadas as equações 1 e 2, respectivamente.

$$\% \text{GLÚTEN ÚMIDO} = \frac{\text{PGU} \times 100}{P} \quad (1)$$

Onde:

P = peso da amostra

PGU = peso do glúten úmido

$$\% \text{GLÚTEN SECO} = \frac{\text{PGS} \times 100}{P} \quad (2)$$

Onde:

P = peso da amostra

PGS = peso do glúten seco

4.13. Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Test t de Student foi utilizado para comparar as médias dos períodos do início e final de armazenamento nas variáveis de alveografia e glúten. Regressões, correlações e análise de componentes principais foram feitas para avaliar relações entre as variáveis de estudo. Foram utilizados softwares Sigmaplot e R Studio.

5. Resultados e Discussões

5.1. Teor de Água dos Grãos de Trigo

As variações no teor de água dos grãos armazenados em três temperaturas diferentes por 12 meses estão presentes na figura 5.

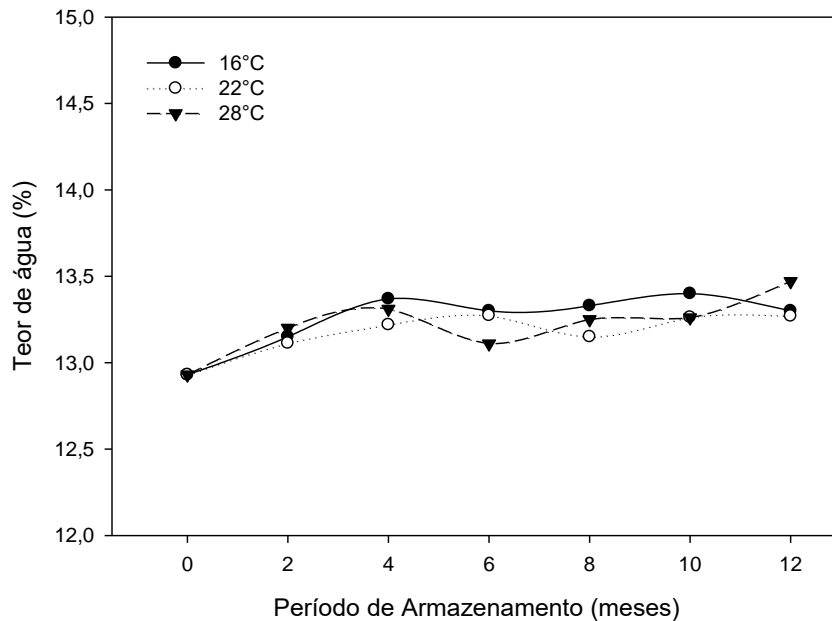


Figura 4 – Teor de água dos grãos de trigo (%,) submetidos a diferentes temperaturas e períodos de armazenamento

Os dados constantes da Figura 5 mostram que os grãos de trigo em todas as temperaturas tiveram um aumento no seu teor de água durante o armazenamento até o 4º mês, com uma variação de 0,4%. Os grãos armazenados a 22°C mantiveram a umidade até aos 6 meses. Aos 8 meses, houve perdas, e, posteriormente permaneceu constante até os 12 meses. Os grãos armazenados a 16°C e a 28°C mantiveram o teor estável até o fim do período analisado. Os valores médios variaram entre 12,93 e 13,47%, b.u.

Devido a característica de higroscopicidade, os grãos possuem a capacidade de ceder ou adsorver água do ambiente, tendendo a manter uma relação de equilíbrio com o ar ambiente, ocasionando variações no teor de água durante o armazenamento. As variações de teor de umidade podem ser atribuídas a movimentação das amostras para as análises aliado ao comportamento normal de higroscopicidade no qual o grão tende a entrar em equilíbrio com o ambiente, porém não ultrapassou o limite máximo para a cultura estipulado pela IN MAPA 38/2009 de

13%. O teor de água permitido nos grãos para armazenamento depende da espécie e do período em que os grãos serão armazenados. Dentre as perdas observadas durante o armazenamento, as quantitativas são representadas pelo excesso de água dos grãos, ocasionadas pelo processo de respiração dos grãos e a tendência de equilíbrio higroscópico, respectivamente causando deterioração. (ZIEGLER, V. et. al. 2021).

5.2. Composição Proximal dos Grãos de Trigo

Na Tabela 4 aparecem os resultados percentuais de proteína, lipídeos, fibras e cinzas ou material mineral, analisados pelo NIRS (espectrometria de infravermelho próximo), enquanto na Tabela 5 aparecem os resultados do teor de amido dos grãos de trigo, obtidos por análise proximal.

Tabela 4 – Teor de proteína (%), lipídios (%), fibras (%) e cinzas (%) conforme efeito de interação temperatura e período de armazenamento.

Período de armazenamento (meses)	Temperatura de armazenamento (°C)					
	16	22	28	16	22	28
	Proteínas (%)			Lipídios (%)		
Inicial	11,96 ± 0,24	11,96 ± 0,24	11,96 ± 0,24	1,32 ± 0,10	1,32 ± 0,10	1,32 ± 0,10
2	11,98 ± 0,17	12,13 ± 0,31	12,31 ± 0,38	1,65 ± 0,05	1,70 ± 0,03	1,56 ± 0,10
4	11,95 ± 0,44	12,30 ± 0,22	11,95 ± 0,48	1,51 ± 0,03	1,56 ± 0,06	1,51 ± 0,06
6	11,28 ± 0,38	11,82 ± 0,55	11,89 ± 0,47	1,60 ± 0,02	1,57 ± 0,17	1,54 ± 0,09
8	11,50 ± 0,25	11,78 ± 0,03	11,70 ± 0,25	1,72 ± 0,08	1,71 ± 0,12	1,58 ± 0,05
10	11,77 ± 0,30	11,84 ± 0,42	11,58 ± 0,42	1,51 ± 0,01	1,55 ± 0,02	1,63 ± 0,09
12	11,38 ± 0,05	11,77 ± 0,21	11,92 ± 0,15	1,48 ± 0,10	1,54 ± 0,08	1,65 ± 0,10
CV%	2,75			5,35		
	Fibras (%)			Cinzas (%)		
Inicial	2,38 ± 0,10	2,38 ± 0,10	2,38 ± 0,10	1,43 ± 0,03	1,43 ± 0,03	1,43 ± 0,03
2	2,80 ± 0,01	2,72 ± 0,08	2,53 ± 0,09	1,50 ± 0,03	1,5 ± 0,03	1,45 ± 0,02
4	2,35 ± 0,09	2,53 ± 0,07	2,35 ± 0,10	1,47 ± 0,03	1,47 ± 0,05	1,48 ± 0,02
6	2,56 ± 0,11	2,59 ± 0,26	2,30 ± 0,060	1,44 ± 0,04	1,45 ± 0,01	1,46 ± 0,01
8	2,30 ± 0,01	2,27 ± 0,01	2,34 ± 0,10	1,46 ± 0,03	1,48 ± 0,03	1,45 ± 0,02
10	2,54 ± 0,10	2,59 ± 0,12	2,44 ± 0,04	1,43 ± 0,03	1,47 ± 0,04	1,41 ± 0,04
12	2,32 ± 0,05	2,38 ± 0,06	2,57 ± 0,24	1,43 ± 0,03	1,44 ± 0,04	1,45 ± 0,04
CV%	4,37			2,13		

CV% – Coeficiente de variação. Médias na mesma coluna seguidas de letras minúsculas e linhas seguidas de letras maiúsculas distintas, diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 5 – Teor de amido (%), em grãos de trigo armazenados por 12 meses em três diferentes temperaturas.

Período de armazenamento (meses)	Temperatura de armazenamento (°C)		
	16	22	28
	Amido (%)		
Inicial	58,42 ± 0,11 c A	58,42 ± 0,11 b A	58,42 ± 0,11 b A
2	59,80 ± 0,37 ab A	60,39 ± 0,18 a A	60,52 ± 0,41 a A
4	59,61 ± 0,86 ab A	59,97 ± 0,31 a A	60,51 ± 0,36 a A
6	59,94 ± 0,37 a A	60,43 ± 0,10 a A	60,43 ± 0,40 a A
8	58,79 ± 0,99 abc B	60,17 ± 0,20 a A	60,59 ± 0,40 a A
10	59,13 ± 0,64 abc B	60,62 ± 0,72 a A	61,25 ± 0,19 a A
12	58,78 ± 0,52 bc B	60,72 ± 0,42 a A	60,80 ± 0,35 a A
CV%	0,76		

Médias na mesma coluna seguidas de letras minúsculas e linhas seguidas de letras maiúsculas distintas diferem pelo teste de Tukey a 5%.

A partir da Tabela 4, é possível verificar que os teores de proteínas das amostras armazenadas a 16°C, 22°C e 28°C se mantiveram próximos a 12% ao longo de 12 meses, não diferindo estatisticamente entre si. O mesmo comportamento foi observado para lipídeos, fibras e cinzas ou conteúdo mineral.

Worku, Kalsa, Abera, & Nigus (2019), trabalhando com armazenamento hermético em sacos de polipropileno, verificou que a composição química do trigo foi afetada pelas condições de armazenamento. Os estudos constataram que o teor de proteínas diminuiu à medida que o período de armazenamento aumentou.

Na Tabela 4 aparece também o teor de lipídeos para grãos de trigo armazenados em diferentes temperaturas, ao longo de 12 meses de armazenamento. As amostras não sofreram influência significativa pelo efeito interação entre os fatores, podendo ser observado o declínio a partir do quarto mês. Segundo Melese et. al. (2022) o teor de gordura é um fator significativo na avaliação da qualidade e adequação do trigo para diversos produtos, podendo variar em função das condições e tempo de armazenamento dos grãos, devido aos materiais e tempos de armazenamento, o que não foi constatado no presente estudo.

Para o teor de fibras (Tabela 4), o comportamento está de acordo com os relatos de Adejumbo (2013), segundo o qual o teor de fibra do trigo não é afetado pelo período de armazenamento.

Na Tabela 5, constatou-se que o teor de amido do trigo foi significativamente influenciado ($P \leq 0,05$) pelo efeito de interação entre as temperaturas e o período de

armazenamento. Embora tenha havido um aparente aumento no teor de amido em todas as amostras armazenadas por 12 meses, esse aumento não foi estatisticamente significativo. As temperaturas de 22°C e 28°C apresentaram as maiores médias da interação. Esse resultado é consistente com o encontrado por Tsado et al. (2015), que relataram efeito significativo do período de armazenamento no teor de carboidratos em amostras de arroz.

5.3. Incidência de Defeitos

Nas Tabelas 6, 7, 8 e 9 aparecem os dados relativos à incidência de defeitos, analisada pelos referenciais da IN MAPA 38/2010 de acordo com os parâmetros de análises estabelecidos pelo Art. 2º e seus limites em (%), verificados em amostras de trigo armazenados em três temperaturas por 12 meses.

Tabela 6 – Teor de danificado por calor, mofados e ardidos (%) em grãos de trigo armazenados por 12 meses em três diferentes temperaturas.

Período de armazenamento (meses)	Temperatura de armazenamento (°C)		
	16	22	28
Inicial	0,1 e A	0,1 e A	0,1 e A
2	0,1 e A	0,1 e A	0,1 e A
4	0,3 b B	0,3 d C	0,5 d A
6	0,0 f C	0,3 d B	0,7 c A
8	0,2 d C	0,3 c B	1,2 a A
10	0,2 c C	0,6 b B	1,2 a A
12	0,4 a C	0,9 a B	1,2 b A
CV%	2,42		

CV% – Coeficiente de variação. Médias na mesma coluna seguidas de letras minúsculas e linhas seguidas de letras maiúsculas distintas diferem pelo teste de Tukey a 5%.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 6, o teor de danificado por calor, mofados e ardidos permaneceram estáveis, independentemente da temperatura nos primeiros meses. Por se tratar de um defeito metabólico do grão, observa-se aumento desses índices no decorrer do armazenamento. A partir do quarto mês, os grãos armazenados em temperaturas mais elevadas (28°C) começaram a ter um comportamento diferente dos meses anteriores, acompanhando o mesmo comportamento os grãos armazenados em temperaturas 16°C e 22°C.

Tabela 7 – Danificado por insetos (%) em grãos de trigo armazenados por 12 meses em três diferentes temperaturas.

Período de armazenamento (meses)	Temperatura de armazenamento (°C)		
	16	22	28
Inicial	0,02 b A	0,02 b A	0,02 c A
2	0,02 b A	0,02 b A	0,02 c A
4	0,03 b B	0,03 b B	0,08 b A
6	0,02 b B	0,02 b B	0,04 c A
8	0,02 b B	0,02 b B	0,04 c A
10	0,02 b C	0,02 b C	0,09 b A
12	0,06 a B	0,06 a B	0,12 a A
CV%	22,18		

CV% – Coeficiente de variação. Médias na mesma coluna seguidas de letras minúsculas e linhas seguidas de letras maiúsculas distintas diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Na Tabela 7 estão apresentadas as porcentagens do defeito danificado por insetos, dado importante para classificar o grão de trigo em tipos. Verifica-se que até o segundo mês de armazenamento não houve variação da quantidade defeitos para nenhuma temperatura. O teste de médias mostrou que houve interação significativa para os fatores estudados, com o aumento da quantidade de grãos danificado por insetos a partir do quarto mês. Os insetos que atacam grãos armazenados se caracterizam por elevada capacidade reprodutiva e número elevado de gerações em curto período de tempo (LORINI, 2018). Porém as técnicas de pré-armazenamento garantiram a baixa infestação e preservou os grãos por pelo menos 12 meses.

Na Tabela 8 aparecem os percentuais de grãos chochos, triguilhos e quebrados. São defeitos não metabólicos, oriundos de condição adversa ou por danos mecânicos.

Tabela 8 – Chochos, triguilhos e quebrados (%) em grãos de trigo armazenados por 12 meses em três diferentes temperaturas.

Período de armazenamento (meses)	Temperatura de armazenamento (°C)		
	16	22	28
Inicial	0,05 a A	0,05 b A	0,05 b A
2	0,05 a A	0,05 b A	0,05 b A
4	0,06 a A	0,02 c B	0,06 b A
6	0,06 a A	0,02 c B	0,02 c B
8	0,05 a A	0,05 b A	0,05 b A
10	0,04 a A	0,04 bc A	0,04 bc A
12	0,06 a B	0,08 a A	0,09 a A
CV%	18,73		

CV% – Coeficiente de variação. Médias na mesma coluna seguidas de letras minúsculas e linhas seguidas de letras maiúsculas distintas diferem pelo teste de Tukey a 5%.

A temperatura de 16°C permitiu manter estáveis os níveis do defeito durante todo armazenamento, condição demonstrada pela análise ANOVA. O teste comprovou que houve interação dos fatores, podendo-se constatar que as temperaturas 22°C e 28°C tiveram variações a partir do quarto mês de armazenamento.

Tabela 9 – Total de defeitos (%) em grãos de trigo armazenados por 12 meses em três diferentes temperaturas.

Período de armazenamento (meses)	Temperatura de armazenamento (°C)		
	16	22	28
Inicial	0,17 cd A	0,17 d A	0,17 e A
2	0,17 cd A	0,17 d A	0,22 e A
4	0,42 a B	0,33 c C	0,63 d A
6	0,11 d C	0,34 c B	0,76 c A
8	0,21 bc C	0,40 c B	1,29 b A
10	0,26 b C	0,67 b B	1,32 ab A
12	0,47 a C	1,01 a B	1,39 a A
CV%	0,54		

CV% – Coeficiente de variação. Médias na mesma coluna seguidas de letras minúsculas e linhas seguidas de letras maiúsculas distintas diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Os totais dos defeitos apresentados na Tabela 9 representa a soma dos defeitos danificado por calor, mofados e ardidos, danificados por insetos, chochos, triguilhos e quebrados. A temperatura de 28°C teve os maiores valores somados de defeitos ao final do período de armazenamento. Os totais dos defeitos é condição para classificação do trigo em tipos, valores acima de 7% do total classifica o grão em fora de tipo (BRASIL, 2010).

5.4. Peso Hectolítrico

Na Tabela 10 aparecem os resultados do peso hectolítrico de grãos de trigo armazenados em diferentes temperaturas durante 12 meses de armazenamento.

Tabela 10 – Peso hectolítrico (kg/hL) em grãos de trigo armazenados por 12 meses em três diferentes temperaturas.

Período de armazenamento (meses)	Temperatura de armazenamento (°C)		
	16	22	28
Inicial	79,52 b A	79,52 a A	79,95 d A
2	79,39 b B	79,40 ab B	80,04 cd A
4	79,64 b AB	79,30 ab B	79,91 cd A
6	79,66 b B	78,77 bc B	80,24 bc A
8	80,18 a A	78,49 c B	81,15 a A
10	79,52 b B	78,40 c C	80,19 bcd A
12	79,91 b B	78,40 c C	80,74 ab A
CV%	0,34		

CV% – Coeficiente de variação. Médias na mesma coluna seguidas de letras minúsculas e linhas seguidas de letras maiúsculas distintas diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Os resultados mostram que houve mudanças significativa na massa específica aparente dos grãos de trigo armazenados devido à interação entre temperatura e tempo de armazenamento, com 5 % de probabilidade. O peso hectolítrico das amostras de grãos de trigo no início do armazenamento era de 79,76 Kg/hL. O valor de peso hectolítrico nas amostras armazenadas a 16°C tiveram aumento constantes no decorrer do período de armazenamento havendo uma mudança significativa no oitavo mês, já para as temperaturas de 22°C o valor do peso hectolítrico teve um decréscimo significativo ($p < 0,05$) em relação aos demais, influenciado pelos fatores teor de água e peso de mil, provocando um comportamento atípico aos demais grãos armazenados. Nas amostras armazenadas a 28°C, as mudanças significativas começam a ser percebidas logo no segundo mês de armazenamento, com variação de 78,91 a 81,15 kg/hL.

Esse comportamento foi atribuído principalmente ao aumento do volume, que foi maior que o aumento na massa dos grãos, podendo ser responsável pela diminuição do peso do hectolitro. Os resultados estão de acordo com as observações de Pohndorf *et al.*, 2018, segundo os quais a massa específica aparente é um indicador da qualidade do grão e é utilizada como uma medida aproximada do rendimento esperado de farinha na moagem.

5.5. Peso de mil grãos

Na Tabela 11 são apresentados os resultados do peso de mil grãos em trigo armazenado em três temperaturas durante 12 meses.

Tabela 11 – Peso de mil grãos (g) em grãos de trigo armazenados por 12 meses em três diferentes temperaturas.

Período de armazenamento (meses)	Temperatura de armazenamento (°C)		
	16	22	28
Inicial	33,0 a A	33,0 ab A	33,0 a A
2	33,2 a A	33,0 ab A	32,7 ab A
4	33,7 a A	32,9 ab B	32,6 ab B
6	33,2 a A	33,5 ab A	33,5 a A
8	33,3 a A	33,1 ab A	32,9 a A
10	33,1 a A	32,7 b B	31,8 b C
12	33,2 a AB	33,7 a A	32,9 a B
CV (%)	1,09		

CV% – Coeficiente de variação. Médias na mesma coluna seguidas de letras minúsculas e linhas seguidas de letras maiúsculas distintas, diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Observando-se os dados da Tabela 11, verifica-se que tanto o tempo quanto a temperatura de armazenamento provocaram alterações no peso de mil grãos. Os maiores pesos de mil grãos ocorreram na temperatura de 16°C, demonstrando ser essa a temperatura que melhor preservou a massa dos grãos. Armazenamentos a 22 e 28°C provocaram alterações significativas ($P < 0,5$) já no quarto mês de armazenamento, registrando-se a maior perda de peso no armazenamento a 28°C, aos dez meses.

Os resultados da tabela 11 estão de acordo com a literatura especializada (RUTZ, 2012; MENEGHETTI et al., 2020). Trabalhando com cevada, Rahouma et al. (2021) relataram diminuições significativas no peso de mil grãos com o aumento do armazenamento, para condições semelhantes.

5.6. Perfil Colorimétrico

As mudanças nos parâmetros de cor CEILAB (L^* , a^* , b^*) para grãos de trigo armazenados por 12 meses em três diferentes temperaturas são mostradas na tabela 12, enquanto na Tabela 13 estão os valores de valores ΔE (índice diferença de cor).

Tabela 12 – Coordenadas cromatográficas sistema CIELAB (L*a*b*) em grãos de trigo armazenados por 12 meses em três diferentes temperaturas

Período de Armazenamento (meses)	Temperatura de armazenamento (°C)		
	16	22	28
L*			
Inicial	47,45 ± 2,58	47,44 ± 1,86	47,45 ± 1,81
2	48,45 ± 2,12	45,05 ± 0,56	48,40 ± 1,34
4	52,97 ± 1,89	53,23 ± 0,49	54,52 ± 6,62
6	52,97 ± 1,94	53,23 ± 0,67	54,52 ± 1,55
8	53,44 ± 2,66	52,79 ± 0,43	51,78 ± 1,58
10	53,44 ± 1,72	52,79 ± 0,76	51,78 ± 2,34
12	55,39 ± 3,13	55,40 ± 0,33	54,71 ± 1,44
a*			
Inicial	4,74 ± 0,54	4,74 ± 0,31	4,74 ± 0,58
2	4,74 ± 1,78	5,90 ± 0,55	5,90 ± 0,65
4	5,71 ± 2,19	6,03 ± 0,46	5,94 ± 1,33
6	5,71 ± 1,24	6,03 ± 0,56	5,94 ± 1,03
8	7,06 ± 2,28	6,93 ± 0,61	6,22 ± 0,93
10	7,07 ± 1,23	6,93 ± 0,63	6,22 ± 1,32
12	7,59 ± 1,53	7,54 ± 0,58	7,62 ± 2,38
b*			
Inicial	20,58 ± 1,34	20,58 ± 1,26	20,58 ± 1,55
2	20,58 ± 1,56	22,58 ± 1,55	22,58 ± 1,23
4	20,76 ± 3,41	24,34 ± 0,56	23,68 ± 1,15
6	20,76 ± 1,45	24,34 ± 1,34	23,68 ± 1,87
8	24,01 ± 1,50	23,84 ± 0,33	24,27 ± 1,08
10	25,68 ± 1,76	24,78 ± 0,45	23,53 ± 1,34
12	25,68 ± 1,54	24,78 ± 0,66	23,53 ± 2,15

Médias aritméticas simples ± desvio padrão de dez repetições.

O valor de L* correspondente à luminosidade, com valores variando de L* = 0 para mais escuro e L* = 100 para mais claro. O menor valor registrado foi 47,44 e o maior 55,40, houve aumento no valor de L* durante todo o período de armazenamento independente da temperatura. O aumento da luminosidade é percebido a partir do segundo mês e é indicativo da presença do efeito da giberela, caracterizado pela presença de grãos embranquecidos e perda de massa (SMITH G. NKHATA, 2020).

As coordenadas a* e b* acompanharam o mesmo comportamento ascendente da coordenada L*, independente das temperaturas e do período de armazenamento. Os valores de a* e b* variaram respectivamente de 7,07 a 4,74 e 24,27 a 20,58 (tabela 12) também ocorreram o aumento de valor logo após o segundo mês de armazenamento. A combinação de cor aos 2 meses de armazenamento deu aos

grãos uma tonalidade de vermelho escurecido, o que indica processos de degradação fermentativa.

Tabela 13 – Valores ΔE (índice diferença de cor) em grãos de trigo armazenados por 12 meses em três diferentes temperaturas

Período de Armazenamento (meses)	Temperatura de armazenamento (°C)		
	16	22	28
Inicial	0,00	0,00	0,00
2	1,00	3,33	2,07
4	5,61	7,02	7,82
6	5,61	7,02	7,82
8	7,28	6,63	5,89
10	8,20	7,15	5,45
12	9,86	9,43	8,35

Médias aritméticas simples de dez repetições.

O valor do ΔE (Tabela 13) é o índice responsável da perceptibilidade da diferença entre cores. Quanto maior for o valor, mais perceptível será a diferença, enquadrada como óbvia (CIELAB 1976). A temperatura de 16°C conservou a cor inicial dos grãos por mais tempo, com $\Delta E = 1$, no segundo mês (diferença muito pequena, apenas perceptível para um olho treinado), apenas chegando ao valor do patamar máximo da escala ($\Delta > 6$) no oitavo mês. A temperatura 22°C registou no segundo mês um $\Delta E = 3$ equivalentes a (diferença média), porém atingiu a escala máxima no quarto mês de armazenamento. Já a temperatura de 28°C teve o mesmo comportamento quando comparadas com as temperaturas de 16° e 22°C, porém com uma redução de valores no 8º e 10º mês.

5.7. Condutividade Elétrica

Na Tabela 14 aparecem os valores da condutividade elétrica dos grãos de trigo armazenados em três diferentes temperaturas durante 12 meses de armazenamento.

Tabela 14 – Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$) em grãos de trigo armazenados por 12 meses em três diferentes temperaturas.

Período de armazenamento (meses)	Temperatura de armazenamento ($^{\circ}\text{C}$)		
	16	22	28
Inicial	16,95 c A	16,92 b A	16,95 d A
2	19,76 bc AB	17,06 b B	24,02 d A
4	18,67 c A	19,11 b A	20,47 cd A
6	22,67 abc B	30,12 a A	31,18 b A
8	25,47 ab C	32,63 a B	38,26 a A
10	26,40 a B	30,43 a B	39,81 a A
12	25,47 ab C	32,70 a B	41,42 a A
CV (%)	9,07		

CV% – Coeficiente de variação. Médias na mesma coluna seguidas de letras minúsculas e linhas seguidas de letras maiúsculas distintas, diferem pelo teste de Tukey a 5%.

A análise de condutividade elétrica registrada na Tabela 14 mostra aumento expressivo em função do tempo de armazenamento nas três temperaturas, indicando que houve a ocorrência de deterioração dos grãos pelo aumento da permeabilidade da membrana celular. Os menores valores para esta análise foram encontrados nos tratamentos temperatura de 16°C , percebe-se o fenômeno a partir do quarto mês.

Grãos de trigo mostraram significativo incremento na condutividade elétrica quando armazenados entre 22 e 28°C independente do tempo de armazenamento. Resultados similares são relatados por diferentes pesquisadores, que verificaram que condições severas no armazenamento, ou seja, maiores, temperatura e tempo de armazenamento, refletiram num grande incremento na condutividade elétrica (SCARIOT et al., 2018).

5.8. Número de queda (Falling Number)

Na Tabela 15 estão apresentados os valores dos números de queda (*Falling number*) para farinhas feitas com grãos de trigo armazenados em três diferentes temperaturas durante 12 meses.

Tabela 15 – Número de queda (s) em grãos de trigo armazenados por 12 meses em três diferentes temperaturas.

Período de armazenamento (meses)	Temperatura de armazenamento (°C)					
	16		22		28	
Inicial	227	e A	227	d A	227	d A
2	255	de A	237	d A	281	cd A
4	274	cde A	281	cd A	286	c A
6	302	bcd A	312	c A	326	c A
8	324	bc B	336	bc A	427	b A
10	357	b B	390	b B	470	ab A
12	417	a BA	449	a B	503	a A
CV (%)	6,75					

CV% – Coeficiente de variação. Médias na mesma coluna seguidas de letras minúsculas e linhas seguidas de letras maiúsculas distintas, diferem pelo teste de Tukey a 5%.

As amostras dos grãos nas três temperaturas 16°, 22°, 28°C apresentaram variação significativa quanto ao número de queda em relação ao tempo de armazenamento, valor inicial foi de 227 segundos, número próximo ao indicado pelo detentor do genótipo. Durante os quatro primeiros meses, o número de queda não se alterou significativamente independente da temperatura, porém a partir do sexto mês, os grãos armazenados na temperatura de 28° tiveram queda no valor, proveniente da atividade enzimática, seguido do crescimento até o fim do período de 12 meses. Os valores de número de queda refletem principalmente a atividade da α -amilase na farinha, e há uma correlação negativa entre o FN e a atividade da α -amilase, um comportamento também constatado por Zhuang et.al. (2022)

Para o trigo destinado à moagem e a outras finalidades, o número de queda é um fator importante para enquadramento em classes: “melhorador”, quando o valor do número de queda é maior ou igual a 250 segundos; “pão”, quando entre 220 e 250 segundos; “doméstico”, quando igual a 220 segundos; “básico”, quando entre 200 e 220 segundos; e “outros usos”, quando o valor do número de queda for “qualquer” (IN MAPA 38/2010).

Considerando-se apenas os valores do número de queda, as amostras armazenadas independente das temperaturas, inicialmente foram classificadas como “trigo pão”, ao final do período de 12 meses os valores encontrados acima de 400 segundos reclassificam o trigo para “melhorador”.

5.9. Glúten

A diferença do teor de glúten úmido e glúten seco em porcentagem, extraídos das farinhas de trigo armazenados em três temperaturas diferentes por um período de 12 meses são mostradas na Tabela 16.

Tabela 16 – Teor de glúten úmido (%) e glúten seco (%) das farinhas de trigo armazenados em três temperaturas diferente por 12 meses

Período de armazenamento	Glúten Úmido (%)		
	Temperatura de armazenamento (°C)		
	16	22	28
Inicial	23,60 ± 0,14 aA	23,60 ± 0,14 aA	23,60 ± 0,14 aA
12 meses	21,56 ± 0,20 bA	19,27 ± 0,50 bB	20,47 ± 0,40 bA

Período de armazenamento	Glúten Seco (%)		
	Temperatura de armazenamento (°C)		
	16	22	28
Inicial	9,66 ± 0,02 aA	9,66 ± 0,02 aA	9,66 ± 0,02 aB
12 meses	7,39 ± 0,60 bA	8,54 ± 0,50 bA	7,91 ± 0,37 bA

Médias na mesma coluna seguidas de letras minúsculas e linhas seguidas de letras maiúsculas distintas, diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Observando-se os dados da Tabela 16, constata-se que, independentemente das temperaturas de armazenamento (16°, 22°, 28°C) houve uma redução nos teores de glúten úmido e glúten seco. Para as médias de glúten úmido no decorrer do armazenamento houve diferencia significativa durante o armazenamento pelo teste t de Student a 5%. As amostras armazenadas a 22°C tiveram as maiores diferenças entre si. Os valores variaram entre 19,27 e 23,60%.

Resultados semelhantes para o glúten úmido e glúten seco de trigo armazenado foram relatados por Kibar (2015), que mostrou uma mudança flutuante de glúten úmido com o aumento da duração do armazenamento. O glúten úmido fornece uma medida quantitativa das proteínas formadoras de glúten na farinha, que são as principais responsáveis pela mistura da massa e pelas propriedades de cozimento (KARAOGLU et al., 2010).

5.10. Análise de Componentes Principais

Os três primeiros componentes principais foram responsáveis pela maior parte da variação observada e explicaram cumulativamente 65,50% da variação total registrada entre as variáveis (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**Tabela 17). O primeiro componente teve o autovalor de 2.91 e explicou 29,13% da variação total, com a maior parte da variação sendo atribuída ao amido, número de queda e condutividade elétrica. Assim, os períodos e temperaturas de armazenamento foram mais discriminadas por estas variáveis (Figura 5 e Figura 6). O segundo componente principal foi responsável por 20,59% da variação total e agrupou lipídios, cinzas e fibras. As variáveis que mais contribuíram para o terceiro componente principal foram a umidade, peso de grãos e peso hectolítrico.

Tabela 17 – Análise de componentes principais, mostrando autovalores, rotações e proporção da variação explicada pelos três primeiros componentes principais

Variável	Valores de rotação		
	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Umidade	-0,177	0,006	-0,412
Proteína	-0,242	0,329	0,286
Lipídeos	0,276	0,470	-0,211
Cinzas	-0,198	0,461	-0,038
Amido	0,401	0,342	0,022
Fibras	-0,040	0,487	0,253
Peso de mil grãos	-0,164	0,300	-0,552
Peso hectolitro	0,135	-0,106	-0,575
Falling number	0,534	-0,045	0,041
Condutividade elétrica	0,550	0,023	0,024
Autovalores	2,914	2,056	1,477
Proporção da variação total	29,139	20,594	14,771
Variação cumulativa	29,139	49,733	64,504

A relação entre as variáveis é mostrada nos biplot das Figura 5 e Figura 6, dado que ângulos menores entre vetores dimensionais na mesma direção indicaram alta correlação positiva entre essas variáveis. Um exemplo de tais variáveis, são as cinzas, fibras, proteínas e peso de mil grãos. Por outro lado, o número de queda e peso hectolitro, apresentaram correlações negativas com o teor de proteínas, cinzas, fibras e peso de mil grãos. As distâncias geométricas entre os períodos (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) e temperatura de armazenamento (Figura 6)

nos biplot refletem as diferenças entre eles, com base nos dados relatados. Assim, o período inicial de armazenamento mostra maior diferença com os restantes períodos, como o oitavo, 10^o e 12^o meses, que, por sua vez, apresentam menores diferenças entre si. As diferenças entre as temperaturas de armazenamento, para as variáveis analisadas, são pequenas, como observa-se no biplot da Figura 6.

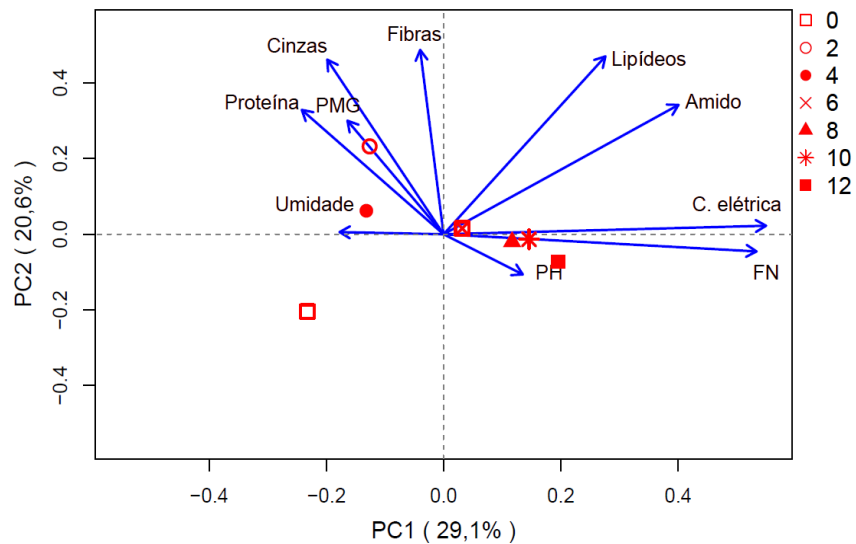


Figura 5 – Biplot da análise de componentes principais mostrando a relação entre as variáveis e a discriminação entre os períodos de armazenamento (0, 2, 4, 6, 8, 10 e 12 meses)

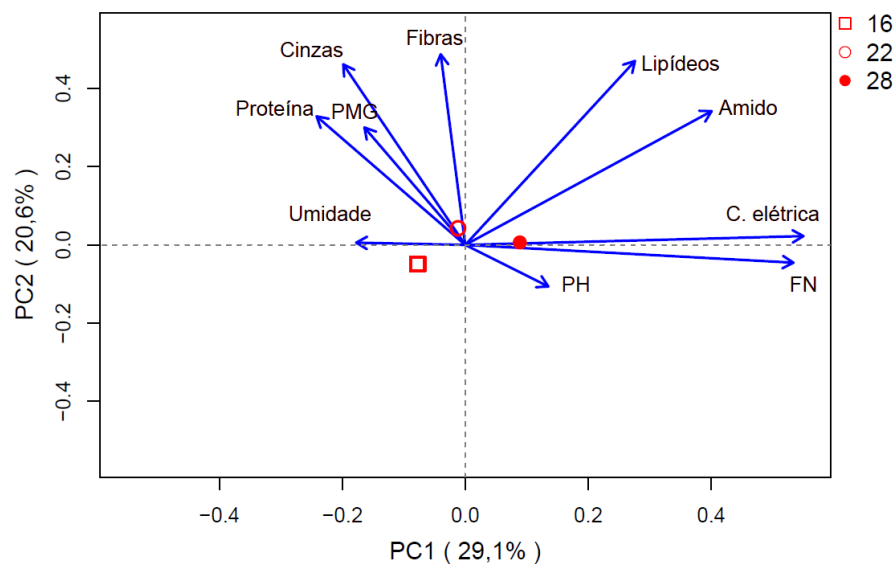


Figura 6 – Biplot da análise de componentes principais mostrando a relação entre as variáveis e a discriminação entre as temperaturas de armazenamento (16, 22 e 28°C)

5.11. Correlações

O resumo da análise de correlações dos constituintes dos grãos de trigo armazenados por 12 meses em diferentes temperaturas está apresentado na

8.

Tabela 18 - Coeficientes de correlação de Person, indicando a relação entre as variáveis analisadas

	UMID	LIP	FIBRAS	CINZAS	AMIDO	PMG	PH	FN	CE
PROT	-0,225 ^{ns}	-0,041 ^{ns}	0,288*	0,387**	-0,103 ^{ns}	0,192 ^{ns}	-0,180 ^{ns}	-0,312*	-0,253*
UMID		0,134 ^{ns}	0,016 ^{ns}	0,071 ^{ns}	-0,274*	0,213 ^{ns}	-0,057 ^{ns}	-0,168 ^{ns}	-0,316*
LIP			0,352**	0,286*	0,510***	0,163 ^{ns}	0,101 ^{ns}	0,341**	0,436***
FIBRAS				0,278*	0,246 ^{ns}	0,044 ^{ns}	-0,269*	-0,080 ^{ns}	-0,106 ^{ns}
CINZAS					-0,014 ^{ns}	0,263*	-0,093 ^{ns}	-0,286*	-0,231 ^{ns}
AMIDO						0,165 ^{ns}	-0,048 ^{ns}	0,510***	0,585***
PMG							0,312*	-0,358**	-0,252*
PH								0,188 ^{ns}	0,215 ^{ns}
FN									0,862***

Níveis de significância: ns - correlações não significativas, *, ** e *** - correlações significativas a 5%, 1% e 0.1%, respectivamente. UMID = umidade, LIP = lipídios, PMG = Peso de mil grãos, PH = Peso hectolítico, FN = Falling Number, CE = Condutividade elétrica.

As proteínas dos grãos mostraram correlações fracas positivas com o teor de fibras ($r = 0,288$, *valor p* < 0,05), teor de cinzas ($r = 0,387$, *valor p* < 0,01) e peso de mil grãos ($r = 0,192$, *valor p* > 0,05). Por outro lado, a umidade ($r = -0,225$, *valor p* > 0,05), lipídeos ($r = -0,041$, *valor p* > 0,05), amido ($r = -0,103$, *valor p* > 0,05), peso hectolitro ($r = -0,180$, *valor p* > 0,05), falling number ($r = -0,312$, *valor p* < 0,05) e condutividade elétrica ($r = -0,253$ *valor p* < 0,05), estiveram fraca e negativamente correlacionados o teor de proteínas. Para a umidade dos grãos, também foram registradas correlações fracas e não significativas com a maioria das variáveis, com exceção do teor de amido ($r = -0,274$, *valor p* < 0,05) e condutividade elétrica ($r = -0,316$, *valor p* < 0,05), que apresentaram correlações significativas e negativas. Estas últimas duas correlações, sugerem que altos teores de umidade promovem a degradação do amido, pelo aumento das reações metabólicas, assim como a degradação da membrana celular, que resulta na lixiviação dos sais e consequente aumento da condutividade elétrica.

Os lipídios estiveram positivamente correlacionados com as fibras ($r = 0,353$, *valor p* < 0,01), cinzas ($r = 0,286$ *valor p* < 0,05), amido ($r = 0,510$ *valor p* < 0,001),

peso hectolitro ($r = 0,101$ valor $p > 0,05$) e condutividade elétrica ($r = 0,436$ valor $p < 0,001$). As cinzas apenas registraram correlações significativas com o peso de mil grãos ($r = -0,335$ valor $p < 0,01$). À semelhança dos resultados da análise de componentes principais, os coeficientes de correlação de Person, mostram correlações positivas entre o peso de mil grãos com o peso hectolitro e correlações negativas com o número de queda e a condutividade elétrica.

Os dados apresentados nas Figuras 5 e 6, e na Tabela 18 estão de acordo com relatos da literatura especializada (TIAN, 2019; PINNOW, 2013).

6. Conclusões

6.1. A Interação dos fatores temperatura e tempo de armazenamento afetou significativamente os atributos de qualidade dos grãos de trigo no armazenamento e das farinhas com eles produzidas;

6.2. O sistema semi-hermético de armazenamento mostrou-se eficiente em manter o teor de água dos grãos por pelo menos 12 meses nas temperaturas mais baixas, mantendo-se estável por todo o período.

6.3. O teor de amido sofreu alterações com interações significativas nas temperaturas mais elevadas, enquanto os teores de proteínas, lipídeos, fibras e cinzas foram afetados principalmente pelo aumento do tempo de armazenamento;

6.4. Condições de armazenamento em temperaturas mais elevadas impactaram a qualidade tecnológica dos grãos de trigo, como incidência de defeitos metabólicos, peso de mil grãos, perfil colorimétrico e condutividade elétrica, com a maioria dos parâmetros estudados só se alterando após o quarto mês de armazenamento;

6.5. Os atributos de qualidade da farinha e glúten foram mais afetados pelo período de armazenamento, enquanto a interação entre temperatura e armazenamento impactou significativamente o número de queda a partir do quarto mês de armazenamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC INTERNATIONAL. **Approved methods of analysis** (11th ed.). St. Paul, MN, USA: AACC International, 2010.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods**. 10. ed. Saint Paul, 2000.

ADEJUMO, B. A. Some quality attributes of locally produced wheat flour in storage. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, v. 52, p. 47-49, 2013.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of Analysis**. 18 ed. Washington DC US, 2006

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília: MAPA, 2009. 346 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº. 38, de 30 de novembro de 2010. **Regulamento técnico do trigo**. Brasília: MAPA, 2010. 11 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº. 23, de 1º de julho de 2016. **Alterações do regulamento técnico do trigo**. Brasília: MAPA, 2016. 1 p.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **A cultura do trigo** / org: Aroldo Antonio de Oliveira Neto e Candice Mello Romero Santos. Brasília: Conab, 2017. 218 p.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2021/2022**. 2º. Levantamento. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 17 dez 2022

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries históricas**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=30>. Acesso em: 12 jan 2023

ELIAS, M.c.; VANIER, N.L.; COLUSSI, R.; ZAVAREZE, E.R.; GUTKOSKI, L.C.; MENEGHETTI, V.L. **Protocolo tecnológico-operacional para armazenamento e qualidade de trigo para indústria**. In: MACHADO JUNIOR, P.C., REIS NETO, S.A. (Org.). Perdas em transporte e armazenagem de grãos. 1ed. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, Superintendência de Marketing e Comunicação, 2021, v. 1, p. 179-198.

DA SILVEIRA, M. M. et al. Discrimination of the quality of Brazilian wheat genotypes and their use as whole-grains in human nutrition. **Food chemistry**, v. 312, p. 126074, 2020.

GÓMEZ, M. H.; ARCILA, J. C. M.; RODRÍGUEZ, E. R. M. Post-harvest management practices and technologies for improving coffee quality: A review. *Food and Bioprocess Technology*, v. 11, n. 9, p. 1571-1586, 2018.

GONZÁLEZ-TORRALBA, Jon et al. Influence of temperature and rh during storage on wheat bread making quality. **Journal of Stored Products Research**, v. 55, p. 134-144, 2013.

GUSMAO, R.P., CAVALCANTI-MATA, M.E.R.M., DUARTE, M.E.M., GUSMAO, T.A.S. Particle size, morphological, rheological, physicochemical characterization and designation of minerals in mesquite flour (*Proposis juliflora*). **J. Cereal. Sci.** v. 69, 119–p.124. 2016.

GUTKOSKI, L. C.; FREO, J. D.; MORAES, L. B. D. Capítulo 1 – Segregação de trigo e tipificação de farinha. In: GUTKOSKI, L. C. (Ed.) **Trigo – segregação, tipificação e controle de qualidade**. Passo Fundo: Passografic, 2011

HEMERY, Y.; ROUAU, X.; LULLIEN-PELLERIN, V.; BARRON, C.; ABECASSIS, J. Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced nutritional quality, **Journal of Cereal Science**, v. 46, p. 327-347, 2007

HOSENEY, R. C. **Principles of cereal science and technology**. ed. 3. St. Paul, Minnessota (EUA): AACC, 2010. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psd/online/app/index.html#/app/downloads>. Acesso em: 12 jan 2023

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v. 1: **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**, 3. ed. Sao Paulo: IMESP, 1985.

ISTA, International Seed Testing Association. **Weight determination**. In: International rules for seed testing. ed.2008. Bassersdorf, 2008. cap.10, p.10.1-10.3.

JAEKEL, L. Z. **Influência da adição de diferentes fontes de fibras (farinha de trigo de grão inteiro e amido resistente) e de transglutaminase nas características tecnológicas, estruturais e sensoriais de massas alimentícias**. 2013. 193 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

KARAOĞLU M., et al. A comparison of the functional characteristics of wheat stored as grain with wheat stored in spike form. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 45, n. 1, p. 38-47, 2010

KIBAR, H. Influence of storage conditions on the quality properties of wheat varieties. **Journal of Stored Products Research**, v. 62, p. 32-37, 2015

LANCELOT, Eloïse et al. Effect of long-term storage conditions on wheat flour and bread baking properties. **Food Chemistry**, v. 346, p. 128902, 2021.

LORINI, Irineu. **Armazenamento de Grãos**. Nova edição Jundiaí: Instituto Bio Geneziz, 2018 1031p.

FRANCESCHII, L.; BENINI, G. Eliana Guarientill Volmir Sérgio Marchioroll Thomas Newton Martin. Fatores pré-colheita que afetam a qualidade tecnológica de trigo **Ciência Rural**, v.39, n.5, 2009.

MANDARINO, I.M.G. Aspectos importantes para a qualidade do trigo, EMBRAPA-CNPSO, **Documento 60**, 32p. Londrina, 1993

MELESE, B. et al. Effects of storage bags type and storage duration on seed quality and proximate composition of emmer wheat (*Triticum dicoccum* L.) in Ethiopia, **Heliyon**, Volume 8, Issue 12, 2022

MENEGHETTI, V.L. et al. Wheat grain storage at moisture milling: Control of protein quality and bakery performance. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 43, n. 9, e13974, 2019

MENEGHETTI, V.L. **Efeitos do resfriamento e da umidade dos grãos sobre parâmetros de avaliação de qualidade do trigo durante o armazenamento.** Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Portaria nº 13, de 11 de janeiro de 2021. **Zoneamento agrícola e de risco climático para a cultura do trigo na Bahia.** Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-13-de-11-de-janeiro-de-2021-298915613>. Acesso em: 13 jan. 2023.

MIRANDA, M.Z.; ZAVAREZE, E.R.; COLUSSI, R. Trigo e farinha de trigo. In: Alvaro Renato Guerra Dias; Elessandra da Rosa Zavareze; Rosana Colussi; Shanise Lisie Mello El Halal. (Org.). **Trigo e farinha de trigo.** 1ed. Pelotas: Santa Cruz, 2019, v. 1, p. 15-62.

MORAES, L. B. D.; GUTKOSKI, L. C.; ELIAS, M. C. Capítulo 2 – Constituintes do trigo e avaliação da qualidade do glúten pelo sistema Glutomatic. In: GUTKOSKI, L. C. (Ed.) **Trigo – segregação, tipificação e controle de qualidade.** Passo Fundo: Passografic, 2011. p. 79-122.

NARWAL, S., GUPTA, O.P., PANDEY, V., KUMAR, D., RAM, S. Effect of storage and processing conditions on nutrient composition of wheat and barley. In: GUPTA, O.P., PANDEY, V., NARWAL, S., SHARMA, P., RAM, S., SINGH, G.P. (Eds.), **Wheat and Barley Grain Biofortification.** Cambridge: **Woodhead Publishing**, 2020. pp. 229-256.

NUTTALL, J. G. et al. Models of grain quality in wheat - A review. **Field crops research**, v. 202, p. 136-145, 2017.

NOGUEIRA, J. L. et al. Teste de condutividade elétrica para avaliação do potencial fisiológico de sementes de aveia preta. **Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 6, p.896-901, nov. 2013.

OTA, Marcio Massao et al. Exigências do mercado de grãos. In: LORINI, Irineu et al. **Armazenagem de grãos** – Instituto Blo Geneziz. Jundiaí, 1031p. 2018.

PINNOW, C. et al. et al. Qualidade industrial do trigo em resposta à adubação verde e doses de nitrogênio. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 1, p.20-28, 2013.

POHNDORF, R.S.; MENEGHETTI, V.L.; PAIVA, F.F.; OLIVEIRA, M.; ELIAS, M.C. Kinetic evaluation of oxidative stability and physical degradation of soybean grains stored at different conditions. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 42, p. 1-8, 2018.

RAHOUMA, M.A.A. Effect of storage periods and package types on germination, seedling characters and biochemical changes of barley grains Alexandria. **Sci. Exch. J**, 42 pp. 133-138, 2021.

RUTZ, Daniel. **Efeitos da temperatura e do tempo de armazenamento sobre as propriedades dos grãos de trigo e de suas respectivas farinhas**. 2012. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

SEIXAS, Claudine Dinali Santos et al. (editores técnicos). **Tecnologias de Produção de Soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. 347 p. (Sistemas de Produção / Embrapa Soja, ISSN 2176-2902; n. 17).

SCARIOT, M. A.; RADÜNZ, L. L.; DIONELLO, R. G.; TONI, J. R.; MOSSI, A. J., REICHERT JÚNIOR, F. W. Quality of wheat grains harvested with different moisture contents and stored in hermetic and conventional system. **Journal of Stored Products Research**, v. 29, p. 599-608, 2018.

SCHEUER, Patrícia Matos et al. Trigo: características e utilização na panificação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.13, n.2, p.211-222, 2011.

SIBAKOVA, N. R.; POUTANENB, K.; MICARD, V Trends in Food Science & Technology. University of Eastern Finland, **Public Health and Clinical Nutrition**, P.O. Box 1627, FI-70211, 2015.

SMITH, G. N. Total color change (ΔE^*) is a poor estimator of total carotenoids lost during post-harvest storage of biofortified maize grains. **Heliyon**, v. 6, n. 10, 2020.

SOUZA, J.; SZCZEREPA, S. B.; SANTOS, L. Conhecimento de donos de estabelecimentos comerciais de alimentação sobre doença celíaca. **Revista Nutrir**, v. 1, n. 2, p. 2358-2669, 2015.

TASHIRO, T.; WARDHANI, A. K.; ADACHI, S.; MIYAMOTO, T. Breeding approaches to develop cereals with superior storability. **Breeding Science**, v. 69, n. 4, p. 614-622, 2019.

TIAN, Ping-Ping; LV, Yang-Yong; YUAN Wen-Jing; ZHANG, Shuai-Bing; ZHANG, Yuan-Sem. Effect of artificial aging on wheat quality deterioration during storage, **Journal of Stored Products Research**, Volume 80, 2019.

TSADO, E. K., et al. Effect of storage period of paddy rice on grain fissures and breakages of milled rice. **Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology**, v. 9.2, p. 8-17, 2015.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Grain: World Markets and Trade**, november, 2021. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads>. Acesso em: 12 jan. 2023.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Production, Supply and Distribution (PSD)** on line. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads>. Acesso em: 12 jan. 2023.

VAN DER WERF, W.; VAN BOEKEL, M. A. J. S.; MEINDERS, M. B. J. Grain storage and handling: A review of research on inventory-management planning and grain quality control. **European Journal of Operational Research**, v. 274, n. 3, p. 919-935, 2019.

WIESER, H. Chemistry of gluten proteins. **Food Microbiology**, v.24, n.2, p.115-119, 2007.

WANG, Y.; XIE, D.; WANG, Y. Research on grain storage management and loss reduction technology based on IoT. IOP Conference Series: **Earth and Environmental Science**, v. 743, p. 012075, 2021.

WORKU, A.F.; KALSA, K.K.; ABERA, M.; NIGUS, H.G. Efeitos das estratégias de armazenamento nas propriedades físico-químicas do trigo armazenado na Etiópia. **AIMS Agriculture and Food**, v. 4, p. 578-591, 2019.

ZHUANG, Kun et al. Influence of different pretreatments on the quality of wheat bran-germ powder, reconstituted whole wheat flour and Chinese steamed bread. **LWT**, v. 161, 2022.

ZIEGLER, V.; PARAGINSKI, R.T.; FERREIRA, C.D. Grain storage systems and effects of moisture, temperature and time on grain quality – a review. **Journal of Stored Products Research**, v. 91, 2021.