

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel**  
**Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos**



Tese de Doutorado

**Produção de trigo na região sul do Rio Grande do Sul: influência de práticas de manejo sobre a qualidade dos grãos e farinhas**

**Miriã Miranda da Silveira**  
Engenheira Agrônoma

Pelotas, 2024

**Miriã Miranda da Silveira**

**Produção de trigo na região sul do Rio Grande do Sul: influência de práticas de manejo sobre a qualidade dos grãos e farinhas**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Nathan Levien Vanier

Coorientador: Prof. Dr. Luís Eduardo Panozzo

Pelotas, 2024

**Miriã Miranda da Silveira**

**Produção de trigo na região Sul do Rio Grande do Sul: influência de práticas de manejo sobre a qualidade dos grãos e farinhas**

Tese de doutorado aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutora 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: 16 de fevereiro de 2024.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Nathan Levien Vanier (orientador). Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas.

Prof. Dr. Moacir Cardoso Elias. Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas.

Prof. Dra. Elessandra da Rosa Zavareze. Doutora em Engenharia e Ciência de Alimentos pela Universidade Federal do Rio Grande.

Dra. Edimara Polidoro. Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas.

Dr. Igor da Silva Lindemann. Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas.

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação da Publicação

S587p Silveira, Miriã Miranda da

Produção de trigo na região sul do Rio Grande do Sul [recurso eletrônico] : influência de práticas de manejo sobre a qualidade dos grãos e farinhas / Miriã Miranda da Silveira ; Nathan Levien Vanier, orientador ; Luís Eduardo Panozzo, coorientador. — Pelotas, 2024.  
102 f. : il.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2024.

1. *Triticum aestivum* L.. 2. Genótipo. 3. Caracterização física e tecnológica. 4. Colheita. 5. Fungicida. I. Vanier, Nathan Levien, orient. II. Panozzo, Luís Eduardo, coorient. III. Título.

CDD 633.115

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus pela sua bondade e generosidade comigo, obrigada pelas oportunidades e por ser minha fortaleza em todos os momentos dessa trajetória.

Aos meus pais, Cineia e Roberto, que me apoiaram incondicionalmente, acreditaram em mim quando eu não acreditava, sendo fundamentais nesse processo.

À minha família, especialmente meus avós, irmãos, sobrinhos, cunhados, primos e tios, pela compreensão, carinho e torcida de sempre.

À Caroline e o Cristian, que além de colegas de pós-graduação são grandes amigos, sou muito grata por cada momento que dividimos, todos eles nos fizeram mais fortes. Obrigada por me incentivarem e ajudarem tanto durante esses anos!

Ao meu orientador, Prof. Dr. Nathan Vanier, que me acompanhou nesse período, muito obrigada pelas oportunidades, confiança e todo suporte no doutorado.

Ao Prof. Dr. Luís Eduardo Panozzo, coorientador deste projeto, pela disponibilidade e auxílio com o experimento no campo.

Agradeço, também, aos demais colegas de pós-graduação, alunos de iniciação científica e professores que enriqueceram ainda mais essa jornada.

À Universidade Federal de Pelotas e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela oportunidade e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

Ao Centro de Pesquisa em Alimentação (CEPA), da Universidade de Passo Fundo, pela parceria para a realização de análises laboratoriais.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para minha formação.

## Resumo

SILVEIRA, Miriã Miranda. **Produção de trigo na região Sul do Rio Grande do Sul: influência de práticas de manejo sobre a qualidade dos grãos e farinhas.** 2024. 102f. Tese (Doutorado 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, 2024.

O trigo é um dos cereais mais cultivados globalmente, sendo essencial na alimentação humana e animal. A qualidade dos seus grãos é influenciada por fatores como genética, ambiente e manejo da cultura. A busca por genótipos adaptados e práticas de manejo eficazes é fundamental para melhorar a qualidade e a produtividade do trigo. Este estudo objetivou avaliar os efeitos da produção de trigo na região sul do Rio Grande do Sul, considerando variações na época de colheita e aplicação de fungicida, sobre a qualidade física e química dos grãos e das farinhas de trigo de diferentes genótipos. Os experimentos foram conduzidos nas safras 2019 e 2020 no Centro Agropecuário da Palma, Capão do Leão/ RS. No primeiro capítulo desta pesquisa, foram utilizados dez genótipos de trigo recomendados para cultivo na região sul do Brasil: BRS Belajoia, BRS Pastoreio, BRS Reponte, ORS 1403, TBIO Audaz, TBIO Ponteiro, TBIO Sinuelo, TBIO Sonic, TBIO Sossego e TBIO Toruk. Esses genótipos foram selecionados para o estudo com o objetivo de avaliar a qualidade dos grãos em resposta à duas épocas de colheita. Os resultados indicaram variações notáveis na qualidade dos grãos entre diferentes genótipos de trigo e épocas de colheita, destacando a influência da interação entre esses fatores na diferenciação dos materiais analisados. As propriedades de cocção dos grãos apresentaram variações significativas entre os genótipos, enfatizando a necessidade de selecionar cuidadosamente genótipos para essa finalidade. A maioria dos genótipos exibiu valores mais elevados de peso hectolitro e peso de mil grãos na primeira colheita. Ademais, a permanência prolongada dos grãos no campo prejudicou sua qualidade em termos de sanidade, visto que grãos giberelados aumentaram na segunda colheita. De maneira geral, o número de queda diminuiu na segunda colheita. Em relação ao comportamento de viscosidade das farinhas, observou-se maior influência da época de colheita em genótipos específicos (TBIO Ponteiro, TBIO Sinuelo e TBIO Sossego). O segundo capítulo abordou os efeitos do manejo com fungicida e o uso de duas doses sobre o desempenho de quatro genótipos de trigo (TBIO Audaz, TBIO Capricho CL, TBIO Ponteiro e TBIO Toruk). A aplicação de fungicida trouxe benefícios significativos para as medidas de rendimento do trigo. Houve um aumento notável na produtividade, no peso hectolitro e no peso de mil grãos em comparação com o tratamento controle. Os grãos chochos e giberelados reduziram com o uso do defensivo e além disso, a quantidade da micotoxina desoxinivalenol diminuiu consideravelmente para todos os genótipos após a aplicação do mesmo. Nossos resultados fornecem novas informações sobre a produção de trigo no Brasil, proporcionando novos insights para sua aplicação na região Sul do Rio Grande do Sul, enfatizando a complexidade e a variedade de fatores que influenciam na qualidade final dos grãos.

**Palavras-chave:** *Triticum aestivum* L., genótipo, caracterização física e tecnológica, colheita, fungicida.

## Abstract

SILVEIRA, Miriã Miranda. **Wheat production in the southern region of Rio Grande do Sul: influence of management practices on the quality of grains and flours.** 2024. 102f. Thesis (Doctorate in Food Science and Technology) – Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2024.

Wheat is one of the most cultivated cereals globally, being essential in human and animal nutrition. The quality of its grains is influenced by factors such as genetics, environment and crop management. The search for adapted genotypes and effective management practices is essential to improve wheat quality and productivity. This study aimed to evaluate the effects of wheat production in the southern region of Rio Grande do Sul, considering variations in harvest time and fungicide application, on the physical and chemical quality of wheat grains and flour from different genotypes. The experiments were conducted in the 2019 and 2020 crop seasons at the Centro Agropecuário da Palma, Capão do Leão/RS. In the first chapter of this research, ten wheat genotypes recommended for cultivation in the southern region of Brazil were used: BRS Belajoia, BRS Pastoreio, BRS Reponete, ORS 1403, TBIO Audaz, TBIO Ponteiro, TBIO Sinuelo, TBIO Sonic, TBIO Sossego, and TBIO Toruk. These genotypes were selected for the study with the objective of evaluating the quality of the grains in response to two harvest times. The results indicated notable variations in grain quality between different wheat genotypes and harvest times, highlighting the influence of the interaction between these factors in differentiating the analyzed materials. The cooking properties of the grains showed significant variations between genotypes, emphasizing the need to carefully select genotypes for this purpose. Most genotypes exhibited higher test weight and thousand kernel weight values in the first harvest. Furthermore, the prolonged stay of the grains in the field harmed their quality in terms of health, as *Fusarium*-damaged grains increased in the second harvest. In general, the falling number decreased in the second harvest. Regarding the viscosity behavior of flours, a greater influence of the harvest time was observed in specific genotypes (TBIO Ponteiro, TBIO Sinuelo and TBIO Sossego). The second chapter covered the effects of fungicide management and the use of two doses on the performance of four wheat genotypes (TBIO Audaz, TBIO Capricho CL, TBIO Ponteiro, and TBIO Toruk). Fungicide application provided significant benefits to wheat yield measurements. There was a notable increase in yield, test weight and thousand kernel weight compared to the control treatment. The shriveled and *Fusarium*-damaged grains reduced with the use of the pesticide and in addition, the amount of the mycotoxin deoxynivalenol decreased considerably for all genotypes after its application. Our results provide new information about wheat production in Brazil, providing new insights for its application in the southern region of Rio Grande do Sul, emphasizing the complexity and variety of factors that influence the final quality of the grains.

**Keywords:** *Triticum aestivum* L., genotype, physical and technological characterization, harvest, fungicide.

## Lista de Figuras

Figura 1 - Gráfico de área, produção, consumo e estoque final mundial. ....	17
Figura 2 - Produção brasileira de trigo nos estados da região Sul: 2014-2022.....	18
Figura 3 - Fontes de importação do trigo brasileiro. ....	19
Figura 4 - Escala fenológica da cultura do trigo. ....	20
Figura 5 - Calendário de semeadura e colheita de trigo, de acordo com o zoneamento agrícola. ....	22
Figura 6 - Morfologia e constituintes do grão de trigo. ....	25
Figura 7 - Estrutura química básica das cadeias de amilose e amilopectina. ....	26
Figura 8 - Exemplificação da formação do glúten. ....	27
Figura 9 - Finalidade de uso das farinhas de trigo de acordo com o conteúdo de proteínas. ....	29
Figura 10 - Série histórica de 2000 a 2021 do consumo brasileiro de trigo.....	32
Figura 11 - Dados climatológicos referentes ao período de desenvolvimento do experimento.....	38
Figura 12 - Tempo de cocção (A), dureza (B) e grãos danificados (C) dos genótipos em duas épocas. ....	50
Figura 13 – Percentual de glúten úmido (A) e índice de glúten (B) dos dez genótipos de trigo colhidos em duas épocas. ....	52
Figura 14 – Características alveográficas dos dez genótipos de trigo colhidos em duas épocas: tenacidade (A), extensibilidade (B), força de glúten (C) e relação tenacidade/extensibilidade (D). ....	54
Figura 15 – Número de queda dos dez genótipos de trigo colhidos em duas épocas. ....	56
Figura 16 – Propriedades viscoamilográficas dos dez genótipos de trigo colhidos em duas épocas: pico de viscosidade (A) e quebra (B). ....	58
Figura 17 - Propriedades viscoamilográficas dos dez genótipos de trigo colhidos em duas épocas: viscosidade mínima (A) e viscosidade final (B). ....	59
Figura 18 - Propriedades viscoamilográficas dos dez genótipos de trigo colhidos em duas épocas: retrogradação (A) e temperatura de pasta (B). ....	60
Figura 19 - Teor de amilose dos dez genótipos de trigo colhidos em duas épocas. .	61



Figura 20 - Conteúdo de desoxinivalenol dos dez genótipos de trigo colhidos em duas épocas.....	62
Figura 21 - Dados climatológicos referentes ao período de desenvolvimento do experimento.....	67
Figura 22 - Conteúdo de desoxinivalenol dos quatro genótipos de trigo e seus respectivos tratamentos controle e com fungicida.....	77
Figura 23 - Teor de amilose dos quatro genótipos de trigo e seus respectivos tratamentos controle e com fungicida.....	79
Figura 24 - Percentual de glúten úmido (A) e índice de glúten (B) dos quatro genótipos de trigo e seus respectivos tratamentos controle e com fungicida.....	80
Figura 25 – Características alveográficas dos quatro genótipos de trigo e seus respectivos tratamentos controle e com fungicida: tenacidade (A), extensibilidade (B), força de glúten (C) e relação tenacidade/extensibilidade (D). ....	82
Figura 26 – Número de queda dos quatro genótipos de trigo e seus respectivos tratamentos controle e com fungicida.....	83
Figura 27 - Propriedades viscoamilograficas dos quatro genótipos de trigo e seus respectivos tratamentos controle e com fungicida: pico de viscosidade (A), quebra (B), viscosidade mínima (C), viscosidade final (D), retrogradação (E) e temperatura de pasta (F).....	85

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Classes do trigo do Grupo II destinado à moagem e outras finalidades. .	28
Tabela 2 - Tipos do trigo do Grupo II destinado à moagem e a outras finalidades. ..	28
Tabela 3 - Lista de genótipos e suas características de classificação comercial, dureza, produtividade, suscetibilidade a germinação na espiga, suscetibilidade a giberela e ciclo da cultura.....	37
Tabela 4 - Peso hectolitro e peso de mil grãos dos genótipos de trigo colhidos em duas épocas. ....	43
Tabela 5 - Percentual de triguilhos, chochos, quebrados e giberelados encontrados nos dez genótipos de trigo colhidos em duas épocas. ....	45
Tabela 6 - Teores de proteína, lipídeos, cinzas, amido e fibras dos grãos dos dez genótipos de trigo colhidos em duas épocas.....	48
Tabela 7 - Informações sobre a classificação comercial, dureza, germinação na espiga, suscetibilidade à giberela e ciclo dos genótipos estudados.....	66
Tabela 8 - Produtividade, número de grãos por espiga, peso hectolitro e peso de mil grãos dos quatro genótipos de trigo e seus respectivos tratamentos controle e com fungicida.....	72
Tabela 9 - Percentual de triguilhos, chochos, quebrados e giberelados encontrados nos grãos dos quatro genótipos de trigo e seus respectivos tratamentos controle e com fungicida. ....	74
Tabela 10 - Teores de proteína, lipídeos, fibras, cinzas e amido dos grãos dos quatro genótipos de trigo e seus respectivos tratamentos controle e com fungicida.....	76

## Lista de Abreviaturas e Siglas

NIR	Espectrometria de infravermelho próximo ( <i>Near Infrared Spectroscopy</i> )
PMG	Peso de mil grãos
PH	Peso do hectolitro
P	Tenacidade
L	Extensibilidade
W	Força de glúten
EC1	Época de colheita 1
EC2	Época de colheita 2
F1	Manejo fungicida 1
F2	Manejo fungicida 2
DON	Desoxinivalenol

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2 HIPÓTESES</b> .....	<b>15</b>
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
3.1 Objetivos gerais.....	16
3.2 Objetivos específicos.....	16
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>16</b>
4.1 Panorama da cadeia produtiva do trigo .....	16
4.2 Manejo na triticultura .....	19
4.3 Morfologia e constituição dos grãos .....	25
4.4 Qualidade química e industrial .....	27
4.5 Alimentação e nutrição .....	31
<b>5 CAPÍTULO 1 – QUALIDADE DOS GRÃOS EM RESPOSTA A ÉPOCA DE COLHEITA E DIFERENTES GENÓTIPOS DE TRIGO</b> .....	<b>35</b>
5.1 Introdução .....	35
5.2 Materiais e métodos .....	36
5.2.1 Materiais .....	36
5.2.2 Métodos .....	39
5.2.2.1 Peso hectolitro.....	39
5.2.2.2 Peso de mil grãos.....	39
5.2.2.3 Chochos, Quebrados, Triguilhos e Giberelados .....	39
5.2.2.4 Composição centesimal.....	39
5.2.2.5 Quantificação de micotoxinas .....	39
5.2.2.6 Tempo de cocção .....	40
5.2.2.7 Grãos danificados.....	40
5.2.2.8 Dureza após a cocção .....	40
5.2.2.9 Teor de amilose.....	41
5.2.2.10 Glúten úmido e Índice de glúten .....	41
5.2.2.11 Características alveográficas.....	41
5.2.2.12 Número de queda.....	41
5.2.2.13 Propriedades de pasta .....	42
5.2.2.14 Análise estatística.....	42
5.3 Resultados e discussão.....	42
5.3.1 Atributos de qualidade dos grãos .....	42
5.3.2 Propriedades do trigo integral cozido .....	49
5.3.3 Propriedades tecnológicas e composição das farinhas .....	51
5.4 Conclusões .....	63

<b>6 CAPÍTULO 2 – EFEITOS DO MANEJO DE FUNGICIDA SOBRE O DESEMPENHO PRODUTIVO E A QUALIDADE DO GRÃOS .....</b>	<b>65</b>
6.1 Introdução .....	65
6.2 Materiais e métodos .....	66
6.2.1 Materiais .....	66
6.2.2 Métodos .....	68
6.2.2.1 Medidas de rendimento .....	68
6.2.2.2 Peso hectolitro.....	68
6.2.2.3 Peso de mil grãos.....	68
6.2.2.4 Chochos, Quebrados, Triguilhos e Giberelados .....	68
6.2.2.5 Composição centesimal.....	69
6.2.2.6 Micotoxinas .....	69
6.2.2.7 Teor de amilose.....	69
6.2.2.8 Glúten úmido e Índice de glúten .....	70
6.2.2.9 Características alveográficas.....	70
6.2.2.10 Número de queda.....	70
6.2.2.11 Propriedades de pasta .....	70
6.2.2.12 Análise estatística.....	70
6.3 Resultados e discussão.....	71
6.3.1 Avaliações da qualidade dos grãos.....	71
6.3.2 Caracterização das farinhas de trigo.....	78
6.4 Conclusões .....	86
<b>7 CONCLUSÃO GERAL .....</b>	<b>86</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>87</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é um cereal de inverno, amplamente produzido e consumido no mundo inteiro. Em termos de produção mundial, é considerada a cultura com maior área cultivada, atingindo na safra de 2022/2023 uma produção estimada em 789 milhões de toneladas (USDA, 2024). No Brasil, a produção concentra-se na região sul do país, os estados do Paraná e Rio Grande do Sul são os maiores produtores da cultura.

A farinha de trigo, obtida após a moagem dos grãos, possui características únicas, devido a sua composição rica em amido e proteínas, e a capacidade de formar massas viscoelásticas. Sendo assim, o trigo é utilizado como matéria prima para a fabricação de uma infinidade de produtos alimentícios, como pães, massas, bolos e biscoitos (VASCONCELOS et al., 2013).

A qualidade do trigo é resultado de uma série de fatores, como o manejo da cultura, condições ambientais, além dos fatores relacionados ao armazenamento e processamento dos grãos (MHIKO, 2012). Condições climáticas inadequadas, fora da faixa ideal para a cultura, podem favorecer a incidência e desenvolvimento de fungos, ocasionando perdas quantitativas e qualitativas na triticultura (ANDERSEN et al., 2014).

Grandes volumes de precipitação pluviométrica e alta umidade relativa do ar durante a etapa de floração e maturação dos grãos são os principais causadores de doenças no trigo. A doença conhecida comumente como Giberela (*Gibberella Zeae*) ou Fusariose (*Fusarium graminearum*), causa grandes danos à cultura, afetando a qualidade dos grãos e seu rendimento (D'ANGELO et al., 2014; MENKE; DONG; KISTLER, 2012). Segundo Lima (2004), a Giberela é responsável pela formação de grãos chochos, enrugados e com coloração variando de rósea a esbranquiçada. Além disso, o teor e a qualidade das proteínas dos grãos são prejudicados (JIN et al., 2014; WOLF-HALL, 2007). Outras doenças, como oídios, ferrugem das folhas e brusone também possuem forte impacto sobre a cultura. Os fungos causadores dessas doenças são capazes de produzir micotoxinas, que são tóxicas tanto ao homem quanto aos animais. O *Fusarium graminearum*, especificamente, é agente de formação de micotoxinas do grupo dos tricotecenos, principalmente, Desoxinivalenol (DON) que é a micotoxina mais ocorrente em trigo (SANTOS et al., 2021; DEL PONTE et al., 2015).

Sendo assim, o manejo fitossanitário da cultura é indispensável para a maioria dos sistemas de produção de trigo, em grande parte devido à alta probabilidade da ocorrência de doenças fúngicas. Devido a isso, a utilização de defensivos agrícolas, fungicidas, já bem estabelecido entre os agricultores. A adoção de estratégias para o controle de doenças pode ter começo a partir do planejamento da produção também, através da escolha de cultivares que possuam resistência pode reduzir a chance da ocorrência de doenças nas lavouras.

Entretanto, dependendo de fatores como escolha do fungicida e da dose aplicada, o seu uso pode ser considerado nocivo à saúde humana, em função dos residuais que podem ser encontrados futuramente nos grãos. Além disso, sugeriu-se em nosso estudo anterior uma nova forma de consumo de trigo (SILVEIRA et al., 2020), sendo uma opção o consumo dos grãos inteiros, apenas cozidos. Para isso é necessário que os grãos possuam níveis aceitáveis tanto de residuais de pesticidas quanto de micotoxinas.

Visto que as condições edafoclimáticas do local de cultivo tem grande influência sobre o desenvolvimento de uma cultura, os aspectos de manejo do trigo devem ser avaliados em conjunto com essas condições. Deste modo, buscando aprofundar conhecimentos sobre a condução de lavouras de trigo na região sul do estado do Rio Grande do Sul, além de estudar o comportamento de diferentes genótipos de trigo, propomos este estudo para avaliar seus efeitos sobre a qualidade dos grãos.

## **2 HIPÓTESES**

2.1. A época de colheita interfere na qualidade dos grãos de trigo, visto que as condições climáticas no período de maturação são diretamente relacionadas as variáveis peso hectolitro e número de queda.

2.2. A matriz proteica dos grãos exerce grande influência sobre as propriedades de cocção dos grãos, sendo assim genótipos com maior teor de glúten apresentarão grãos mais duros após a cocção.

2.3. A aplicação de fungicida com o ingrediente ativo metominostrobin é eficiente no controle de doenças, possibilitando a produção de grãos com maior sanidade, menor incidência de defeitos e maiores peso hectolitro e peso de mil grãos.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivos gerais**

Avaliar os efeitos da produção de trigo na região Sul do Rio Grande do Sul com variações na época de colheita e aplicação de fungicida, sobre a qualidade física e química dos grãos e das farinhas de trigo de diferentes genótipos.

#### **3.2 Objetivos específicos**

3.2.1. Avaliar os efeitos de duas épocas de colheita sobre a qualidade de grãos de dez genótipos de trigo.

3.2.2. Selecionar genótipos de trigo que apresentem potencial para a produção na região Sul do Rio Grande do Sul, município de Capão do Leão, demonstrando alta qualidade de grãos.

3.2.3. Avaliar a qualidade da produção de trigo sem o uso de defensivos agrícolas, e sua repercussão na qualidade final dos grãos, determinando os teores de micotoxinas.

3.2.4. Determinar a composição físico-química dos grãos e das farinhas de trigo, bem como avaliar as propriedades tecnológicas das farinhas e de cocção dos grãos.

3.2.5. Avaliar os efeitos da aplicação de duas doses de fungicida sobre os atributos físicos e químicos dos grãos, e sua relação com o teor de micotoxinas.

### **4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **4.1 Panorama da cadeia produtiva do trigo**

O trigo (*Triticum aestivum* L.) destaca-se como o cereal com maior área cultivada em escala mundial, ultrapassando uma extensão territorial de 220 milhões de hectares, ainda na safra 2021/2022 (USDA, 2024). China, União Europeia, Índia, Rússia e Estados Unidos são os cinco maiores produtores, já o Brasil está na 15ª posição no ranking de países que produzem trigo.

Ainda em nível mundial, a produção total de trigo alcançou mais de 786 milhões de toneladas na última safra, valor que segue aumentando ano a ano assim como o consumo de trigo, conforme demonstrado na Figura 1, onde se evidencia uma série histórica sobre área, estoque, produção e consumo mundial de trigo (CONAB, 2023).



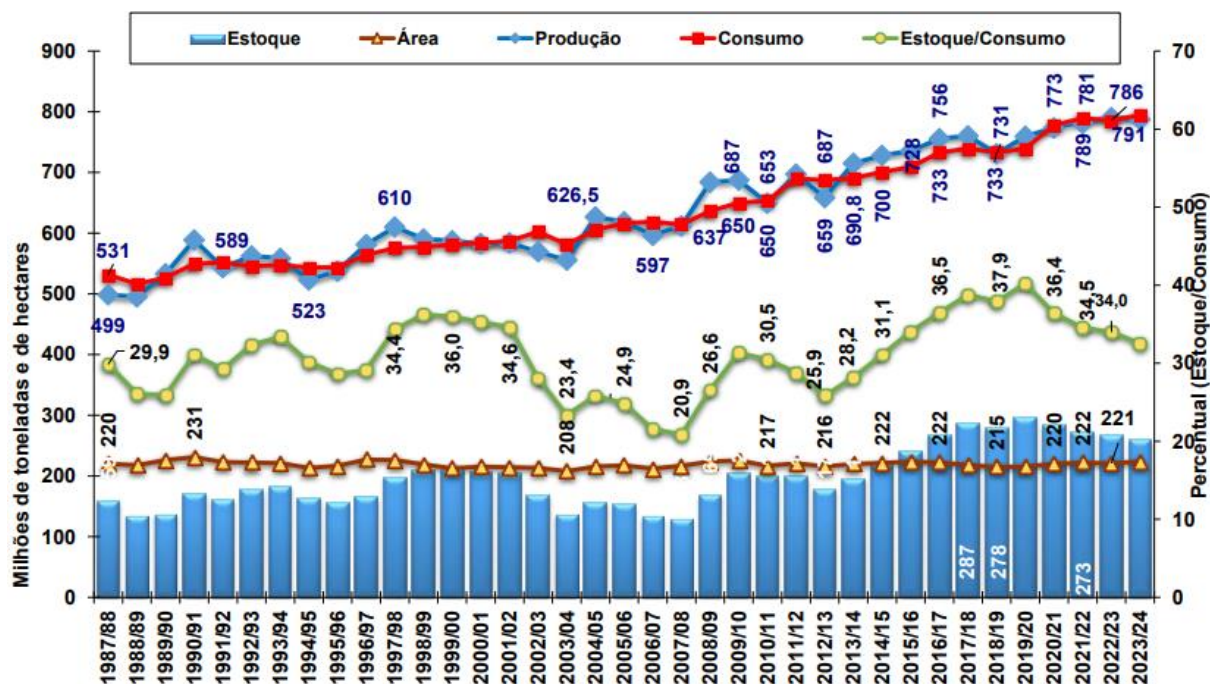


Figura 1 - Gráfico de área, produção, consumo e estoque final mundial.

Fonte: CONAB (2023).

De acordo com dados divulgados pela Companhia Nacional de Abastecimento – Conab (2023), o Brasil apresentou a partir da safra 2022/2023 uma produção histórica de trigo comparada aos últimos anos. Isso deve-se em grande parte pela valorização do grão no país, assim como materiais genéticos mais adaptados às intempéries climáticas da região, o que influenciou diretamente na decisão dos produtores rurais para o cultivo de trigo.

O Brasil registrou em 2022 uma produção superior a 10 milhões de toneladas de trigo, os três estados da região sul são responsáveis por mais de 90% da produção brasileira. Ao contrário do acontecido nos anos anteriores, o estado do Rio Grande do Sul ultrapassou a produção do Paraná desde a safra 2021, tornando-se o maior produtor nacional da commodity, alcançando sozinho uma produção de aproximadamente 4,7 milhões de toneladas de trigo (Figura 2). Além do incremento em área de cultivo, chegando a 3,45 milhões de hectares em 2022, a produtividade média nacional também aumentou para 3.135 kg/ha (CONAB, 2024).

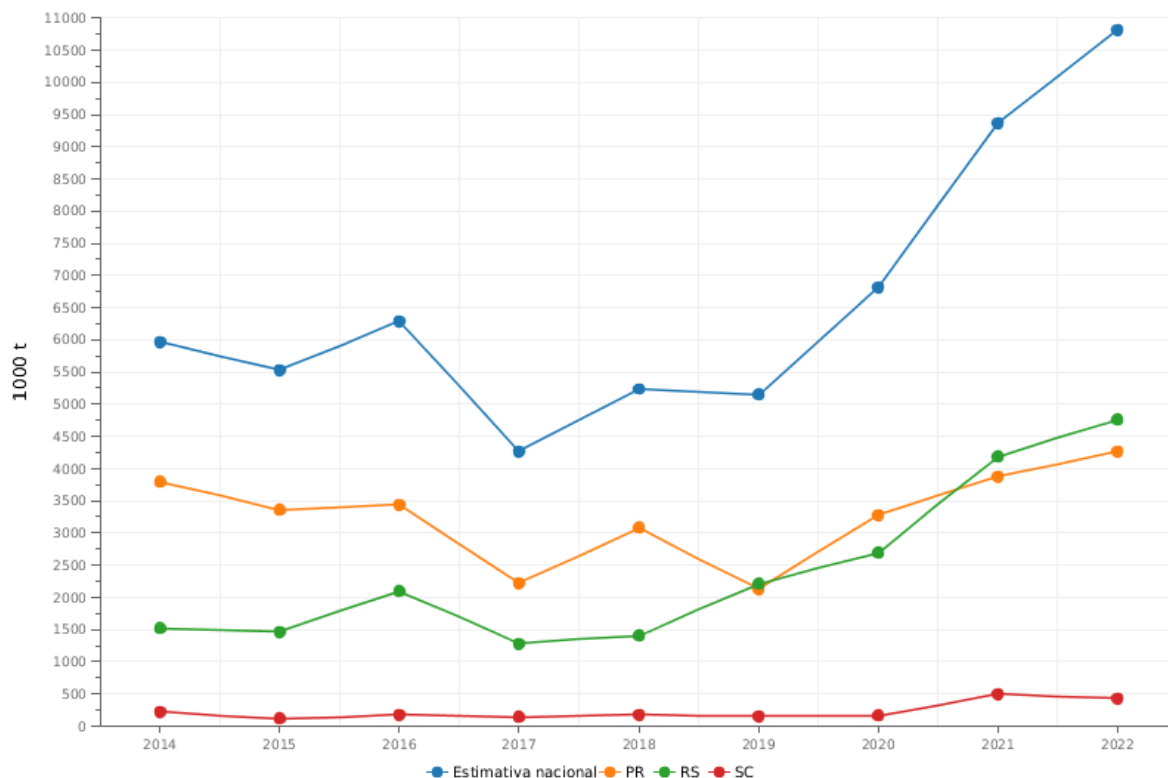


Figura 2 - Produção brasileira de trigo nos estados da região Sul: 2014-2022.

Fonte: CONAB (2024).

Embora seja considerado uma potência no setor do agronegócio, o Brasil ainda não é autossuficiente com o trigo, apesar de ter uma produção considerável, o consumo interno do país demanda mais do que o produzido. Enquanto a produção atualmente gira em torno dos 10 milhões de toneladas, o consumo fica em média perto de 12 milhões de toneladas ao ano, gerando um déficit no mercado interno que só pode ser ajustado através das importações.

Desde a safra 2018 o Brasil tem importado uma média aproximada de 6 milhões de toneladas de trigo, deste montante mais de 70% é oriundo da Argentina. Uma boa parte do trigo utilizado na indústria moageira de trigo é proveniente da importação, principalmente de países do Mercosul devido a isenção de Tarifa Externa Comum (TEC), sendo a Argentina o principal deles, a Figura 3 exemplifica as principais fontes de importação do trigo que chega ao Brasil, evidenciando a predominância dos países do Mercosul (USDA, 2023).

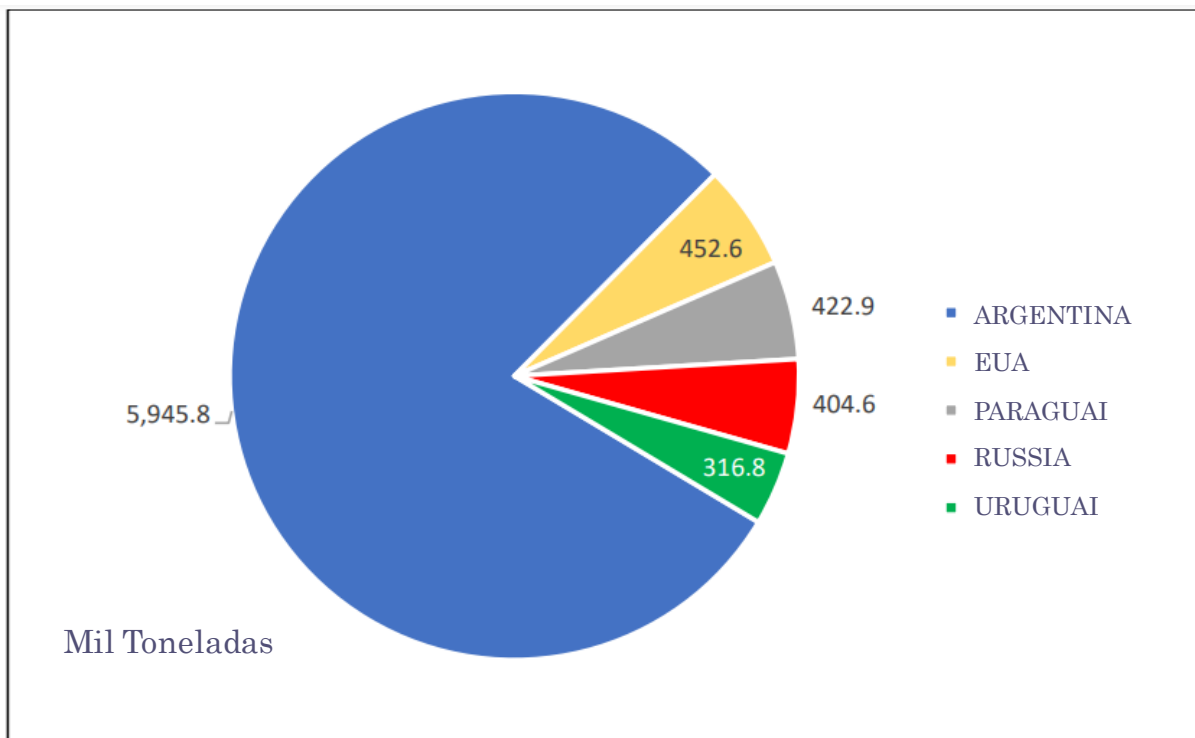


Figura 3 - Fontes de importação do trigo brasileiro.

Fonte: USDA (2023).

Segundo dados da Abitrigo, o Brasil conta com cerca de 160 moinhos de trigo em atividade, 65% deles localizados na região sul do país. Na safra de 2021 esses moinhos foram responsáveis por processar em torno de 12,6 milhões de toneladas de trigo, o que equivale a uma produção de 9,9 milhões de toneladas de farinha de trigo. Desse montante, a Abitrigo estima que 44% foi utilizado no segmento da panificação, enquanto os setores de massas, biscoitos, pães industriais, *food servisse* e doméstico dividiram-se como destino final do restante das farinhas (ABITRIGO, 2022).

## 4.2 Manejo na triticultura

Diversos fatores interferem na produção do trigo, sejam eles intrínsecos ou extrínsecos à cultura, alguns exemplos deles são as condições climatológicas do local de cultivo, características de solo, época de semeadura, genética e manejo fitossanitário (LAMANNA et al., 2011; RODRIGUES et al., 2018; LIU et al., 2019). Para um bom desenvolvimento da cultura, todos estes fatores devem estar alinhados, pois estão diretamente ligados ao potencial produtivo e influenciam também na qualidade final dos grãos (BENNETT et al., 2012; HUNT et al., 2018).

O trigo comum (*Triticum aestivum* L.) é a espécie mais cultivada no Brasil e no mundo, característico por ser uma cultura de inverno, possui arquitetura de planta muito semelhante a outros cereais de inverno, como aveia, centeio e cevada. A planta de trigo é estruturada por raízes, colmo, folhas e inflorescências, e como característica de *Poaceae*s, o trigo apresenta folhas estreitas, planas e compridas, um pouco ásperas e com bainha invaginante (SCHEEREN, CASTRO e CAIERÃO, 2015).

Em relação a fenologia, comumente é utilizada a escala Feekes-Large (LARGE, 1954) para explicar as etapas de desenvolvimento do trigo (Figura 4), nela estão contidas detalhadamente o estabelecimento, crescimento e senescência das plantas durante o ciclo da cultura.

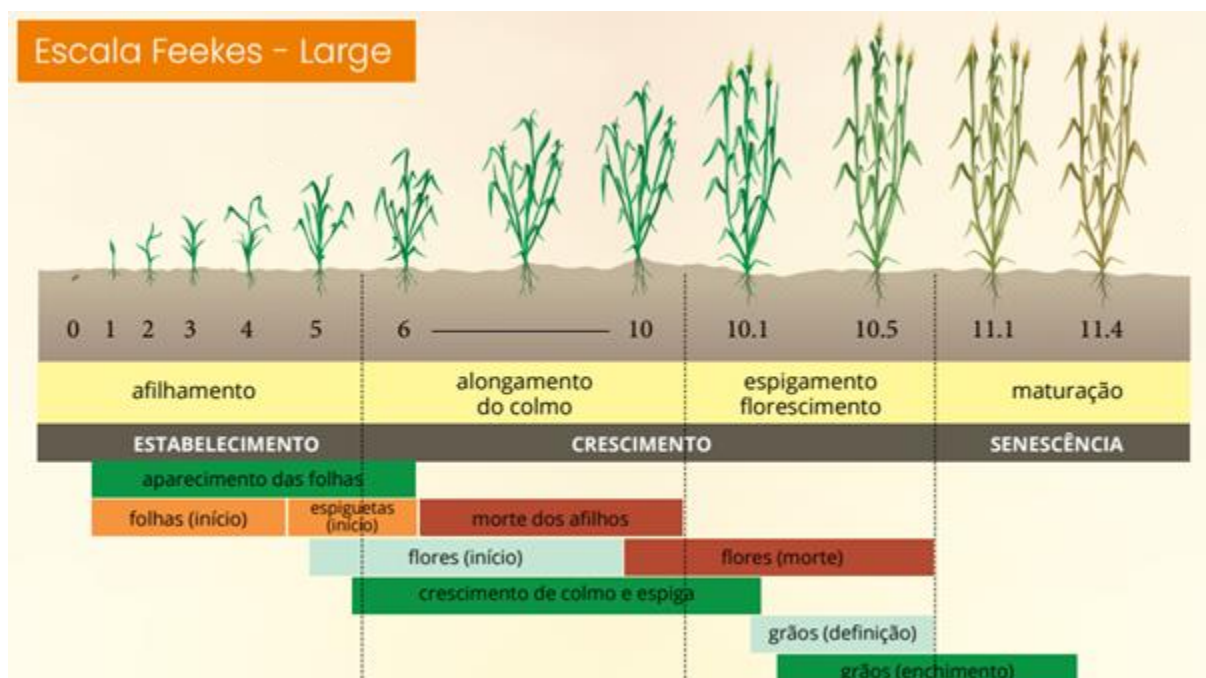


Figura 4 - Escala fenológica da cultura do trigo.

Fonte: LARGE (1954); adaptado por Biotrigo (2022).

De acordo com Scheeren, Castro e Caierão (2015), após a emergência e estabelecimento da plântula acontece a etapa de afilhamento, compreendido entre os estádios 0 e 5, onde ocorre a abertura das folhas e o surgimento dos afilhos, esta fase dura em torno de 15 a 17 dias. Em sucessão, vem a etapa de alongamento do colmo, que está diretamente ligada a estatura final das plantas, pois nessa fase inicia-se o crescimento dos entrenós, devido à presença de tecido meristemático (região de crescimento rápido), cuja duração aproximada deste período é de 15 a 18 dias.

No final do alongamento do colmo dá-se o emborrachamento, que é considerada uma fase muito sensível a estresses, pois neste período é iniciado o engrossamento da bainha foliar, onde posteriormente surgirão as espigas (SANTOS, PIRES E FONTANELI, 2014; HUNT et al., 2018). O período vegetativo da cultura é dado entre a emergência das plântulas e alongamento do colmo, após isto inicia-se o período reprodutivo, dividido em espigamento, floração e maturação dos grãos (KOCHINSKI, 2020).

O espigamento do trigo é identificado a partir da emissão das inflorescências de dentro dos colmos, sendo ela descrita como uma espiga composta, dística, cujas espiguetas são dispostas de forma aleatória ao redor do ráquis, podendo cada espiguetas conter entre 2 e 9 flores (SCHEEREN, CASTRO e CAIERÃO, 2015). Durante a antese, após a autofecundação, as flores abrem-se expondo suas anteras, o que corresponde ao período de floração do trigo. Ao longo do período reprodutivo os grãos estão sendo formados, porém é após a morte das flores que se inicia propriamente o enchimento final dos grãos, denominado também como período de maturação. No decorrer da maturação, os grãos de trigo passam pelas fases de grão leitoso, pastoso, duro e por fim grão maduro, em conjunto a isso também ocorre a senescência da planta, onde as espigas e folhas secam (SANTOS, PIRES E FONTANELI, 2014).

O manejo agrônômico empregado ao longo do desenvolvimento da cultura tem função primordial para a obtenção de bons resultados ao final do ciclo, portanto é imprescindível que o mesmo seja feito levando-se em consideração as recomendações técnicas para a cultura (HUNT et al., 2018). No Brasil, essas recomendações são atualizadas e publicadas anualmente através do livro intitulado 'Informações Técnicas para Trigo e Triticale', organizado na safra 2022 pela Fundação ABC e Biotrigo Genética.

Iniciando com o planejamento da safra, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) publica anualmente o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) do trigo, com o intuito de orientar sobre os locais aptos para cultivo e as épocas de semeadura de cada genótipo. Durante o estudo de ZARC são avaliadas as séries históricas climáticas dos municípios, modelagem de cultivos e simulação de riscos. Variáveis ambientais como temperatura e fotoperíodo são decisivas para o desenvolvimento do trigo, afetando principalmente na fase vegetativa da cultura. Além disso, a ocorrência de algumas destas variáveis climáticas pode ser

limitante para o rendimento do trigo, como geadas durante o espigamento, precipitações de granizo, chuvas excessivas na colheita e vendavais, sendo tudo isto levado em consideração na simulação de riscos (BRASIL, 2021).

Quanto à época de semeadura do trigo, deve-se atentar as recomendações técnicas do zoneamento da região, considerando o tipo de genótipo que será utilizado e o local de cultivo. Na Figura 5 está descrito o calendário com as épocas para plantio e colheita do trigo, nos principais estados brasileiros produtores da cultura. Na região Sul, que é a maior produtora do país, a semeadura é realizada entre os meses de abril e agosto, no Rio Grande do Sul, especificamente, entre maio e julho, e sua colheita acontece em maior parte na primavera, estendendo-se até novembro (CONAB, 2020).

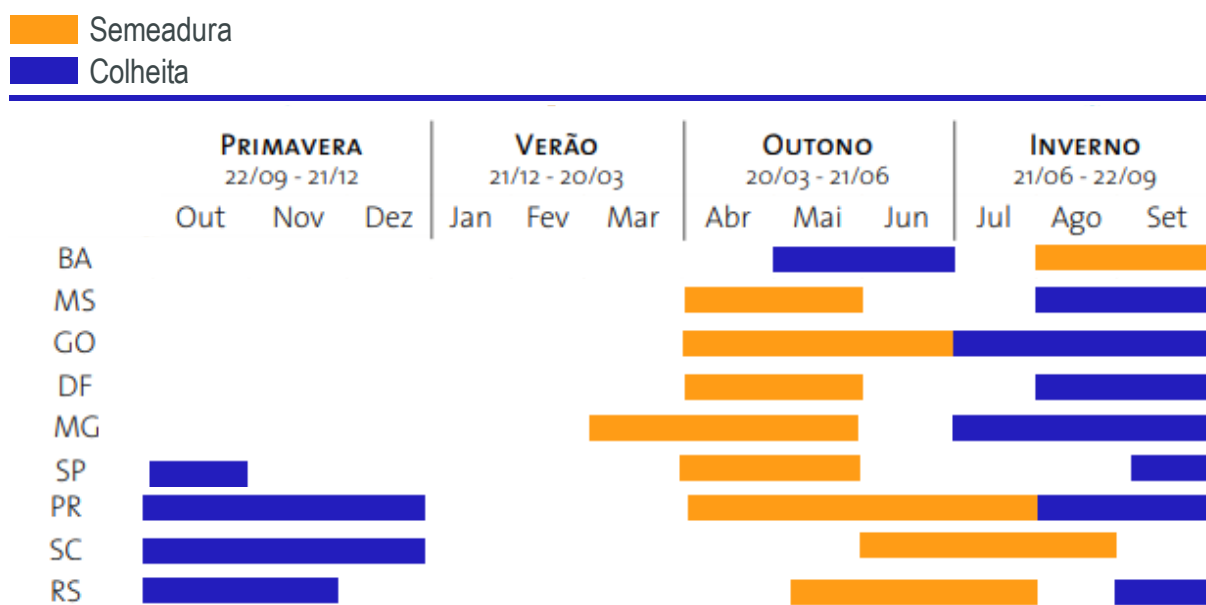


Figura 5 - Calendário de semeadura e colheita de trigo, de acordo com o zoneamento agrícola.

Fonte: Adaptado de CONAB (2020).

Segundo Hyles et al. (2020), a cultura do trigo demanda condições de temperatura, radiação e disponibilidade de água específicas em cada etapa do seu desenvolvimento fenológico, em razão disso é necessário que seja feito o posicionamento e escolha dos genótipos, para adequar o ciclo do trigo às melhores condições sazonais, visando a otimização da produção.

Os genótipos cultivados no Brasil, geralmente possuem menor necessidade de vernalização (tempo de frio) para transição entre período vegetativo e reprodutivo. Na região Sul do país, algumas das limitações ambientais são a ocorrência de

temperaturas muito baixas, inclusive geadas durante a primavera, coincidindo com o espigamento do trigo. Além disso, o excesso de umidade e chuvas em determinadas épocas pode favorecer a incidência de doenças nas lavouras cultivadas nessa região (CUNHA et al., 2016).

Com o avanço da pesquisa e desenvolvimento de cultivares de trigo, materiais novos têm sido inseridos no mercado constantemente, trazendo consigo características que os tornam mais produtivos e tolerantes a adversidades, como estresses bióticos e abióticos (CONAB, 2017). Caierão et al. (2016) relatam que por consequência do melhoramento genético de trigo no Brasil, plantas modernas foram desenvolvidas, apresentando como principais características estatura baixa, colmo resistente, maior capacidade de afilamento, resistência as principais doenças do trigo, além de melhorias e estabilidade na qualidade tecnológica dos grãos.

Beche et al. (2018) avaliaram as mudanças que o melhoramento genético trouxe para o trigo brasileiro nas últimas décadas, analisando especificamente cultivares lançadas entre os anos 1940 e 2009. Os autores constataram o encurtamento do período de antese, demonstrando redução de até 14,2% de dias, e juntamente relataram aumento de 7,6% no período de enchimento dos grãos, quando comparados aos genótipos mais antigos. Como principais efeitos, além da obtenção de ciclos mais curtos, essas alterações foram responsáveis por aumentos no rendimento e número de grãos.

Segundo Caierão et al. (2016), os genótipos brasileiros de trigo podem ser classificados quanto ao ciclo de cinco formas: superprecoce, precoce, médio, semitardio e tardio. Contudo, os autores enfatizam que esses agrupamentos podem sofrer variações de acordo com a região em que serão cultivados, como exemplo, na região Sul do Brasil, genótipos da classe superprecoce apresentam em média ciclo total de até 120 dias, enquanto os tardios variam de 150 a 160 dias.

Dentre os fatores bióticos que interferem na produção de trigo, o ataque de patógenos e pragas possui grande relevância sobre o potencial produtivo, por isso é importante destacar o manejo fitossanitário da cultura. Savary et al. (2019) estimaram que cerca de 21,5% das perdas de produtividade de trigo, em nível mundial, são ocasionadas pela incidência de pragas e doenças nas lavouras. Além de perdas quantitativas, as doenças de trigo causam alterações nos constituintes químicos e na qualidade dos grãos (LAU et al., 2016).

Maciel et al. (2020) explicam que a incidência e severidade das doenças de trigo são diretamente influenciadas pelas características ambientais do local de cultivo, sendo assim, os autores destacaram que devido à grande extensão territorial do Brasil, as doenças podem ser agrupadas de forma demográfica, de acordo com a maior frequência que ocorrem. Na região Centro-Sul do país, onde enquadra-se o estado do Rio Grande do Sul, as doenças de maior ocorrência são nanismo amarelo, mosaico do trigo, oídio, ferrugem da folha, mancha amarela e giberela. Já na região do Cerrado brasileiro, as doenças mais comuns são podridão das raízes, estria bacteriana, manchas foliares e brusone. De acordo com Lau et al. (2016), as doenças de espiga, giberela e brusone, são exemplos claros do efeito das condições climáticas na distribuição de doenças no Brasil. Enquanto a brusone predomina em regiões tritícolas mais quentes, a giberela tem grande destaque na região Sul, devido ao clima ser mais frio e úmido.

Enfatizando especificamente as doenças que afetam na triticultura gaúcha, temos cinco doenças foliares (nanismo amarelo, mosaico, oídio, ferrugem e mancha amarela) que interferem, principalmente, na taxa fotossintética da planta, através de danos e redução da área foliar. Já a giberela, entretanto, ocasiona perdas e comprometimento da qualidade dos grãos, pois afeta diretamente durante o período de formação dos mesmos, dependendo da severidade desta doença, pode acarretar em prejuízo total da produção (SANTANA E CHAVES, 2014).

Dentre as estratégias mais comuns de manejo de doenças, destacam-se duas de maior adesão pelos produtores rurais, sendo elas o controle químico e a utilização de cultivares resistentes. Em relação aos fungicidas, os grupos químicos que comumente são recomendados para a cultura do trigo são combinações de triazóis e estrobilurinas (SCHIERENBECK et al., 2019; KOYCU, 2022). Outro fator com grande relevância no gerenciamento de doenças do trigo é a época de aplicação dos defensivos agrícolas. Dependendo da finalidade desejada, a aplicação de fungicidas pode ocorrer desde o estágio de perfilhamento até o enchimento dos grãos, obedecendo o período de carência do produto. De acordo com MacLean et al. (2018) a aplicação durante a antese do trigo superou a aplicação durante o estágio de alongamento (folha bandeira) em termos de rendimento, pois os grãos apresentaram maiores peso de hectolitro e peso de mil grãos.



### 4.3 Morfologia e constituição dos grãos

A estrutura do grão de trigo é dividida basicamente em três frações: pericarpo, endosperma e gérmen. Conforme demonstrado na Figura 6, as camadas mais externas do grão constituem o pericarpo, cuja formação dá-se em seis camadas: epiderme, hipoderme, células cruzadas, células tubulares, testa e tecido nucelar. No centro do grão encontra-se o endosperma (corresponde entre 80-85% do grão), camada constituída majoritariamente por amido, que é envolto pela camada de aleurona. A fração denominada gérmen, também definida como a parte embrionária do grão, é menor que as demais, representa cerca de 3-4% do peso do grão, porém rica em nutrientes. (DELCOUR e HOSENEY, 2010).

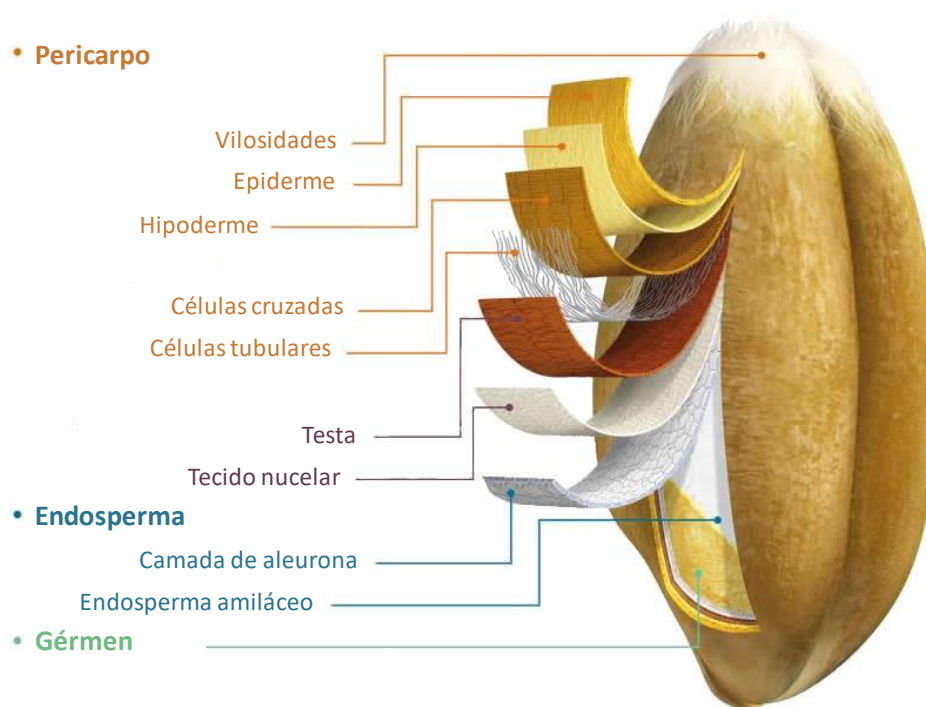


Figura 6 - Morfologia e constituintes do grão de trigo.

Fonte: Nabim (2019).

O principal carboidrato do trigo é o amido, que se encontra disposto na parte mais interna do grão e envolto por uma matriz proteica. O amido é formado por dois polissacarídeos: amilose e amilopectina. A amilose possui como estrutura uma cadeia predominantemente linear, contendo ligações de glicose através de  $\alpha$ -1,4, enquanto a amilopectina caracteriza-se por ser um polissacarídeo mais complexo, pois além das

ligações glicosídicas em  $\alpha$ -1,4, se ramifica através de ligações  $\alpha$ -1,6 (Figura 7) (SHEWRY e HEY, 2015; HEINZE, 2017). Ainda, segundo Heinze (2017), a amilose e amilopectina são depositadas nas células de forma que originam grânulos de amido e, de acordo com a origem botânica esse acúmulo de amilose e amilopectina pode se dar em diferentes proporções. Na maioria dos cereais o teor de amilopectina varia entre 70 e 80% e o de amilose varia de 20 a 30%.

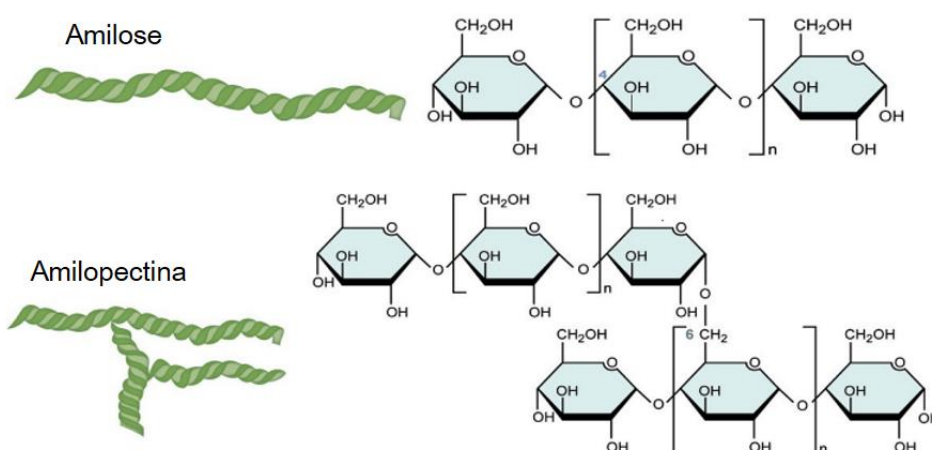


Figura 7 - Estrutura química básica das cadeias de amilose e amilopectina.

Fonte: Heinze (2017).

Guarienti e Miranda (2016) descreveram que no trigo, especificamente, a fração proteica do grão divide-se em quatro classes em função da solubilidade, são elas: albuminas (solúveis e água), globulinas (solúveis em soluções salinas diluídas), gliadinas (solúveis em álcool 70%) e gluteninas (solúveis em ácidos e bases diluídos). Albuminas e globulinas concentram-se principalmente no pericarpo, gérmen e camada de aleurona, e também em menor quantidade no endosperma, além disso são consideradas proteínas que apresentam um adequado balanço de aminoácidos. Já os outros dois grupos, gliadinas e gluteninas, são encontrados apenas no endosperma e caracterizam-se por possuírem um alto teor dos aminoácidos glutamina e prolina.

Cerca de 85% do conteúdo de proteínas do trigo é formado pelas denominadas proteínas de reserva do grão, gliadinas e gluteninas, as duas insolúveis em água segundo a classificação de Osborne (OSBORNE, 1907; TATHAM e SHEWRY, 2012). Estas proteínas são responsáveis pela formação do glúten, o que

confere propriedades viscoelásticas para as farinhas de trigo (DELCOUR et al., 2012). O glúten é resultado da união entre gliadinas e gluteninas, que ocorre mediante a presença de água e mistura mecânica, formando uma rede elástica entre essas proteínas (Figura 8).

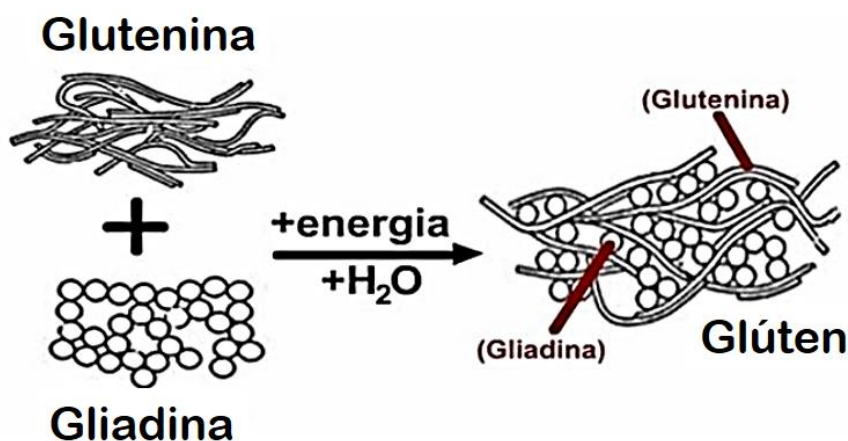


Figura 8 - Exemplificação da formação do glúten.

Fonte: Moraes (2016).

Além do amido e proteínas, mesmo que em pequenas quantidades, outros componentes são encontrados nos grãos, dentre eles estão lipídeos, fibras, vitaminas e minerais. Conforme descrito por Biel et al. (2021), os lipídeos estão concentrados no gérmen (28,5%) e camada de aleurona (8%), enquanto no endosperma representam apenas cerca de 1,5%. Embora em teores baixos, o trigo possui alguns compostos fitoquímicos da classe dos compostos fenólicos e terpenóides, que normalmente encontram-se dispostos no pericarpo e camada de aleurona (SHEWRY e HEY, 2015). Lachman et al. (2017) afirmam que esses compostos são relevantes para a saúde humana, devido a função antioxidante que possuem.

#### 4.4 Qualidade química e industrial

Uma grande variedade de produtos leva trigo em sua composição, seja na forma de farinha refinada ou integral, sendo matéria prima para a fabricação de pães, massas, bolos, biscoitos, entre outros. Diferentes atributos de qualidade são exigidos

nos grãos em função da finalidade desejada, no entanto, o conceito de qualidade pode ter diferentes interpretações, dependendo do destino do grão.

A indústria utiliza diversas análises como parâmetros de qualidade nos grãos e farinhas, afim de separá-los em classes e tipos. Os principais atributos avaliados são aqueles relacionados as características físico-químicas dos grãos e propriedades reológicas das farinhas. Nas Tabelas 1 e 2, constam os parâmetros levados em consideração para a determinação de classe e tipificação de trigo do Grupo II, de acordo com os valores estabelecidos pela Instrução Normativa N°38/2010, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2010).

Tabela 1 - Classes do trigo do Grupo II destinado à moagem e outras finalidades.

Classes	Força do Glúten (Valor mínimo expresso em 10 <sup>-4</sup> J)	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

Tabela 2 - 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

Do ponto de vista mecânico, a dureza do grão é uma medida que indica a resistência dos grãos ao cisalhamento, ou seja, um fator que interfere diretamente na moagem dos grãos e obtenção da farinha. De acordo com Scheuer et al. (2011), o conteúdo de proteínas é o principal critério levado em consideração para a identificação da dureza do trigo. Neste sentido, os grãos podem ser categorizados como trigo mole, intermediário e duro. Heinze (2017) especifica que em função do teor de proteínas do trigo, e conseqüentemente da dureza dos grãos, determina-se a aplicação mais adequada das farinhas na fabricação de produtos. Na Figura 9 constam os principais usos das farinhas de trigo, o trigo mole, por exemplo, é utilizado

para a produção de bolos e cookies, em contrapartida para a confecção de pães e massas são indicados grãos com maior dureza. Segundo Delcour et al. (2012), os grãos enquadram-se como trigo mole quando possuem entre 8% e 11% de proteínas e o trigo duro contendo de 10% a 14%. Já a espécie *Triticum durum*, classificados quanto a dureza como grãos muito duros, podem apresentar variação de 9% a 18% no teor de proteínas.

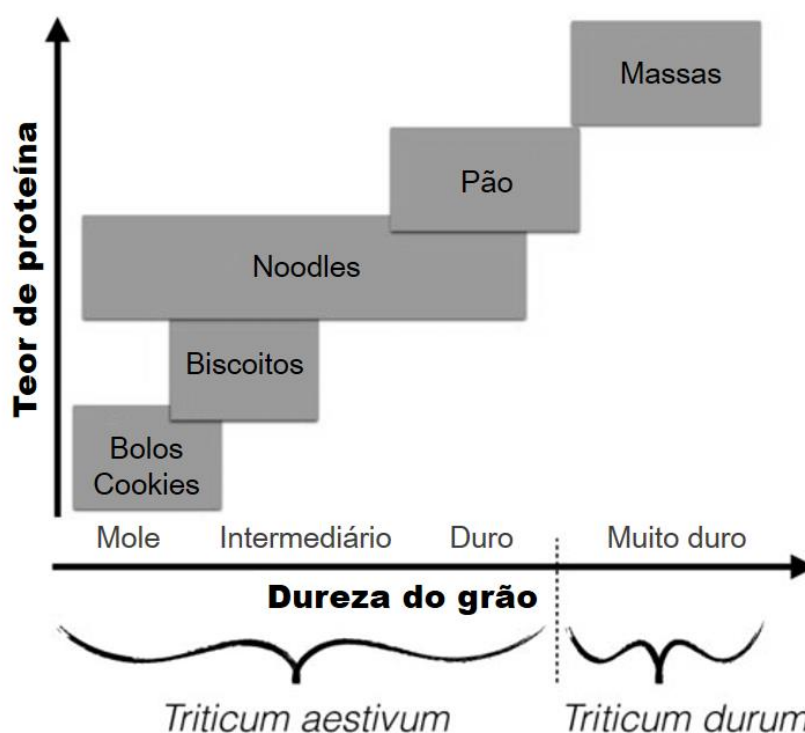


Figura 9 - Finalidade de uso das farinhas de trigo de acordo com o conteúdo de proteínas.

Fonte: Heinze (2017).

Em razão da presença de glúten, rede elástica que promove extensibilidade e consistência, as farinhas de trigo possuem características tecnológicas favoráveis para aplicação na panificação. Em virtude dessas propriedades plásticas do glúten é que ocorrem os processos de expansão e retenção de gás nas massas, sendo importante neste sentido salientar a integridade e funcionalidade desta rede (MÓDENES; SILVA; TRIGUEROS, 2009; VASCONCELOS et al., 2013). Dado que o teor de proteínas pode oscilar nos grãos, sabe-se que além da quantidade, a qualidade e composição das proteínas pode variar e, conseqüentemente, do glúten.

Neste caso, a alveografia é um parâmetro importante para identificar farinhas que possuem maior ou menor força de glúten, além de características específicas, como tenacidade e extensibilidade de uma massa (JODAL e LARSEN, 2021; PHAKELA et al. 2021).

Além das propriedades relacionadas às proteínas, para a indústria, a medição da atividade enzimática do trigo é usada como um indicador de qualidade. A partir desta resposta, é possível estimar a capacidade de fermentação do produto, que é um fator chave para garantir a qualidade esperada do produto final. O método do *Falling Number* (no português, número de queda) é utilizado para verificar indiretamente a atividade de  $\alpha$ -amilase, enzima presente nos grãos de trigo, com resultados em segundos. Quanto maior o valor encontrado no teste, menor a atividade enzimática do trigo e vice-versa. Na panificação, a atividade enzimática é considerada suficiente quando o número de queda fica na faixa de 250 segundos. Um valor muito baixo significa que existem muitas enzimas atuando na farinha, o que pode propiciar a formação de pães com propriedades organolépticas insatisfatórias (MOHLER et al., 2014; HE et al., 2019).

Segundo Hu et al. (2022), a determinação do número de queda é uma forma de constatar danos causados pela germinação, uma vez que durante a germinação ocorre o processo de ativação enzimática e consumo de reservas. Farinhas provenientes de grãos germinados são aquelas que terão uma alta atividade de  $\alpha$ -amilase. Sendo assim, a germinação dos grãos ainda no campo afeta também a qualidade da farinha e sua principal causa é o excesso de chuvas antecedendo a colheita do trigo.

Em termos de segurança dos alimentos, tanto a indústria quanto a sociedade buscam pela obtenção e consumo de produtos livres de contaminantes, que são considerados nocivos à saúde humana por causarem diversas intoxicações e mortes. No trigo, frequentemente, fala-se sobre a ocorrência de contaminantes nos grãos, como é o caso das micotoxinas e dos resíduos de defensivos agrícolas.

Tecnicamente, as micotoxinas são compostos químicos gerados pelo metabolismo secundário de fungos toxigênicos que se desenvolvem em grãos e seus subprodutos, tanto no campo quanto durante o armazenamento. Para que ocorra a formação dessas toxinas são necessárias condições favoráveis, principalmente altas temperaturas e umidades. Na lavoura de trigo, a contaminação por micotoxinas é geralmente associada à Giberela e as chuvas na pré-colheita proporcionam um meio

ideal para a produção de micotoxinas, em particular desoxinivalenol (DON) (TOLA e KEBEDE, 2016; BERNARDI et al., 2018).

Liu et al. (2016) avaliaram a quantidade de DON em farinhas de trigo, produzidas entre os anos de 2011 e 2013 na China, e concluíram que mais de 90% das amostras analisadas estavam contaminadas pela micotoxina. Já no Brasil, Savi et al. (2016) constataram que 35% das amostras de farelo e farinha de trigo, de um total de 60 amostras, não estavam dentro dos limites de tolerância de DON estabelecidos pela legislação brasileira.

De acordo com dados apresentados por Tibola e Fernandes (2020) foram avaliadas 1.000 amostras comerciais de trigo produzidas nas safras de 2009 a 2017 na região sul do Brasil, deste montante 36% excederam o limite de DON permitido na época (1.000ppb). Ademais, das amostras oriundas do Rio Grande do Sul verificou-se uma média de 1.500ppb de DON nas amostras.

Bernardi et al. (2018) explicam que novos limites máximos de tolerância (LMT) de DON foram estabelecidos pela legislação brasileira, tornando-os mais rígidos, entrando em vigor a partir de janeiro de 2019. Os limites para farinha de trigo integral e farelo de trigo para consumo, passaram de 1.250 para 1.000ppb, já para a farinha de trigo refinada a redução foi de 1.000 para 750ppb.

Da mesma forma que acontece com micotoxinas, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) determina também os Limites Máximos de Resíduos (LMR), os quais dizem respeito às quantidades toleradas legalmente de agroquímicos nos alimentos (ANVISA, 2022). Embora o uso de defensivos (fungicidas, herbicidas ou inseticidas) seja indispensável para a produção de trigo para evitarem perdas de rendimento e na qualidade dos grãos, os riscos representados por seus resíduos nos alimentos são preocupantes, visto que é crucial para a saúde humana o consumo de grãos livres de contaminação (BRAUNS et al., 2018; MALALGODA e SIMSEK, 2022).

#### **4.5 Alimentação e nutrição**

A cultura do trigo exerce papel fundamental para a garantia da segurança alimentar mundial, mais de 120 países, distribuídos pela América, África, Ásia, Europa e Oceania, são responsáveis pela produção deste cereal (SHIFERAW et al., 2013). De acordo com Erenstein et al. (2022), o trigo é consumido em 173 países, sendo que em 102 deles o consumo per capita é superior a 50kg/ano. O consumo brasileiro de

trigo, especificamente, apresentou uma tendência de crescimento nas últimas duas décadas, conforme demonstrado na Figura 10 (USDA, 2020).



Figura 10 - Série histórica de 2000 a 2021 do consumo brasileiro de trigo.

Fonte: USDA (2020).

As frações constituintes do grão de trigo fornecem uma quantidade substancial de carboidratos, fibras, proteínas, minerais e vitaminas para a alimentação humana, estima-se que cerca de 20% da ingestão total de calorias e proteínas da população global seja feita através do trigo (BROUNS, VAN BUUL e SHEWRY, 2013; SHIFERAW et al., 2013; SHEWRY e HEY, 2015; ERENSTEIN et al., 2022). Pesquisas realizadas nos últimos anos reforçam a importância da inserção de cereais na dieta alimentar, não somente como fonte de energia, mas pela necessidade de saudabilidade e bem-estar, que são requisitos buscados pelos consumidores (JONES et al., 2015; ZHU, 2018; SPRINGMANN et al., 2020; OMAR et al., 2021; IFIC, 2022).

Em relação ao amido, constituinte majoritário do trigo, Poole, Donovan e Erenstein (2021) descrevem sobre a importância e potencial funcionalidade nas dietas alimentares que contiverem este carboidrato. Os autores explicam que cereais com teores mais altos de amilose em comparação a amilopectina promovem redução na digestibilidade e glicemia pós-prandial, enfatizando que nesta situação o índice



glicêmico é reduzido após a ingestão do alimento, o que é benéfico para pessoas com comorbidades como diabetes e obesidade.

Juntamente à função energética, o trigo apresenta uma gama de componentes que exercem função nutricional para a alimentação humana. Além de vitaminas, principalmente as do complexo B, diversos fitoquímicos, também denominados compostos bioativos são encontrados no trigo, como os polifenóis, terpenóides e carotenoides. Geralmente, estes compostos encontram-se distribuídos mais periféricamente nos grãos, principalmente no pericarpo e camada de aleurona (ROSA-SIBAKOV, POUTANEN E MICARD, 2015; SHEWRY E HEY, 2015).

Os polifenóis, também conhecidos como compostos fenólicos, são de particular importância no trigo, pois são a classe mais diversa de fitoquímicos encontrada nos grãos (ZHU et al., 2022). Baseado em sua estrutura química os polifenóis são classificados em ácidos fenólicos, estilbenos, lignanas e flavonóides (SHAHADI e AMBIGAIPALAN, 2015). De acordo com Fraga et al. (2019), os compostos fenólicos possuem efeitos benéficos contra muitas doenças devido as suas propriedades antioxidante, anticancerígenas, atuando também na prevenção de diabetes e doenças cardiovasculares.

Os hábitos alimentares dos consumidores têm mudado ao longo dos últimos anos, neste sentido a busca por alimentos com melhor qualidade e valor nutricional aumentou. A demanda por produtos de base vegetal também é crescente, resultado de uma sociedade moderna, que busca alternativas aos padrões atuais de refeições, assim como nichos específicos, tal como a dieta de base vegana e vegetariana (LUZ e PALLONE, 2022). Segundo Capuano e Pellegrini (2019) nesta mesma lógica, a procura por produtos de trigo que sejam ricos em compostos bioativos, melhorando assim a qualidade nutricional dos alimentos tem aumentado.

Zhu et al. (2022) avaliaram seis variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) quanto à composição metabólica em diferentes frações dos grãos, as análises revelaram que o farelo de trigo (pericarpo) se apresenta como uma fonte considerável de compostos bioativos. Os autores enfatizam que os flavonóides foram os metabólitos encontrados em maiores concentrações nas camadas externas do grão.

Conforme descrito por Poole, Donovan e Erenstein (2021) o consumo de grãos integrais não processados é mais benéfico para a saúde do que os denominados alimentos integrais processados, pois nem sempre apresentam a mesma qualidade nutritiva. Dewettinck et al. (2008) salienta que a moagem e o

processamento de cereais acarretam em perdas de quantidades significativas de proteínas, fibras, vitaminas, minerais e compostos bioativos. Segundo Drewnowski et al. (2021), os grãos integrais possuem maior conteúdo de micronutrientes como ferro, magnésio, fósforo, potássio, selênio e zinco quando comparados às farinhas e alimentos refinados.

As diretrizes alimentares dos Estados Unidos de 2020 (*Dietary Guidelines Advisory Committee*) recomendaram para a população que para uma alimentação saudável seja consumido diariamente 84g de grãos integrais em uma dieta de 2000kcal (DGA, 2020).

Considerando os atrativos do consumo de grãos integrais, como as vantagens para a saúde, Silveira et al. (2020) estudaram a possibilidade de uma nova forma de consumo de trigo no Brasil, como grão inteiro cozido. Os autores avaliaram atributos físicos e aspectos relacionados a digestibilidade do amido, concluindo que os grãos são aptos para essa finalidade e evidenciando que há potencial para esta área ser mais explorada, visando aumentar o consumo de trigo integral.

## 5 CAPÍTULO 1 – QUALIDADE DOS GRÃOS EM RESPOSTA A ÉPOCA DE COLHEITA E DIFERENTES GENÓTIPOS DE TRIGO

### 5.1 Introdução

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é o cereal mais cultivado no mundo, sendo considerado uma cultura que possui extrema importância econômica e para a segurança alimentar. De acordo com projeções da Organização das Nações Unidas, estima-se que a população mundial deve chegar em 8,5 bilhões em 2030 e em aproximadamente 9,7 bilhões de pessoas em 2050 (ONU, 2022; USDA, 2022). Visto isto, será necessário que a produção agrícola global cresça consideravelmente, incluindo o trigo, para sanar a demanda que essa população exigirá.

Kiszonas e Morris (2018) salientam que a solução mais sustentável para ampliar a produção de trigo está no melhoramento genético, através do desenvolvimento de novas variedades de trigo. Entretanto, além de aumentar o potencial produtivo do trigo, tem-se a preocupação de gerar materiais que sejam mais adaptáveis a condições adversas e ainda mantenham uma boa qualidade tecnológica (SAVADI et al., 2018).

O Brasil ainda não é um país autossuficiente em trigo, devido aos elevados custos de produção, intempéries que dificultam o rendimento da cultura, falta de enquadramento na qualidade tecnológica, além de aspectos ligados a política e competitividade internacional (De Mori, 2015). Segundo Alves et al. (2022), se a produção brasileira de trigo mantiver a mesma tendência de crescimento apresentada nas últimas três safras (2019, 2020 e 2021), principalmente no Rio Grande do Sul, o país produzirá o suficiente para sua demanda interna em menos de dez anos.

Souza (2021) analisou o desempenho de trigo em áreas comumente utilizadas para o cultivo de arroz na região Sul do estado de Santa Catarina, o autor destacou que os resultados de produtividade surpreenderam positivamente, pois foram superiores à média nacional, alcançando 4445 kg/ha. Neste sentido, o trigo seria uma alternativa interessante para o aproveitamento dessas áreas, que geralmente são destinadas à produção de arroz e soja, durante o inverno.

Quanto à qualidade do trigo, sabe-se que pode ser alterada por diversos fatores, entretanto o principal deles é considerado a interação genótipo/ambiente, a deposição de proteínas e amido nos grãos, por exemplo, pode variar muito devido a essa interação durante o ciclo da cultura. No período de desenvolvimento dos grãos,

principalmente na maturação, fatores ambientais podem afetar grandemente em sua qualidade, como a ocorrência de estresses térmicos e hídricos. Ainda neste âmbito, atrasos na colheita podem reduzir a qualidade dos grãos, devido aos maiores riscos de deterioração no campo (MARCANDALLI, LAZARINI e MALASPINA, 2011; TAVARES et al., 2018; BAGULHO et al., 2020).

Portanto, com este estudo objetivou-se estudar a produção de trigo na região Sul do Rio Grande do Sul, avaliando os efeitos dos genótipos e sua época de colheita sobre a qualidade e composição química dos grãos, assim como as propriedades tecnológicas das farinhas de trigo.

## **5.2 Materiais e métodos**

### **5.2.1 Materiais**

Dez genótipos brasileiros de trigo (*Triticum aestivum* L.) recomendados para cultivo no sul do Brasil foram utilizados neste estudo: BRS Belajoia, BRS Pastoreio, BRS Reponte, ORS 1403, TBIO Audaz, TBIO Ponteiro, TBIO Sinuelo, TBIO Sonic, TBIO Sossego e TBIO Toruk. As principais características de cada são apresentadas na Tabela 3, assim como os dados de produtividade obtidos neste estudo.

Todos os materiais foram cultivados na safra 2019 em área experimental localizada no Centro Agropecuário da Palma, da Universidade Federal de Pelotas, no município de Capão do Leão (31°48'03"S e 52°30'09"W), que pertence a região Sul do estado do Rio Grande do Sul (Brasil). Os genótipos escolhidos foram semeados no dia 20 de junho de 2019 em três parcelas aleatórias constituídas por 16 linhas, contabilizando 13.66 m<sup>2</sup> de área por tratamento. Todas as parcelas experimentais foram igualmente adubadas com 120kg.ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, 75kg.ha<sup>-1</sup> de fósforo e 80kg.ha<sup>-1</sup> de potássio. Não foram realizadas aplicações de agroquímicos ao decorrer deste experimento. Os dados climatológicos referentes ao período em que a cultura se estabeleceu estão abaixo representados na Figura 11. As colheitas ocorreram em duas datas, com intervalo de dez dias, 08 de novembro (época de colheita 1 – EC1) e 18 de novembro (época de colheita 2 – EC2), sendo realizada de forma manual e a debulha dos grãos mecanicamente. Após a colheita, os grãos foram secos até aproximadamente 12% de umidade e armazenados em câmara com controle de temperatura a 15°C. Para realização das análises que necessitam de farinha refinada de trigo, uma alíquota de cada tratamento foi condicionada por 24 h até 16% de umidade e foram moídos em um moinho de laboratório (CD1, Chopin, France).

Tabela 3 - Lista de genótipos e suas características de classificação comercial, dureza, produtividade, suscetibilidade a germinação na espiga, suscetibilidade a giberela e ciclo da cultura.

Genótipo	Classificação comercial	Dureza do grão	Produtividade (kg.ha <sup>-1</sup> )			Germinação na espiga	Suscetibilidade à giberela	Ciclo ótimo (dias)**
			*CPL 1 <sup>a</sup> colheita	CPL 2 <sup>a</sup> colheita	Média nacional			
1 BRS Belajoia	Doméstico	SI	2.479	2.433	5.334 <sup>1</sup>	MR/MS	MS	128
2 BRS Pastoreio	Outros usos	SI	1.969	3.498	4.440 <sup>1</sup>	MR	MR	156
3 BRS Reponte	Doméstico/Pão	Duro	1.507	2.300	4.864 <sup>1</sup>	MR	MR	133
4 ORS 1403	Pão	Duro	2.085	2.205	5.669 <sup>2</sup>	MR	MR	132
5 TBIO Audaz	Melhorador	Duro	2.558	2.424	6.209 <sup>2</sup>	MR	MS	120
6 TBIO Ponteiro	Pão	Duro	3.244	2.492	6.109 <sup>2</sup>	MR	MS	151
7 TBIO Sinuelo	Pão	Duro	1.523	2.167	6.129 <sup>2</sup>	MR	MS/MR	150
8 TBIO Sonic	Pão/Melhorador	Duro	2.377	1.643	6.135 <sup>2</sup>	MR	S	115
9 TBIO Sossego	Pão	Duro	2.119	1.996	6.143 <sup>2</sup>	MR	MR	145
10 TBIO Toruk	Pão/Melhorador	Duro	2.248	2.201	6.248 <sup>2</sup>	MR	S/MS	145

\*Coordenada do local de produção em Capão do Leão (CPL), Centro Agropecuário da Palma: Altitude 35m; Latitude 31°48'03"S; Longitude 52°30'09"W.

\*\* Primeira colheita: 08/11/2019 (ciclo de 141 dias). Segunda colheita: 18/11/2019 (ciclo de 151 dias).

<sup>1</sup>Dados obtidos em documentos da Embrapa. <sup>2</sup>Dados obtidos do Ensaio de Cultivares em Rede de Trigo – RS, safra 2019.

R: resistente; MR: moderadamente resistente; S: suscetível; MS: moderadamente suscetível; SI: sem informação.

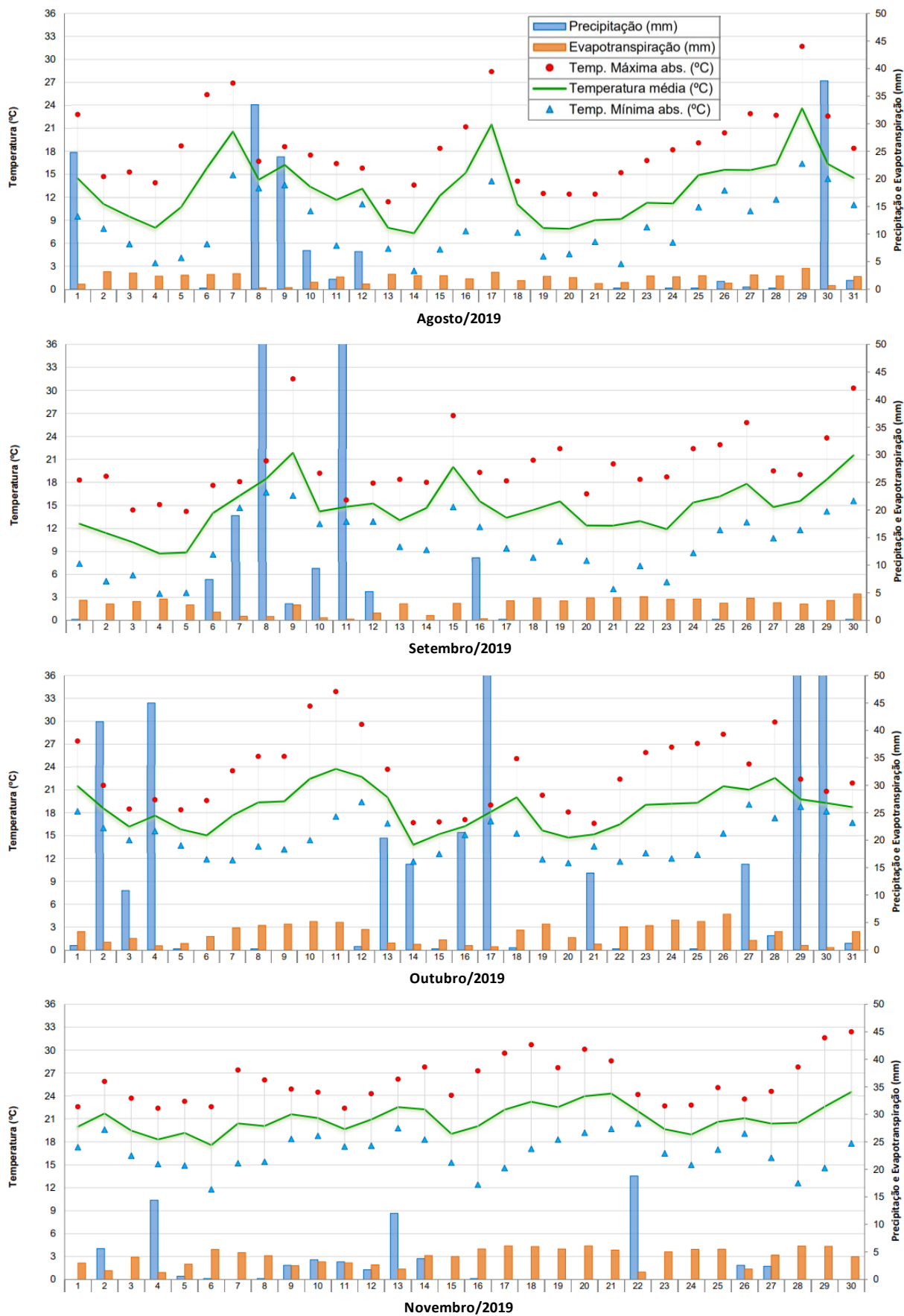


Figura 11 - Dados climatológicos referentes ao período de desenvolvimento do experimento.

## **5.2.2 Métodos**

### **5.2.2.1 Peso hectolitro**

O peso hectolitro dos grãos foi determinado em escala hectolitro (Dalle Molle, Brasil), utilizando uma balança com capacidade de um quarto de litro, de acordo com a metodologia descrita pelo método oficial de análise de sementes (BRASIL, 2009). O resultado foi expresso em  $\text{kg.hL}^{-1}$ .

### **5.2.2.2 Peso de mil grãos**

O peso de mil grãos foi determinado através do método estabelecido pelas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), onde 100 grãos foram contados 8 vezes para cada amostra e pesados em balança de precisão.

### **5.2.2.3 Chochos, Quebrados, Triguilhos e Giberelados**

A identificação e separação dos grãos com defeitos seguiu os conceitos definidos na Instrução Normativa 38/2010, do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA. Foram utilizadas amostras de 100g por tratamento, e após isto os resultados foram expressos pela média das repetições em percentual de grãos chochos, quebrados, triguilhos e giberelados.

### **5.2.2.4 Composição centesimal**

Proteínas, lipídios, fibras, cinzas e amido foram determinados por espectroscopia de infravermelho próximo - NIRS. As amostras de grãos de trigo foram analisadas em um espectrômetro (NIRS™ DS2500, FOSS, Dinamarca) com leituras na faixa de 400 a 2500 nm, com uma curva de calibração específica para grãos de trigo. Os resultados são expressos em porcentagem após a leitura de três repetições das amostras.

### **5.2.2.5 Quantificação de micotoxinas**

O extrato para análise foi obtido conforme orientações do kit de análise Envirologix QuickTox (EnviroLogix, Portland, USA). Em um frasco com tampa são colocados 50g de amostra moída (farinha integral) e 100mL de água destilada. Essa mistura é agitada durante 2min e mantida em repouso até que se formem duas fases dentro do frasco. 100 $\mu$ L do sobrenadante são então coletados e transferidos para o

vial de análise contendo 100µL do buffer de análise. Após homogeneizar essa mistura, é colocada a fita de leitura e deixa-se a reação ocorrer durante 5min. A fita é retirada para leitura no QuickScan. A quantificação ocorre por leitura da fita contendo o extrato de micotoxinas no aparelho QuickScan.

#### **5.2.2.6 Tempo de cocção**

O tempo de cozimento do trigo foi determinado pelo teste descrito por Silveira et al. (2020), onde amostras de grãos de trigo (10g) foram adicionadas a 200ml de água destilada em um béquer sobre uma placa quente. A contagem do tempo de cozimento foi iniciada imediatamente após o contato com a água fervente. Após 20min de cozimento, 10 grãos foram verificados a cada minuto, amassados entre duas placas de vidro. Se 90% dos grãos não apresentassem o centro branco, consideravam-se cozidos.

#### **5.2.2.7 Grãos danificados**

O percentual de grãos danificados foi obtido após a classificação e separação visual de 20 g de grãos, sendo considerados como dano a abertura ou rachadura do pericarpo (exposição do amido), e não danificados aqueles que permaneceram íntegros após a cocção. O resultado final equivale ao percentual de grãos danificados em relação ao total inicial (Silveira et al., 2020).

#### **5.2.2.8 Dureza após a cocção**

A dureza dos grãos após a cocção foi realizada seguindo o método de Silveira et al. (2020), em resumo, 20g de grãos após serem submetidos ao processo de cocção foram analisados em um texturômetro (TA.XTplus, Stable Micro Systems, Inglaterra). Para isso, três grãos de trigo cozidos foram dispostos no analisador de textura, os mesmos foram submetidos a 90% de compressão com probe cilíndrico. Dois ciclos de compressão com velocidade de pré-teste, teste e pós-teste ajustados em 1,5mm.s<sup>-1</sup>, 0,67mm.s<sup>-1</sup> e 2,0mm.s<sup>-1</sup>, respectivamente. Os resultados desta análise foram expressos em Newtons (N), pela média de 15 repetições por amostra.



### **5.2.2.9 Teor de amilose**

A análise do teor de amilose das farinhas de trigo foi realizada modificando a metodologia descrita por McGrane, Cornell e Rix (1998). Inicialmente, 100mg de farinha de trigo pré-desengordurada e peneirada (100 mesh) foram pesados em um tubo falcon de 15mL, ao qual foram adicionados 8mL de dimetilsulfóxido a 90% logo em seguida. Aqueceu-se os tubos em banho-maria a 90°C por 2h, agitando a amostra rapidamente em vortex a cada 30min. Após arrefecimento, a dispersão foi completada até 25ml com água num balão volumétrico. Transferiu-se uma alíquota de 1mL para um tubo de ensaio contendo 44mL de água, onde se misturou com 5mL de solução de iodeto de potássio. Após um descanso de 15min, foram feitas leituras de absorbância a 600nm. A curva de calibração foi construída usando padrão de amilose de batata pura (Sigma-Aldrich Co., EUA) nas concentrações de 0; 0,08; 0,16; 0,32; 0,64; 0,96; 1,28 e 1,60mg/ml.

### **5.2.2.10 Glúten úmido e Índice de glúten**

O teor de glúten úmido e o índice de glúten foram determinados de acordo com o método AACC (2010) nº 38-12.02 usando o equipamento Glutomatic (2100, Perten Instruments, EUA).

### **5.2.2.11 Características alveográficas**

As propriedades viscoelásticas, obtidas pela alveografia, foram mensuradas através de espectroscopia de infravermelho próximo - NIRS. As amostras de trigo foram analisadas em um espectrômetro (NIRS™ DS2500, FOSS, Dinamarca) que contém uma curva de calibração específica para avaliar farinhas de trigo. Foram obtidas as seguintes variáveis: tenacidade (P), extensibilidade (L) e força de glúten (W).

### **5.2.2.12 Número de queda**

O número de queda, que analisa a atividade da enzima  $\alpha$ -amilase, foi avaliado em um aparelho Falling Number (FN 1800, Perten Instruments, EUA) de acordo com o Método AACC (2010) Nº 56-81.03.

### **5.2.2.13 Propriedades de pasta**

As propriedades de pasta (viscoamilograficas) foram avaliadas em um viscosímetro (RVA-3D, Newport Scientific, Austrália), de acordo com o método nº 76-21.01 (AACC, 2010). Os seguintes parâmetros foram determinados: pico de viscosidade, viscosidade mínima, quebra, viscosidade final, retrogradação e temperatura de pasta.

### **5.2.2.14 Análise estatística**

Os dados avaliados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e, posteriormente, comparados pelo teste de Tukey e teste t de Student a 5% de significância para evidenciar diferenças dos resultados entre os 10 genótipos e as 2 épocas de colheita estudadas.

## **5.3 Resultados e discussão**

### **5.3.1 Atributos de qualidade dos grãos**

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados de peso hectolitro e peso de mil grãos dos dez genótipos de trigo estudados em suas duas épocas de colheita.

O peso hectolitro (PH) foi influenciado diretamente pela época de colheita, com exceção do genótipo BRS Pastoreio, os demais exibiram reduções significativas na segunda colheita. Inclusive, os grãos do genótipo BRS Pastoreio obtiveram os menores resultados da variável peso hectolitro, 73,30 e 74,98 kg.hL<sup>-1</sup> para as épocas 1 e 2, respectivamente. O restante dos genótipos tiveram o peso hectolitro oscilando entre 77,17 e 81,89 kg.hL<sup>-1</sup> na primeira época, e entre 75,49 e 80,51 kg.hL<sup>-1</sup> na segunda época de colheita. Os maiores valores de PH foram obtidos pelo genótipo BRS Reponte em ambas as colheitas (Tabela 4).

Segundo White et al. (2021), o peso hectolitro é definido como a medida do peso de um volume conhecido de grãos, sendo considerado um importante indicador de qualidade no trigo. Valores baixos de PH podem indicar grãos mal preenchidos, deformados e/ou com alto teor de umidade. Além disso, Manley et al. (2009) enfatizam que há muitos anos o PH é utilizado como um indicador de rendimento de farinha, de modo que, baixos PH resultam em baixas taxas de extração de farinha de trigo.

Tabela 4 - Peso hectolitro e peso de mil grãos dos genótipos de trigo colhidos em duas épocas.

Genótipo	Peso hectolitro (kg.hL <sup>-1</sup> )		Peso de mil grãos (g)	
	EC1	EC2	EC1	EC2
BRS Belajoia	80,45 ± 0,27 b*	79,91 ± 0,38 ab	25,14 ± 1,69 e <sup>ns</sup>	26,16 ± 1,63 b
BRS Pastoreio	73,30 ± 0,06 e*	74,98 ± 0,21 h	19,81 ± 0,64 g*	21,95 ± 0,80 c
BRS Reponte	81,89 ± 0,12 a*	80,51 ± 0,36 a	32,94 ± 1,13 b*	31,49 ± 0,58 a
ORS 1403	78,48 ± 0,60 c <sup>ns</sup>	78,35 ± 0,25 cd	21,65 ± 0,78 f*	22,65 ± 0,88 c
TBIO Audaz	78,72 ± 0,26 c*	76,79 ± 0,50 fg	27,21 ± 0,58 d*	26,06 ± 0,77 b
TBIO Ponteiro	80,42 ± 0,51 b*	78,17 ± 0,34 de	25,83 ± 0,99 de <sup>ns</sup>	25,46 ± 1,12 b
TBIO Sinuelo	77,17 ± 0,23 d*	76,36 ± 0,41 g	20,61 ± 0,92 fg*	22,30 ± 0,54 c
TBIO Sonic	78,72 ± 0,55 c*	77,32 ± 0,36 ef	35,25 ± 0,93 a*	32,76 ± 0,57 a
TBIO Sossego	78,46 ± 0,11 c*	75,49 ± 0,44 h	24,60 ± 1,26 e*	23,11 ± 0,98 c
TBIO Toruk	80,09 ± 0,39 b*	79,14 ± 0,88 bc	29,48 ± 0,84 c*	26,99 ± 1,35 b

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $P < 0.05$ ) entre os genótipos. O símbolo \* na mesma linha indica diferença estatística pelo teste de  $t$  ( $P < 0.05$ ) entre a época de colheita 1 (EC1) e a época de colheita 2 (EC2), enquanto a abreviação “ns” significa não significativo.

Durante o desenvolvimento dos grãos na planta até a colheita, o trigo pode ser exposto a ciclos de excesso de umidade e de seca, provocados pela ação de chuvas e sol. Nos períodos de molhamento o grão tende a se expandir, ficando menos denso, ocasionado a redução do PH (MANLEY et al., 2009).

Outro ponto importante está no fato do PH ser utilizado como requisito para tipificação dos grãos, de acordo com a IN 38/2010 do MAPA o trigo é considerado fora de tipo quando os grãos apresentam PH inferior a 72 kg.hL<sup>-1</sup>, além disso a tipificação dos grãos interfere no valor de mercado, sendo o PH um importante parâmetro neste sentido (BRASIL, 2010). Analisando nossos resultados, na primeira época de colheita 8 genótipos seriam enquadrados em tipo 1, já nos grãos da segunda colheita esse número reduziria para 5.

O peso de mil grãos (PMG), atributo associado diretamente as dimensões dos grãos, é considerado também um indicador da qualidade industrial do trigo (MARINHO et al., 2022). O resultado mais alto foi de 35,25g (TBIO Sonic – EC1), enquanto o menor valor foi 19,81g (BRS Pastoreio – EC1), encontrado no mesmo genótipo que apresentou menores valores de peso hectolitro. Os genótipos BRS Reponte, TBIO Audaz, TBIO Sonic, TBIO Sossego e TBIO Toruk apresentaram maiores PMG quando colhidos na primeira época, enquanto BRS Pastoreio, ORS 1403 e TBIO Sinuelo

mostraram comportamento contrário. BRS Belajoia e TBIO Ponteiro não demonstraram diferenças significativas entre as duas épocas de colheita.

A procedência genética do trigo influencia diretamente neste parâmetro, mas além disso o ambiente de cultivo e o manejo interferem significativamente no peso dos grãos (MARINHO et al., 2022; SHAMUYARIRA et al., 2022). A variabilidade de valores de PMG encontrada no estudo, mostrou o quanto os genótipos influenciam nesse parâmetro, além da época de colheita que também assegurou diferenças significativas. Na literatura, os principais pontos sobre o PMG do trigo dizem respeito ao tamanho dos grãos e no quanto isso interfere na obtenção da farinha, salientando que grãos maiores conseqüentemente produzem mais farinha (GUTKOSKI et al., 2008). Alves (2019) avaliou o PMG de alguns genótipos de trigo cultivados no estado de São Paulo, dentre seus resultados o genótipo TBIO Toruk destacou-se apresentando PMG de 38,04g, valor superior a 29,48g (TBIO Toruk – EC1), que foi o máximo que este genótipo apresentou em nosso estudo.

Os grãos foram avaliados quanto a presença de triguilhos, chochos, quebrados e giberelados, estes resultados estão demonstrados na Tabela 5.

Triguilhos são definidos como os grãos de trigo bem formados, porém com tamanho abaixo do comum, segundo a Instrução Normativa nº 38/2010 são os grãos que vazam na peneira de crivos oblongos de 1,75 mm x 20,00 mm. Conforme apresentado na Tabela 5, de maneira geral para a maioria dos genótipos a época de colheita não influenciou na quantidade de triguilhos, apenas três genótipos mostraram diferenças significativas (BRS Reponde, TBIO Audaz e TBIO Sonic). TBIO Sinuelo exibiu os maiores percentuais de triguilhos, 0,7159% em EC1 e 0,4651% em EC2.

Os genótipos BRS Pastoreio e TBIO Sinuelo obtiveram as maiores quantidades de grãos chochos, cerca de 4% na primeira época e 2% na segunda época de colheita, evidenciando que para esses materiais os dez dias a mais na lavoura foram proveitosos para a redução dos grãos chochos. Além desses dois genótipos, TBIO Audaz apresentou uma redução significativa, alternando de 0,8818% para 0,4168% na segunda colheita, os demais tratamentos não apresentaram diferenças significativas entre as duas colheitas.

Em relação ao percentual de quebrados, houve uma grande variação entre genótipos e épocas de colheita, o resultado mais alto foi 10,12% (TBIO Sonic – EC2), já o menor valor foi 1,80% (BRS Reponde – EC1).

Tabela 5 - Percentual de trigulhos, chochos, quebrados e giberelados encontrados nos dez genótipos de trigo colhidos em duas épocas.

Genótipo	Trigulhos (%)		Chochos (%)	
	EC1	EC2	EC1	EC2
BRS Belajoia	0,22 ± 0,04 b <sup>ns</sup>	0,23 ± 0,03 bc	1,10 ± 0,15 cd <sup>ns</sup>	1,03 ± 0,11 cde
BRS Pastoreio	0,47 ± 0,01 ab <sup>ns</sup>	0,28 ± 0,07 abc	4,59 ± 0,42 a*	2,01 ± 0,15 ab
BRS Reponte	0,00 ± 0,00 b*	0,13 ± 0,03 cd	0,48 ± 0,09 cd <sup>ns</sup>	0,34 ± 0,04 ef
ORS 1403	0,30 ± 0,00 ab <sup>ns</sup>	0,26 ± 0,05 bc	2,88 ± 0,48 b <sup>ns</sup>	1,37 ± 0,14 bcd
TBIO Audaz	0,10 ± 0,00 b*	0,17 ± 0,02 cd	0,88 ± 0,30 cd*	0,42 ± 0,15 ef
TBIO Ponteiro	0,39 ± 0,10 ab <sup>ns</sup>	0,38 ± 0,07 ab	0,86 ± 0,14 cd <sup>ns</sup>	1,42 ± 0,41 bcd
TBIO Sinuelo	0,72 ± 0,33 a <sup>ns</sup>	0,46 ± 0,04 a	4,81 ± 0,12 a*	2,60 ± 0,44 a
TBIO Sonic	0,05 ± 0,01 b*	0,00 ± 0,00 d	0,33 ± 0,10 d <sup>ns</sup>	0,14 ± 0,04 f
TBIO Sossego	0,40 ± 0,17 ab <sup>ns</sup>	0,23 ± 0,08 bc	1,32 ± 0,19 c <sup>ns</sup>	1,50 ± 0,04 bc
TBIO Toruk	0,19 ± 0,02 b <sup>ns</sup>	0,18 ± 0,02 cd	0,60 ± 0,06 cd <sup>ns</sup>	0,64 ± 0,00 def

Genótipo	Quebrados (%)		Giberelados (%)	
	EC1	EC2	EC1	EC2
BRS Belajoia	3,45 ± 0,23 cd*	4,45 ± 0,22 bc	1,10 ± 0,17 ab*	2,15 ± 0,20 def
BRS Pastoreio	2,38 ± 0,59 de <sup>ns</sup>	3,30 ± 0,53 cd	0,35 ± 0,02 b*	3,18 ± 0,65 de
BRS Reponte	1,80 ± 0,38 e <sup>ns</sup>	2,43 ± 0,16 d	0,75 ± 0,20 ab*	1,60 ± 0,07 f
ORS 1403	3,08 ± 0,19 cd <sup>ns</sup>	3,43 ± 0,28 cd	1,01 ± 0,71 ab <sup>ns</sup>	2,04 ± 0,37 ef
TBIO Audaz	4,16 ± 0,22 bc <sup>ns</sup>	5,40 ± 0,94 b	1,78 ± 0,00 a*	3,50 ± 0,06 cd
TBIO Ponteiro	4,18 ± 0,22 bc*	2,34 ± 0,10 d	1,30 ± 0,38 ab*	4,86 ± 0,28 bc
TBIO Sinuelo	5,43 ± 0,02 ab*	3,17 ± 0,69 cd	1,16 ± 0,19 ab*	5,62 ± 0,50 ab
TBIO Sonic	6,05 ± 0,33 a*	10,12 ± 0,05 a	1,08 ± 0,42 ab <sup>ns</sup>	2,65 ± 0,32 def
TBIO Sossego	2,39 ± 0,04 de*	3,02 ± 0,13 cd	1,30 ± 0,06 ab*	6,93 ± 0,51 a
TBIO Toruk	3,43 ± 0,50 cd <sup>ns</sup>	4,43 ± 0,49 bc	1,27 ± 0,16 ab*	5,29 ± 0,20 b

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $P < 0.05$ ) entre os genótipos. O símbolo \* na mesma linha indica diferença estatística pelo teste de  $t$  ( $P < 0.05$ ) entre a época de colheita 1 (EC1) e a época de colheita 2 (EC2), enquanto a abreviação "ns" significa não significativo.

Algumas explicações podem ser dadas para a formação de grãos chochos, triguilhos e quebrados no trigo. Essas condições podem surgir devido a vários fatores, incluindo estresse ambiental, doença ou até mesmo anormalidades genéticas. Condições ambientais como seca, calor extremo ou más condições do solo podem afetar o desenvolvimento do trigo e resultar em grãos achatados. A umidade insuficiente durante os estágios de enchimento de grãos pode causar enchimento incompleto de grãos, da mesma forma, altas temperaturas podem interromper o processo normal de desenvolvimento do grão, afetando sua forma e tamanho (NUTTALL et al., 2017; ZAHRA et al., 2021). Os grãos de trigo achatados podem ter implicações negativas tanto para os agricultores quanto para os consumidores. Na perspectiva agrícola, esses grãos reduzem o rendimento da cultura, o que gera impacto na lucratividade, visto que esse trigo apresenta menor peso e volume, afetando a produtividade geral da lavoura. Para a indústria, grãos chochos representam problemas, porque afetam a moagem dos grãos e a qualidade da farinha de trigo (LARROQUE, CALDERINI E ANGUS, 2022; NUTTALL et al., 2017).

Embora grãos giberelados não sejam considerados defeitos pela legislação vigente (MAPA, 2010), sua quantificação é importante para de certa forma se estimar os danos causados pela doença giberela no trigo. Grãos de trigo giberelados são causados pela doença giberela (*Fusarium graminearum*), caracterizam-se por apresentarem atrofia, redução de peso, descoloração ou cor roseada, e terem a toxina desoxinivalenol (DON), que é nociva à saúde humana e animal (ZHANG et al., 2020). Em nosso estudo, a variável época de colheita influenciou diretamente no percentual de grãos giberelados, sendo a segunda época responsável pela maior ocorrência dessa avaria nos grãos. Todos os genótipos apresentaram maiores valores em EC2, enquanto os valores oscilaram entre 0,35% e 1,78% em EC1, na segunda colheita os valores subiram para entre 1,60% e 6,93% de grãos giberelados.

Os grãos giberelados são considerados de baixa qualidade e têm menor valor comercial, por isso o controle da giberela é crucial para garantir alimentos seguros e de alta qualidade, no nosso caso o maior tempo do trigo no campo contribuiu para o aumento do percentual deste defeito nos grãos. Lima, Tibola e Silva (2015) avaliaram a quantidade de grãos giberelados em amostras cultivadas no município de Vacaria/RS, os autores relataram ter encontrando percentuais variando de 7,0% a 15,0% de giberelados. Nessas mesmas amostras foram quantificadas as micotoxinas, onde encontrou-se teores de DON na faixa de 4,8-9,3ppm.

Os dados da composição centesimal dos grãos estão dispostos na Tabela 6, sendo eles os teores de proteínas, lipídeos, cinzas, amido e fibras.

Dentre os vinte tratamentos analisados o valor de proteínas oscilou entre 10,47% e 13,63%, sendo o menor de TBIO Sinuelo (EC2) e o maior de BRS Belajoia (EC2). Somente três genótipos mostraram-se sensíveis a época de colheita, exibindo diferenças significativas no teor de proteínas, foram eles: BRS Reponte (redução de 1,02% em EC2), TBIO Audaz (redução de 0,95% em EC2) e TBIO Ponteiro (aumento de 0,29% em EC2).

Geralmente, o conteúdo de proteínas do trigo é muito dependente do genótipo, e dependendo da sua finalidade os grãos podem ser melhorados com o foco em maior ou menor teor de proteína. Contudo, Dupont e Altenbach (2003) relatam que além dos fatores genéticos, as condições edafoclimáticas podem exercer uma grande influência na formação das proteínas nos grãos, interferindo na sua qualidade e quantidade.

Os teores de lipídeos variaram de 1,83% a 2,51% entre todos os tratamentos. Dos dez genótipos estudados, quatro deles mostraram reduções significativas no teor de lipídeos quando colhidos em EC2 (BRS Reponte, TBIO Audaz, TBIO Sonic e TBIO Toruk), o restante não foi impactado pela época de colheita. Além de lipídeos outros constituintes menores foram detalhados na Tabela 6, por serem encontrados em pequenas quantidades nos grãos, a variação nos teores de cinzas e fibras é baixa. O conteúdo de cinzas variou entre 1,53% (TBIO Sinuelo – EC2) e 1,80% (TBIO Sonic – EC1). Já o conteúdo de fibras variou entre 2,29% (BRS Belajoia – EC1) e 3,03% (BRS Pastoreio – EC1), com exceção de TBIO Sonic, todos outros genótipos apresentaram diferenças significativas no teor de fibras em relação à época de colheita, não havendo um padrão de redução ou aumento nessas diferenças. Tanto cinzas como fibras, tiveram forte influência do genótipo na variação de seus conteúdos.

Componente majoritário dos grãos de trigo, o amido está presente em todos os genótipos em concentrações acima de 50% (Tabela 6). No presente estudo o teor de amido das amostras ficou na faixa de 53,20% a 58,16%. Quanto à época de colheita, um único genótipo apresentou menor teor de amido na segunda colheita (BRS Belajoia: 54,23% EC1 e 53,20% EC2), o restante permaneceu na mesma faixa ou aumentou seu teor de amido com o aumento do ciclo da cultura. Estes resultados são concordantes com os encontrados por Silveira (2019), cuja variação do conteúdo entre treze genótipos de trigo foi de 51,99-60,57%.

Tabela 6 - Teores de proteína, lipídeos, cinzas, amido e fibras dos grãos dos dez genótipos de trigo colhidos em duas épocas.

Genótipo	Proteína (%)		Lipídeos (%)		Cinzas (%)	
	EC1	EC2	EC1	EC2	EC1	EC2
BRS Belajoia	13,39 ± 0,22 a <sup>ns</sup>	13,63 ± 0,17 a	2,39 ± 0,12 ab <sup>ns</sup>	2,43 ± 0,08 a	1,74 ± 0,03 ab*	1,79 ± 0,02 a
BRS Pastoreio	10,89 ± 0,34 d <sup>ns</sup>	10,83 ± 0,12 de	1,99 ± 0,24 cd <sup>ns</sup>	1,97 ± 0,12 bc	1,74 ± 0,11 ab <sup>ns</sup>	1,77 ± 0,05 a
BRS Reponte	12,03 ± 0,18 bc*	11,01 ± 0,21 d	2,30 ± 0,18 abc*	1,92 ± 0,06 c	1,69 ± 0,05 bc <sup>ns</sup>	1,63 ± 0,03 bc
ORS 1403	12,04 ± 0,38 bc <sup>ns</sup>	11,69 ± 0,28 c	2,26 ± 0,10 abc <sup>ns</sup>	2,09 ± 0,17 bc	1,62 ± 0,03 cd*	1,57 ± 0,01 cd
TBIO Audaz	11,79 ± 0,20 bc*	10,84 ± 0,16 de	2,37 ± 0,07 ab*	1,99 ± 0,09 bc	1,68 ± 0,02 bc*	1,60 ± 0,03 bcd
TBIO Ponteiro	12,16 ± 0,02 bc*	12,45 ± 0,17 b	2,14 ± 0,19 bcd <sup>ns</sup>	1,93 ± 0,14 c	1,62 ± 0,03 cd <sup>ns</sup>	1,67 ± 0,04 b
TBIO Sinuelo	10,55 ± 0,40 d <sup>ns</sup>	10,47 ± 0,16 e	1,83 ± 0,13 d <sup>ns</sup>	1,85 ± 0,08 c	1,60 ± 0,03 cd*	1,53 ± 0,02 d
TBIO Sonic	12,39 ± 0,18 b <sup>ns</sup>	12,31 ± 0,15 b	2,51 ± 0,12 a*	2,22 ± 0,14 ab	1,80 ± 0,01 a <sup>ns</sup>	1,78 ± 0,03 a
TBIO Sossego	10,78 ± 0,12 d <sup>ns</sup>	10,98 ± 0,22 d	1,94 ± 0,11 cd <sup>ns</sup>	1,88 ± 0,07 c	1,55 ± 0,03 d <sup>ns</sup>	1,56 ± 0,05 cd
TBIO Toruk	11,60 ± 0,39 c <sup>ns</sup>	11,18 ± 0,20 d	2,28 ± 0,14 abc*	1,94 ± 0,15 c	1,74 ± 0,03 ab*	1,68 ± 0,03 b

Genótipo	Amido (%)		Fibras (%)	
	EC1	EC2	EC1	EC2
BRS Belajoia	54,23 ± 0,26 de*	53,20 ± 0,74 g	2,29 ± 0,06 f*	2,50 ± 0,09 cd
BRS Pastoreio	54,93 ± 0,70 cde <sup>ns</sup>	55,21 ± 0,57 ef	3,03 ± 0,10 a*	2,83 ± 0,04 a
BRS Reponte	55,75 ± 0,60 bc*	58,16 ± 0,55 a	2,30 ± 0,06 ef*	2,45 ± 0,05 cd
ORS 1403	53,80 ± 0,75 e*	56,01 ± 0,46 def	2,45 ± 0,04 cde*	2,35 ± 0,03 d
TBIO Audaz	55,48 ± 0,51 bcd*	57,59 ± 0,36 ab	2,38 ± 0,03 def*	2,54 ± 0,09 bc
TBIO Ponteiro	55,66 ± 0,55 bc <sup>ns</sup>	54,99 ± 0,69 f	2,32 ± 0,04 ef*	2,74 ± 0,07 a
TBIO Sinuelo	57,61 ± 0,33 a <sup>ns</sup>	57,53 ± 0,64 abc	2,36 ± 0,04 def*	2,70 ± 0,04 a
TBIO Sonic	54,75 ± 0,34 cde*	55,95 ± 0,44 def	2,66 ± 0,10 b <sup>ns</sup>	2,78 ± 0,03 a
TBIO Sossego	56,52 ± 0,63 ab <sup>ns</sup>	56,29 ± 0,17 cde	2,49 ± 0,07 cd*	2,69 ± 0,07 ab
TBIO Toruk	54,90 ± 0,68 cde*	56,52 ± 0,28 bcd	2,58 ± 0,05 bc*	2,79 ± 0,07 a

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $P < 0.05$ ) entre os genótipos. O símbolo \* na mesma linha indica diferença estatística pelo teste de  $t$  ( $P < 0.05$ ) entre a época de colheita 1 (EC1) e a época de colheita 2 (EC2), enquanto a abreviação "ns" significa não significativo.



### 5.3.2 Propriedades do trigo integral cozido

O preparo dos alimentos para o consumo é um fator extremamente importante, e no caso do trigo na forma de grãos integrais, o cozimento dos grãos é uma etapa essencial, por isso analisamos parâmetros relacionados a esse processo. Na Figura 12 estão apresentados os resultados do tempo de cocção, dureza e grãos danificados após a cocção. Para o tempo de cocção tivemos variações consideráveis entre os genótipos avaliados, oscilando com valores entre 22,62 e 33,75min, alguns genótipos exibiram diferenças entre as colheitas, TBIO Audaz, por exemplo, obteve um aumento de 3,5min em EC2. Yilmaz e Koca (2020) estudaram diferentes métodos de cocção de trigo para a produção de bulgur, produto antigo e tradicional em países do oriente médio, utilizando *Triticum durum*, os autores relataram que no método convencional de cocção, o mesmo usado em nossa pesquisa, o tempo ótimo de cocção dos grãos foi de 40min, referido como o momento em que o amido está completamente gelatinizado. Buresová et al. (2023) avaliaram o teor de carotenoides após a cocção de grãos coloridos de trigo (*Triticum aestivum* L.), para isto utilizaram 30min como tempo de cocção para os genótipos de trigo-pão, inclusive seus resultados salientaram que as perdas de carotenoides foram menores no trigo cozido do que em outras formas de consumo, como pães e extrusados produzidos com os trigos coloridos.

A dureza dos grãos não foi significativamente alterada ( $P > 0,05$ ) entre os genótipos e em ambas colheitas, os valores oscilaram entre 94,61 e 155,26N, estes resultados foram levemente inferiores aos encontrados em nosso estudo anterior, onde os treze genótipos comerciais analisados exibiram dureza acima de 145,00N (SILVEIRA et al., 2020). Do ponto de vista do consumidor o desejável é que os grãos não sejam excessivamente duros, desta forma esses valores levemente inferiores de dureza podem ser considerados vantajosos, contudo pela perspectiva tecnológica grãos muito macios podem ser prejudiciais à integridade do trigo após a cocção, visto que podem ser amassados e danificados mais facilmente.

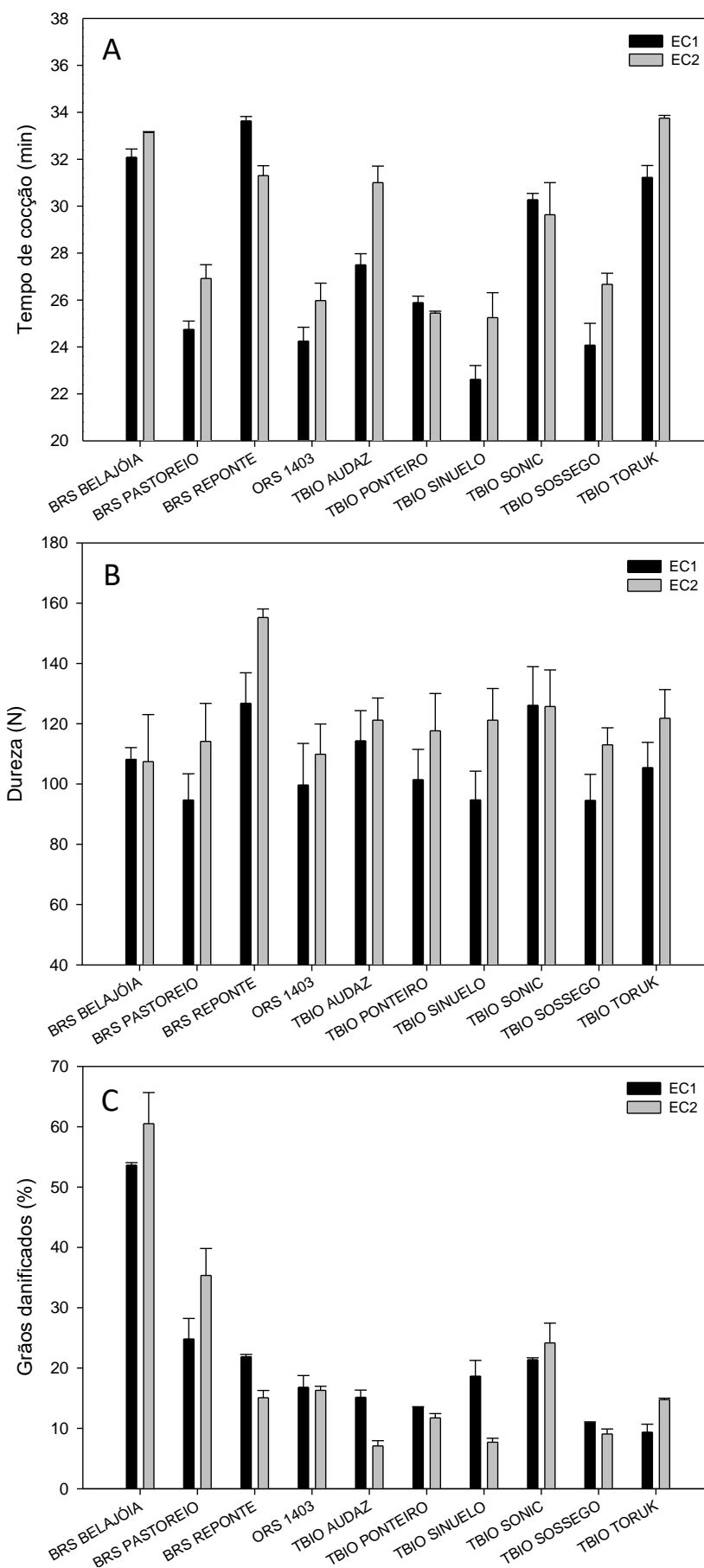


Figura 12 - Tempo de cocção (A), dureza (B) e grãos danificados (C) dos genótipos em duas épocas.

Considerada uma boa forma de avaliar a aptidão dos genótipos à cocção, o percentual de grãos danificados foi mensurado e mostrou diferenças substanciais entre os diferentes trigos utilizados neste estudo. Na Figura 12C é possível observar que três genótipos exibiram uma tendência maior à abertura do pericarpo após a cocção, BRS Belajoia, BRS Pastoreio e TBIO Sonic, expressaram em média 57%, 30% e 23% de grãos danificados, respectivamente, significando grãos visualmente menos agradáveis ao consumidor. Com base em nossos dados ainda não elucidamos completamente quais fatores estão atrelados as deformações que podem ocorrer após a cocção do trigo. De acordo com Bayram, Oner e Eren (2004), as mudanças no formato e dimensões do trigo podem ser associadas a fatores extrínsecos ao grão, como tempo e a temperatura durante a cocção, assim como aqueles inerentes aos grãos, como sua morfologia inicial, por exemplo. Durante o processo de cocção acontece a expansão dos grãos, consequência da absorção de água, neste estudo os autores relataram aumentos de até 185,20% no volume do grão em relação ao grão cru, o que em alguns casos ocasiona a ruptura do pericarpo, resultando em deformações dos grãos cozidos.

### **5.3.3 Propriedades tecnológicas e composição das farinhas**

Diferente do conteúdo proteico do grão, conforme descrito na seção anterior, o teor de glúten úmido é uma medida específica das proteínas formadoras do glúten, cuja análise é realizada com a farinha do trigo (endosperma do grão). Os resultados de glúten úmido estão apresentados na Figura 13A, através dos gráficos é possível notar que esta variável é influenciada pelo genótipo. Os valores mais altos foram encontrados em BRS Belajoia, 34,29% e 35,92, em EC1 e EC2, respectivamente. BRS Reponte e TBIO Audaz mostraram diferenças significativas entre as duas colheitas, exibindo reduções de 14% e 18% do teor de glúten úmido da primeira para a segunda colheita, nesta ordem.

O índice de glúten está diretamente ligado a proporção das proteínas que formam o glúten (gliadinas e gluteninas). Na Figura 13B estão expostos os resultados deste parâmetro. Os menores índices de glúten foram apresentados pelos genótipos BRS Belajoia (EC2: 43,02%) e BRS Pastoreio (EC1: 36,52%), sendo o primeiro fortemente influenciado pela época de colheita, pois apresentou na primeira época o valor de 73,07% de índice de glúten. Em relação ao restante dos materiais, observou-se que o percentual de índice de glúten variou de 64,67% a 96,32%, sendo os

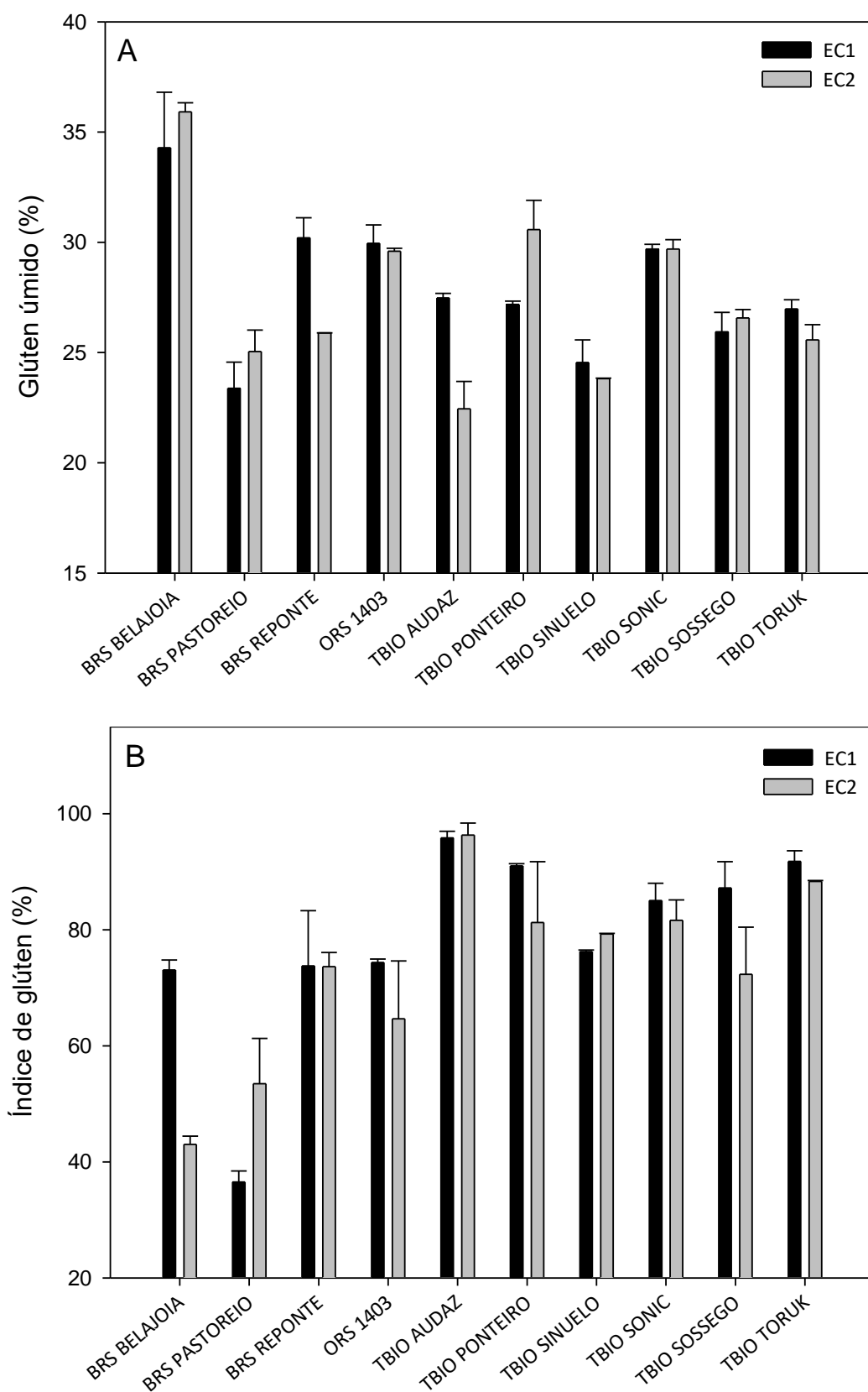


Figura 13 – Percentual de glúten úmido (A) e índice de glúten (B) dos dez genótipos de trigo colhidos em duas épocas.

genótipos TBIO Audaz, TBIO Toruk, TBIO Ponteiro e TBIO Sonic os genótipos que apresentaram as maiores médias gerais, levando em consideração as duas colheitas.

Chen, Zhu e Zhao (2017) analisaram o glúten umido de 96 amostras comerciais de farinha de trigo, com a finalidade de validação de um método de detecção rápida deste parâmetro, os dados encontrados oscilaram na faixa de 24,70 a 37,75%, sendo a média geral 29,61%. Silveira et al. (2020) avaliaram treze genótipos de trigo cultivados no Rio Grande do Sul e relataram valores de glúten umido na faixa de 22,92 a 40,12%, essas mesmas amostras exibiram valores de índice de glúten entre 60,08% e 99,68%. Tanto o glúten úmido quanto o índice de glúten das farinhas de trigo são medidas importantes relacionadas à qualidade e desempenho na produção de alimentos, o primeiro é um indicador da quantidade de glúten presente na farinha em relação à umidade, enquanto o segundo tem mais relação com a qualidade da rede de gluten formada. Em alguns padrões internacionais, o índice de gluten é parâmetro de qualidade e para a destinação dos grãos, onde valores abaixo de 40 são considerados trigo forrageiro, e valores mais altos, próximos de 100, são recomendados para a panificação por representarem um glúten mais forte (BONFIL, ABBO E SVORAY, 2015).

Na Figura 14 são apresentadas as propriedades alveográficas do trigo, nela constam os parâmetros tenacidade, extensibilidade, força de glúten e relação tenacidade/extensibilidade.

Os valores determinados para a variável tenacidade (P) oscilaram entre 47,98 e 136,53mm (Figura 14A). O genótipo BRS Pastoreio apresentou resultados de P significativamente inferiores aos demais, sendo 47,98mm (EC1) e 71,96mm (EC2), não diferindo estatisticamente entre as colheitas. Apenas BRS Reponte demonstrou ter o valor P influenciado pela época de colheita, reduzindo cerca de 39% em EC2.

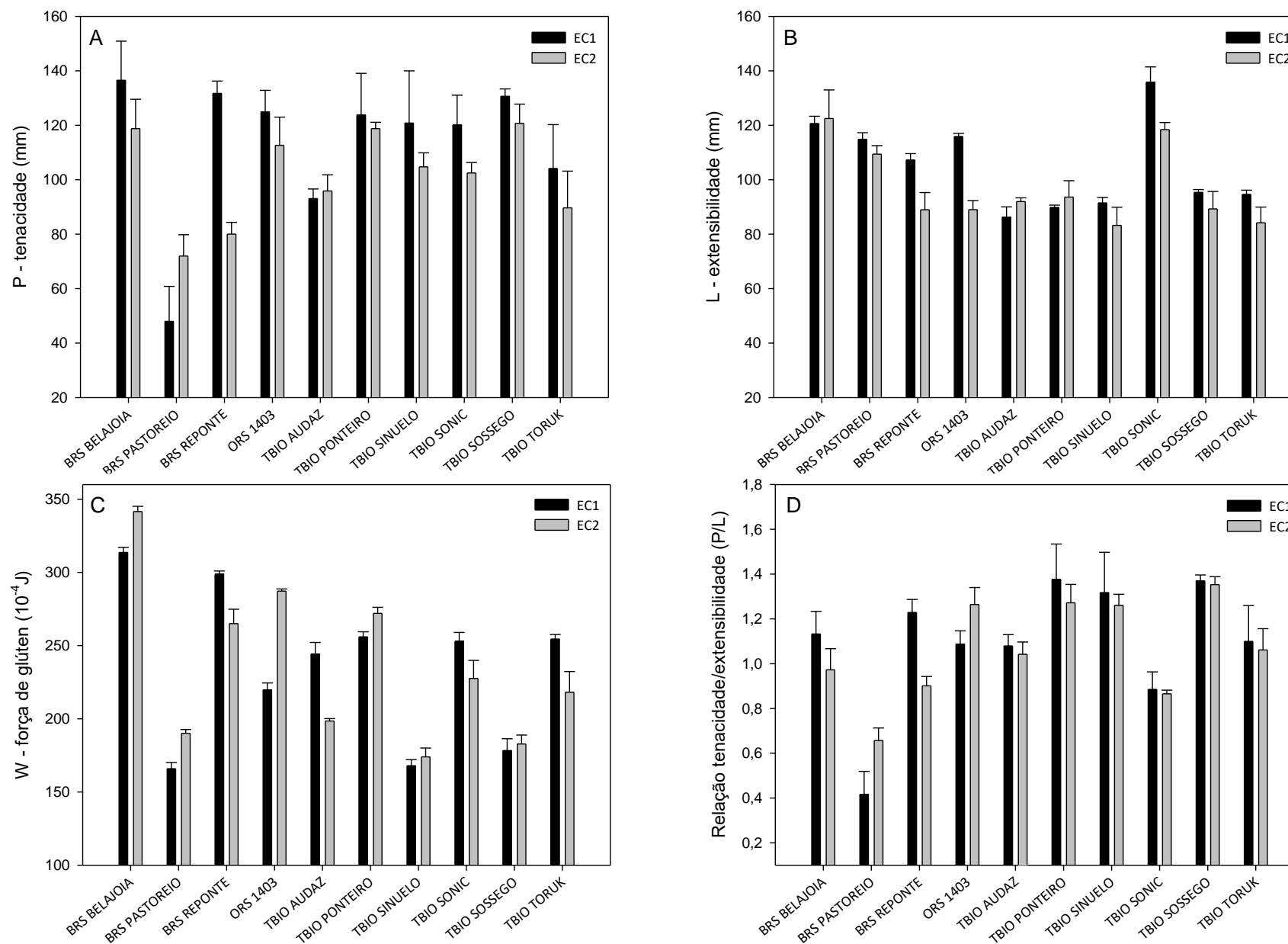


Figura 14 – Características alveográficas dos dez genótipos de trigo colhidos em duas épocas: tenacidade (A), extensibilidade (B), força de glúten (C) e relação tenacidade/extensibilidade (D).

Sobre a extensibilidade (L) das farinhas de trigo, os dados obtidos evidenciaram valores acima de 80mm para todos os genótipos, sendo que BRS Belajoia e TBIO Sonic, apresentaram médias gerais de 121,59 e 127,11mm, respectivamente, sem levar em consideração a época de colheita (Figura 14B). Somente BRS Reponte, ORS 1403, TBIO Sonic e TBIO Toruk tiveram L influenciado pela data de colheita, nos quatro casos a variável L reduziu significativamente após a primeira colheita.

No que se refere a força de glúten (W), houve uma ampla variação deste parâmetro entre os genótipos estudados (Figura 14C). Os valores mais altos ficaram a cargo do genótipo BRS Belajoia (316,66 e 341,57  $\times 10^{-4}$ J), enquanto os valores mais baixos ficaram em torno de 170  $\times 10^{-4}$ J, apresentados pelos genótipos BRS Pastoreio, TBIO Sinuelo e TBIO Sossego. A maioria dos genótipos se mostrou sensível acerca da época de colheita, com exceção de TBIO Sinuelo e TBIO Sossego, cuja variação não foi significativa ( $P > 0,05$ ).

A relação tenacidade/extensibilidade (P/L) oscilou entre 0,42 e 1,38mm (Figura 14D), de maneira geral esta variável não foi tão impactada pela época de colheita, pois apenas três genótipos apresentaram diferenças significativas entre EC1 e EC2, sendo eles BRS Pastoreio, BRS Reponte e ORS 1403.

De acordo com Bagulho (2008), as proteínas são os constituintes que mais influenciam na qualidade do trigo, seja pela quantidade ou pelo tipo/composição de proteínas. Inclusive, são esses dois aspectos que interferem nas propriedades do glúten. Neste sentido, os parâmetros alveográficos são utilizados como forma de mensurar as propriedades elásticas do glúten. A tenacidade (P) está mais relacionada a resistência da massa e a absorção de água, enquanto a extensibilidade (L) indica a capacidade de estiramento da massa sem que haja o rompimento (GERMANI, 2008; MÓDENES; SILVA; TRIGUEROS, 2009).

Na Figura 15 podemos observar que os genótipos TBIO Ponteiro e TBIO Sossego foram fortemente influenciados pela época de colheita, diminuindo substancialmente os valores de número de queda na segunda colheita (TBIO Ponteiro: -14%; TBIO Sossego: -8%). Os valores médios de número de queda neste estudo ficaram na faixa de 230 a 295s, considerados dentro da normalidade. TBIO Sonic apresentou um comportamento contrário aos demais genótipos, pois houve um acréscimo de 5s no número de queda dos grãos colhidos em EC2, enquanto os demais reduziram ou não alteraram seu valor.

De acordo com Delwiche, Vinyard e Bettge (2015), o Falling Number (FN) em trigo é uma importante forma de mensurar a qualidade e uso final dos grãos, além de carregar consigo uma grande influência na estabilidade durante o armazenamento, e ter impacto em preços e na comercialização geral dos grãos. Fora isso, por ser considerada uma maneira indireta de determinar a atividade de  $\alpha$ -amilase, geralmente, os resultados do teste de FN também são associados a mensurar danos de germinação na pré-colheita do trigo, de forma que os grãos afetados tendem a apresentar menores FN e conseqüentemente maior atividade de  $\alpha$ -amilase.

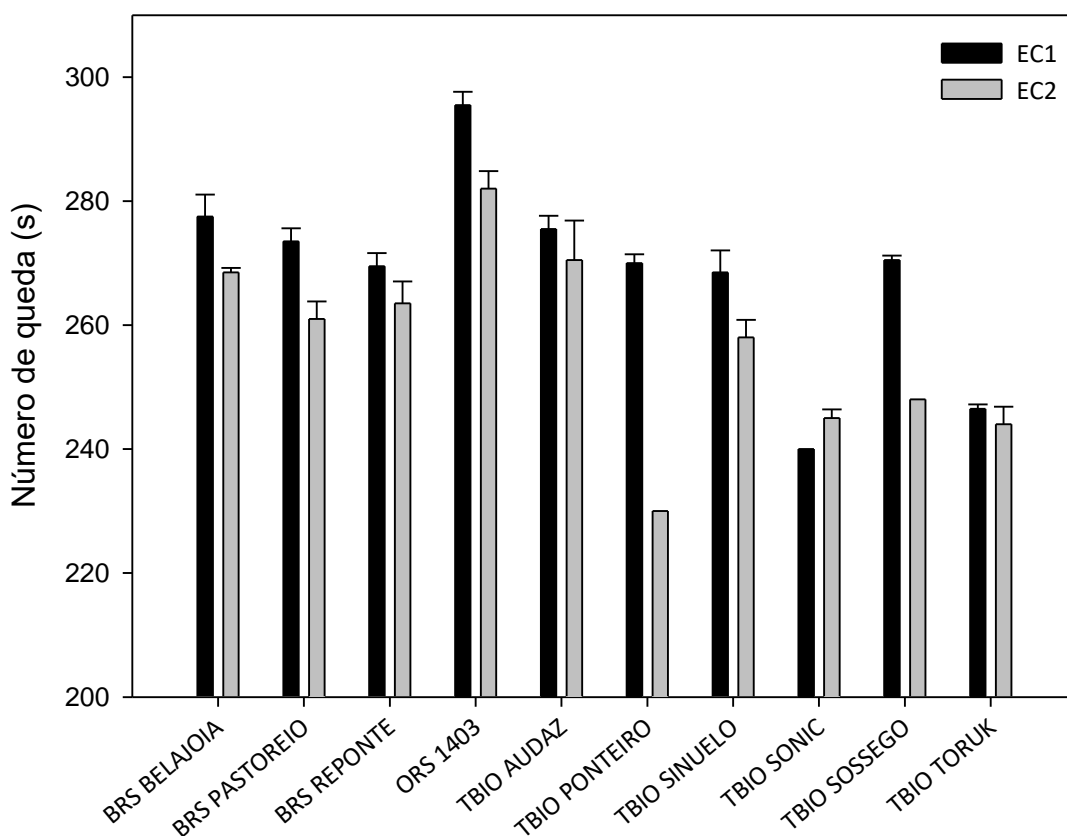


Figura 15 – Número de queda dos dez genótipos de trigo colhidos em duas épocas.

Conforme descrito por Cezar (2012), valores de número de queda entre 200 e 350s são os ideais para uso do trigo na panificação. De acordo com o autor, grãos que tenham número de queda abaixo de 150s apresentam uma grande quantidade de enzimas alfa-amilase, enquanto números acima de 350 representam uma atividade enzimática muito baixa.



Nas Figuras 16, 17 e 18 são demonstrados os resultados da análise das propriedades viscoamilográficas do trigo, através dos seguintes parâmetros: pico de viscosidade, quebra, viscosidade mínima, viscosidade final, retrogradação e temperatura de pasta. O pico de viscosidade mostrou-se variando entre 94,80 e 189,50RVU para os genótipos estudados (Figura 16A). Três genótipos apresentaram alterações significativas entre as duas épocas de colheita: TBIO Ponteiro, TBIO Sinuelo e TBIO Sossego tiveram decréscimos de 30%, 16% e 17% no pico de viscosidade, respectivamente. No parâmetro queda, diferenças substanciais foram observadas entre os genótipos (Figura 16B), sendo TBIO Audaz o que exibiu os maiores valores (84,88 e 89,46RVU). Na primeira colheita TBIO Ponteiro teve 62,80RVU de quebra, já na segunda reduziu para 54,21RVU, representando ser o único genótipo que obteve variação significativa ( $P \leq 0,05$ ) atribuída a época de colheita.

Viscosidade mínima, viscosidade final e retrogradação, apresentadas nas Figuras 17A, 17B e 18A, respectivamente, expressaram resultados altamente correlacionados entre si. Os valores mais altos dos três parâmetros foram encontrados no genótipo BRS Pastoreio, seguido por ORS 1403, não se diferindo em ambos os casos nas épocas de colheita. TBIO Ponteiro, TBIO Sinuelo e TBIO Sossego mostraram ser mais impactados pela época de colheita do que os demais genótipos. Nesses três materiais, os valores de viscosidade mínima, final e retrogradação oscilaram, reduzindo significativamente na segunda colheita. A temperatura de pasta dos vinte tratamentos variou de 67 a 87°C (Figura 18B), os genótipos BRS Belajoia, BRS Reponte, TBIO Audaz e TBIO Toruk tiveram seus resultados fortemente modificados pela época de colheita.

Segundo Franco et al. (2002), os amidos de cereais como o trigo geralmente apresentam elevados teores de amilose, assim como altas temperaturas de pasta, picos de viscosidade baixo, maior resistência à quebra e alta tendência a retrogradação. Leon et al. (2010) explicam que a quebra de viscosidade ocorre devido a ruptura dos grânulos de amido após se intumescerem, devido a isso esse parâmetro é relacionado à estabilidade ao aquecimento. A retrogradação, no entanto, refere-se à reorganização das moléculas de amilose e amilopectina que ocorre após o resfriamento (RAGAEE e ABDELAAL, 2006).

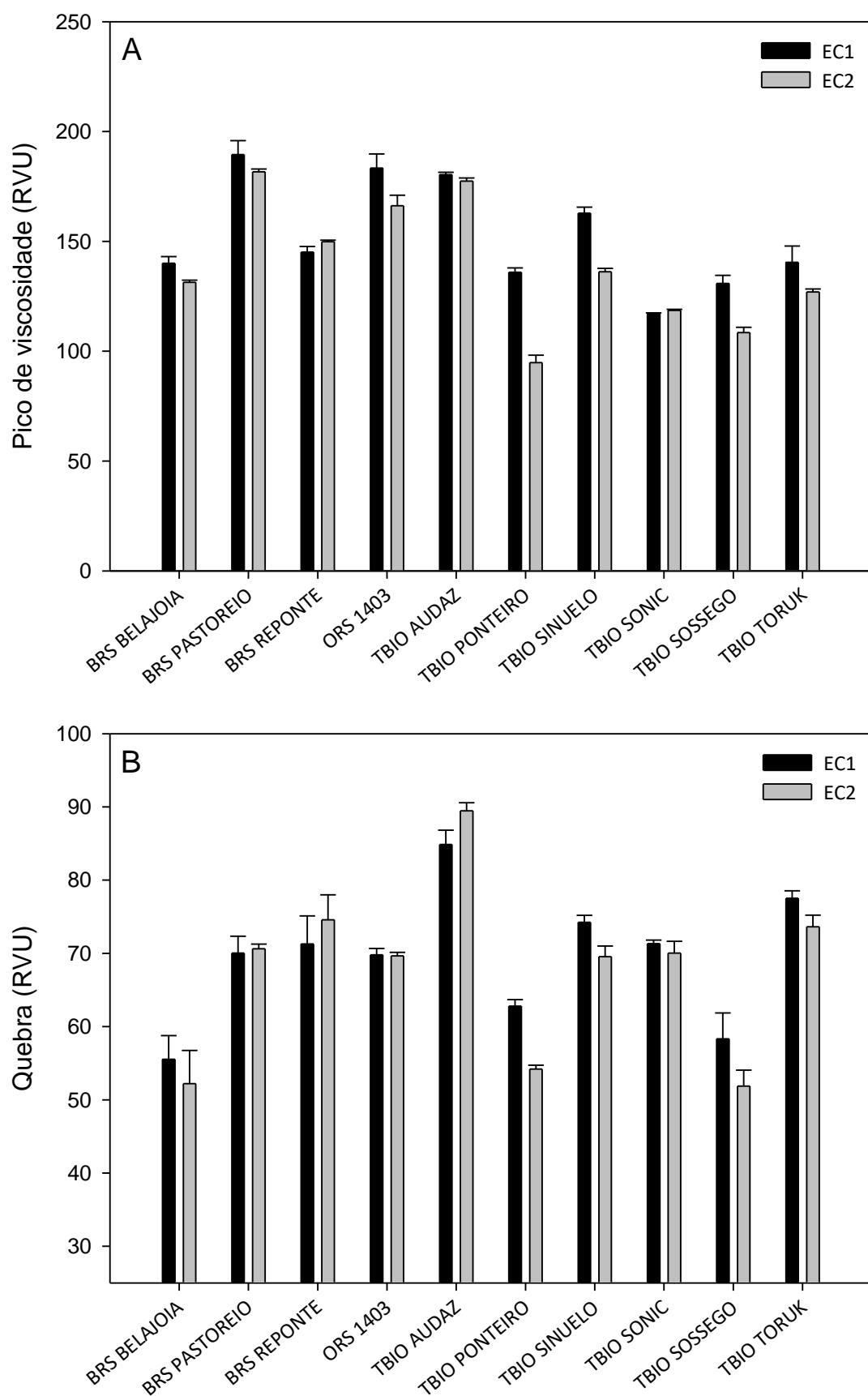


Figura 16 – Propriedades viscoamilográficas dos dez genótipos de trigo colhidos em duas épocas: pico de viscosidade (A) e quebra (B).

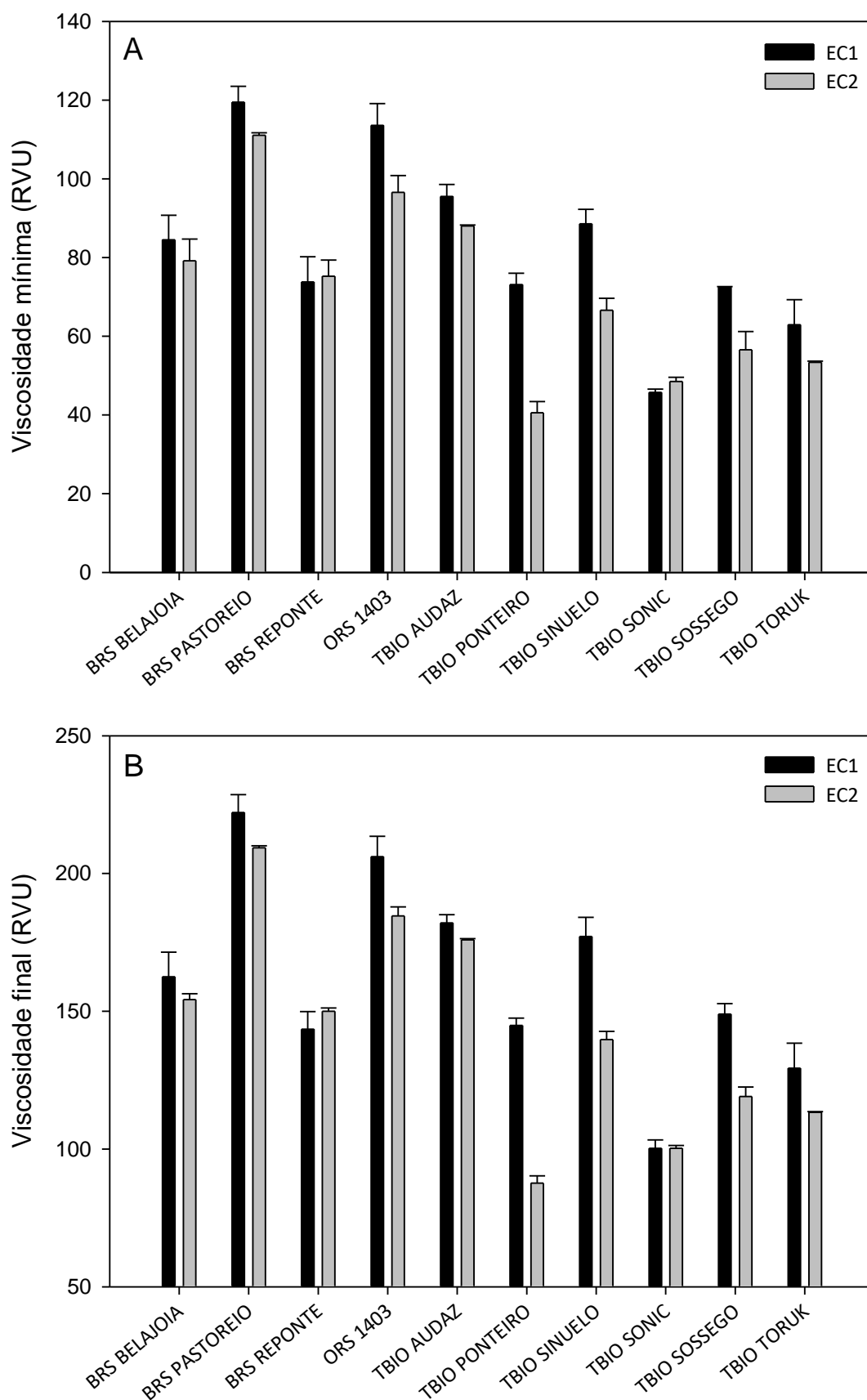


Figura 17 - Propriedades viscoamilográficas dos dez genótipos de trigo colhidos em duas épocas: viscosidade mínima (A) e viscosidade final (B).

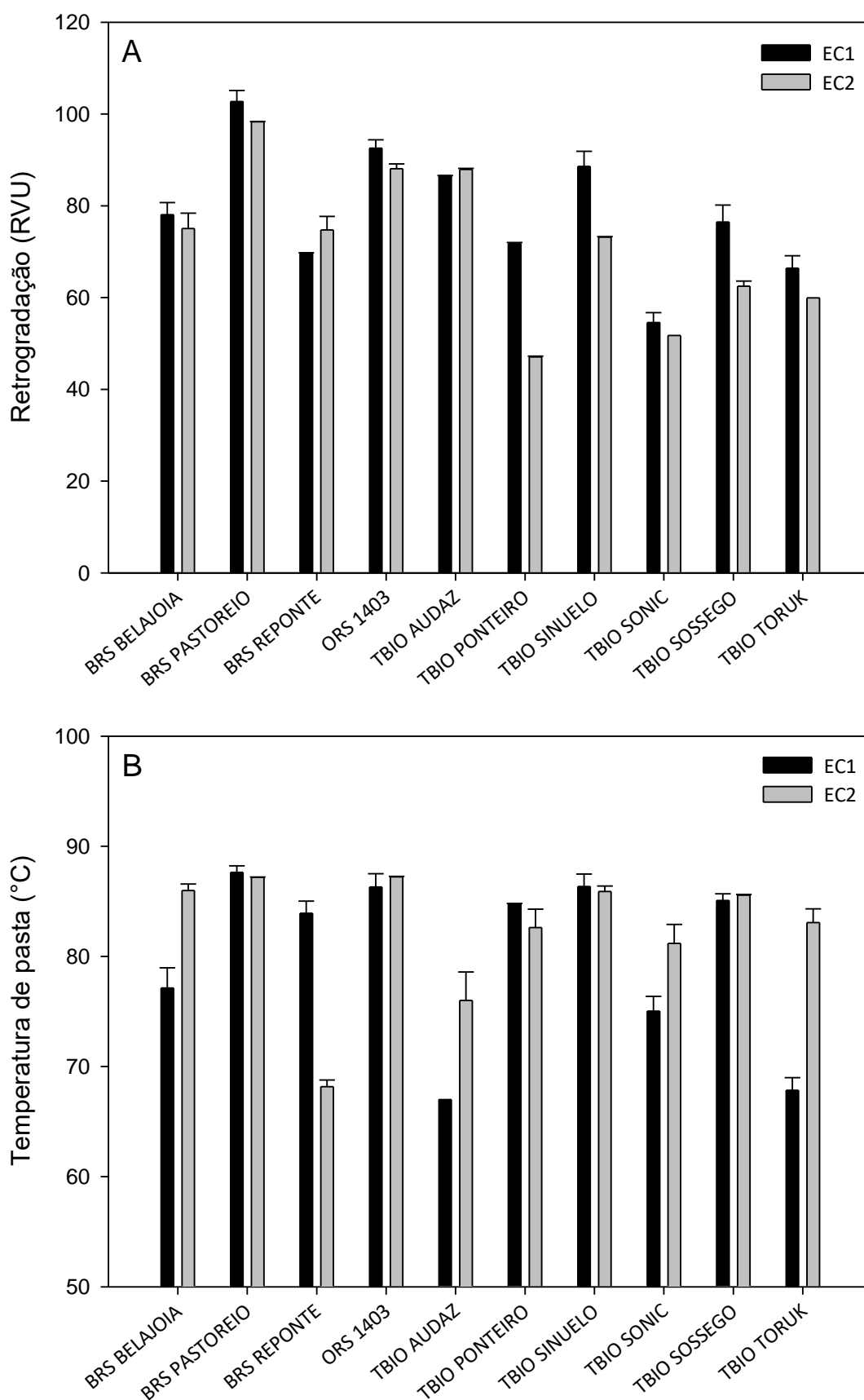


Figura 18 - Propriedades viscoamilográficas dos dez genótipos de trigo colhidos em duas épocas: retrogradação (A) e temperatura de pasta (B).

Diversos aspectos podem interferir na viscosidade do amido, sendo os de maior relevância aqueles relacionados a proporção amilose/amilopectina do grão, morfologia dos grânulos de amido e a interação com outros componentes, como proteínas e lipídeos. No trigo em específico, o glúten pode exercer um efeito de barreira para a gelatinização do amido, neste âmbito as gliadinas são consideradas as proteínas que mais influenciam na complexação amido-glúten durante o aquecimento. Além disso, averiguar as propriedades de pasta do trigo, assim como as diferentes proporções de gluteninas e gliadinas, pode ser uma boa forma de otimizar a destinação dos produtos que serão feitos com a farinha de trigo (WANG et al., 2021).

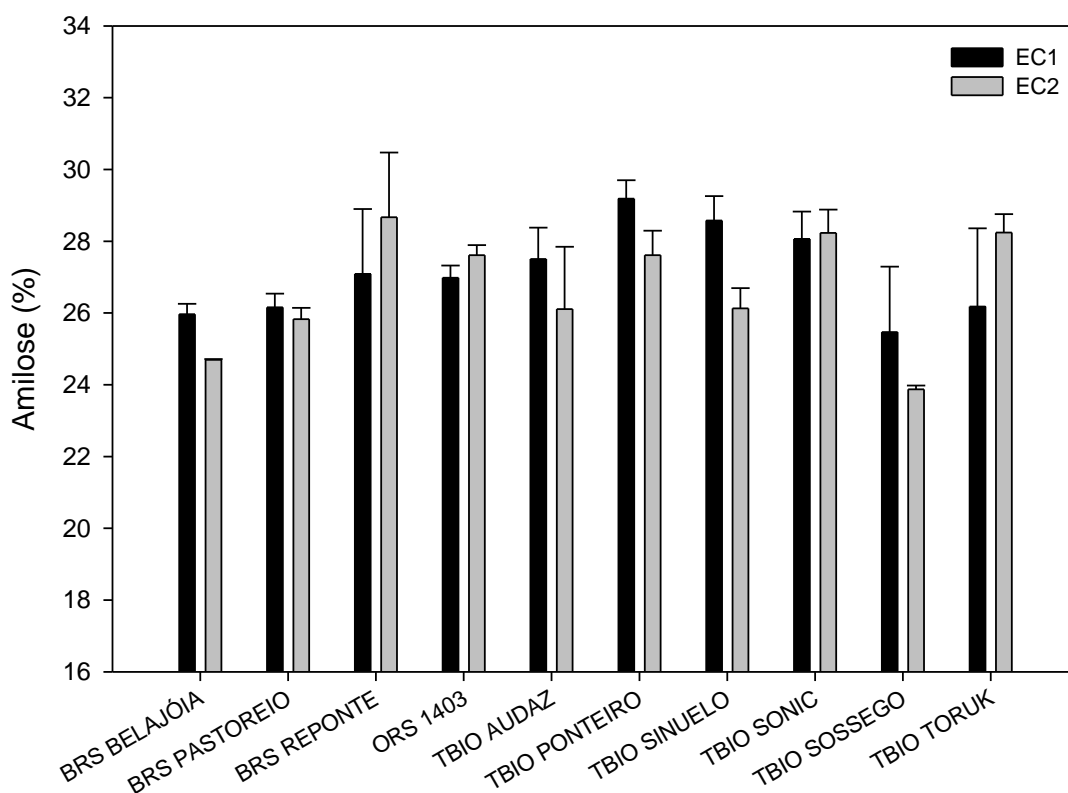


Figura 19 - Teor de amilose dos dez genótipos de trigo colhidos em duas épocas.

O amido é uma importante fonte de energia para os seres humanos e consiste em dois componentes principais: amilose e amilopectina. A importância da amilose do trigo reside nas suas propriedades estruturais e funcionais, bem como no seu impacto nas propriedades dos produtos finais feitos a partir do trigo, como pão e outros produtos de panificação. Em nossos resultados (Figura 19) foi possível evidenciar a

variação do teor de amilose entre os tratamentos avaliados. Embora observando valores distintos entre os genótipos estudados, não houveram diferenças significativas entre os grãos colhidos nas duas épocas de colheita (EC1 e EC2) para o mesmo genótipo. Enquanto os maiores teores de amilose encontrados foram de aproximadamente 28% (cinco genótipos), outros como BRS Belajóia e TBIO Sossego apresentaram os menores valores, 24% e 23% respectivamente. O teor de amilose em cultivares de trigo varia entre diferentes espécies e acessos, o que concorda com nossos achados. Um estudo realizado em três espécies de trigo (pão, emmer e trigo duro) descobriu que todas as três espécies tinham quantidades suficientes de amilose, indicando estabilidade no conteúdo de amilose ao longo do tempo (MANGAN et al., 2022). O amido de trigo normalmente contém acima de 70% de amilopectina, polímero altamente ramificado e de rápida digestão, e teor menor que 30% de amilose, polímero linear que é menos digerível no intestino delgado humano (HARRIS et al., 2022).

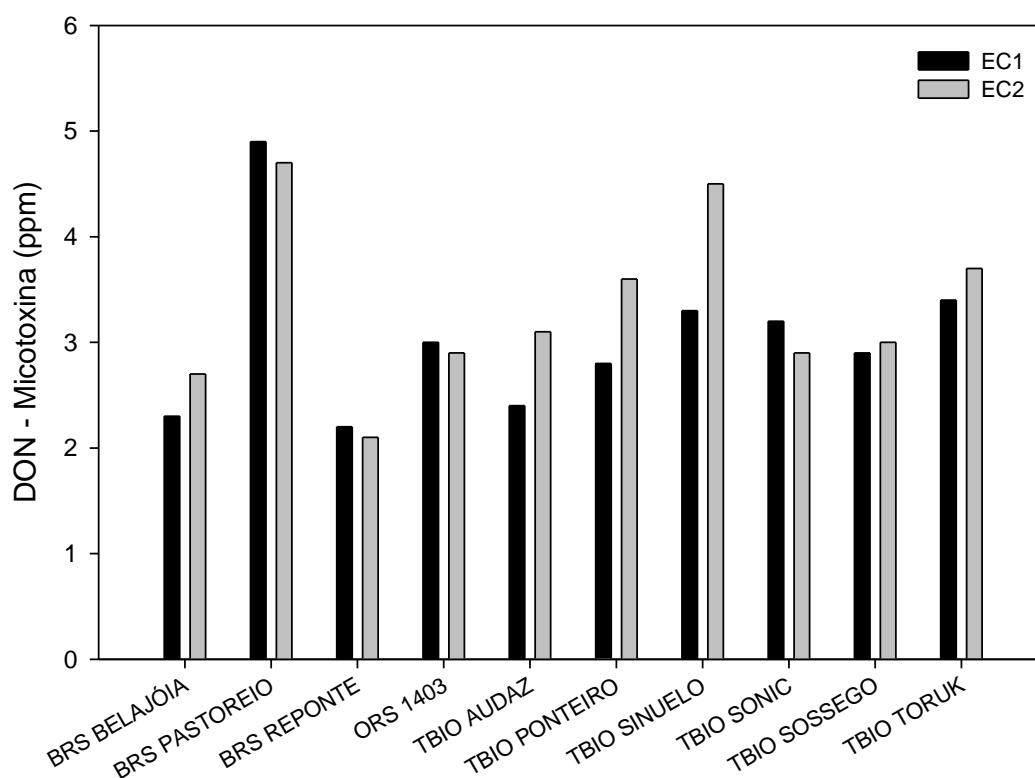


Figura 20 - Conteúdo de desoxinivalenol dos dez genótipos de trigo colhidos em duas épocas.

Na Figura 20 demonstramos a caracterização dos grãos quanto a presença da micotoxina desoxinivalenol (DON). Dentre os dez genótipos avaliados apenas três deles (TBIO Audaz, TBIO Ponteiro e TBIO Sinuelo) exibiram diferenças significativas entre as épocas de colheita, em ambos os casos houve incremento de DON em EC2. BRS Pastoreio teve o maior conteúdo de DON exibindo valores de 4,9 e 4,7 ppm, enquanto os menores resultados foram apresentados pelo genótipo BRS Reponte de aproximadamente 2 ppm. O impacto do desoxinivalenol nos genótipos de trigo envolve a suscetibilidade ou resistência à infecção por *Fusarium* e subsequente contaminação por micotoxinas, sendo assim algumas variedades podem ser mais resistentes levando a níveis mais baixos de desoxinivalenol em grãos contaminados. Além disso, a suscetibilidade dos genótipos à contaminação por desoxinivalenol pode ser influenciada pelas condições ambientais, visto que temperatura e umidade elevadas podem contribuir para a gravidade e severidade das doenças na cultura. Neste ponto de vista, a resistência genética é crucial para garantir a segurança alimentar e reduzir o risco de contaminação por DON em produtos de trigo (BERNARDI et al., 2018). De acordo com as resoluções da Anvisa números 07/11 e 138/17, os limites máximos de tolerância (LMT) para micotoxinas, especificamente DON foi estabelecido como até 3 ppm (3000 µg/kg) para “trigo em grãos para posterior processamento”, considerando isso podemos constatar que seis dos genótipos avaliados em nosso estudo estão abaixo desse limite (Figura 20), enquanto o restante ultrapassou o valor de 3 ppm.

#### 5.4 Conclusões

Com base nos dados apresentados neste capítulo, conclui-se que a qualidade tecnológica dos grãos de trigo é influenciada pela interação complexa que acontece entre genótipo e época de colheita. As propriedades de cocção, como tempo de cocção e percentual de grãos danificados, variaram significativamente entre os genótipos avaliados, destacando a importância de selecionar genótipos adequados para garantir a qualidade dos produtos finais.

Diferenças significativas foram observadas na qualidade dos grãos nas duas épocas de colheita estudadas. Para a maioria dos genótipos valores maiores de peso hectolitro e peso de mil grãos foram encontrados na primeira colheita. De forma geral, a permanência dos grãos por mais tempo no campo prejudicou sua qualidade quanto à sanidade, pois o percentual de grãos giberelados foi mais elevado na segunda

colheita. Além disso, o parâmetro número de queda apresentou reduções nos grãos da segunda colheita.

Visto isso, a otimização da escolha de genótipos e épocas de colheita é fundamental para a obtenção de material de alta qualidade que possa atender às demandas da indústria de alimentos.



## 6 CAPÍTULO 2 – EFEITOS DO MANEJO DE FUNGICIDA SOBRE O DESEMPENHO PRODUTIVO E A QUALIDADE DO GRÃOS

### 6.1 Introdução

Como fonte de energia e de nutrientes, o trigo destaca-se apresentando um papel importante para a sociedade, estima-se que cerca de 20% da ingestão de carboidratos e proteínas da população venha deste grão. De acordo com Shewry e Hey (2015), alimentos à base de trigo fornecem para a alimentação humana uma série de nutrientes, incluindo vitaminas do complexo B, fitoquímicos e fibras.

O conteúdo químico dos grãos é totalmente influenciado pelo desenvolvimento do trigo no campo, diversos fatores interferem em sua composição. Na literatura, inúmeras pesquisas relatam a interferência de fatores externos durante o ciclo da cultura, como a ocorrência de temperaturas extremas, ataque de pragas e patógenos, entre outros. Conseqüentemente, esses fatores afetam também a qualidade final dos grãos (LAMANNA et al., 2011; FAROOQ; HUSSAIN; SIDDIQUE, 2014; STUDNICKI et al., 2016; CHO et al., 2018).

Embora nos últimos anos esforços estejam voltados para o desenvolvimento de genótipos mais produtivos e mais adaptados as adversidades climáticas, a pressão de doenças na triticultura brasileira ainda é um fator preocupante (NETO; SANTOS, 2017; LAU et al., 2020; MACIEL et al., 2020). Diversos patógenos podem atacar o trigo e dependendo da incidência e grau de severidade podem causar perdas significativas. Dentre as doenças de importância econômica para este cereal, destaca-se a giberela (*Fusarium graminearum*) devido aos grandes danos causados à cultura e, principalmente, aos grãos pela alta probabilidade de contaminação com micotoxinas (SANTANA; CHAVES, 2014; LAU et al., 2016).

O controle químico é um dos métodos mais utilizados para o manejo de doenças no trigo, para isto são usados os fungicidas. Geralmente, fungicidas dos grupos das estrobilurinas e triazóis são os que apresentam mais efeito nas doenças do trigo (SCHIERENBECK et al., 2019; KOYCU, 2022). Dentre os vários ingredientes ativos existentes dentro desses grupos, muitos já têm seus resultados documentados para a cultura do trigo (PAUL et al., 2008; CASTRO et al., 2018; FEKSA et al., 2019), entretanto não foram encontrados estudos relatando o uso do ingrediente ativo metominostrobin. Exposto isso, objetivou-se neste estudo avaliar os efeitos do uso e dose do fungicida Fusão (Metominostrobin + Tebuconazol) em quatro genótipos de

trigo produzidos no Sul do Rio Grande do Sul, em relação ao desempenho produtivo da cultura e a qualidade dos grãos.

## 6.2 Materiais e métodos

### 6.2.1 Materiais

Para a realização deste estudo, quatro genótipos de trigo foram cultivados no Centro Agropecuário da Palma, município de Capão do Leão, Rio Grande do Sul, Brasil (latitude 31°48'03"S; longitude 52°30'09"W; altitude 35m) na safra de 2020. Os genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) utilizados foram: TBIO Audaz, TBIO Capricho CL, TBIO Ponteiro e TBIO Toruk. Na Tabela 7 estão apresentadas as principais características desses materiais, disponibilizadas pelos obtentores dos genótipos.

Tabela 7 - Informações sobre a classificação comercial, dureza, germinação na espiga, suscetibilidade à giberela e ciclo dos genótipos estudados.

Genótipo	Classificação comercial	Dureza do grão	Germinação na espiga	Giberela	Ciclo
TBIO Audaz	Melhorador	Duro	MR	MS	Precoce
TBIO Capricho CL	Pão	Duro	MR/MS	MS	Médio
TBIO Ponteiro	Pão	Duro	MR	MS	Médio/Tardio
TBIO Toruk	Pão/Melhorador	Duro	MR	S/MS	Médio

MR: moderadamente resistente; MS: moderadamente suscetível; S: suscetível.

O trigo foi cultivado em parcelas com 5 linhas e 3m de comprimento cada, o espaçamento entre linhas foi de 0,17m. A semeadura de todos materiais aconteceu em 29/05/2020. Durante a condução do experimento foram realizadas duas aplicações (05/09/2020 e 19/09/2020) do fungicida Fusão (Metominostrobina + Tebuconazol) em duas doses distintas, sendo elas: 0,725 L.ha<sup>-1</sup> (Manejo Fungicida 1 - F1) e 1,45 L.ha<sup>-1</sup> (Manejo Fungicida 2 - F2), ao mesmo tempo que foi realizado o tratamento sem aplicação (controle). Os tratamentos foram distribuídos ao acaso entre as parcelas, sendo realizadas três repetições para cada. Com exceção dos tratamentos com fungicida, o restante do manejo agrônômico empregado durante o ciclo da cultura foi padronizado para todas as parcelas, sendo a adubação nitrogenada de 100kg.ha<sup>-1</sup>.

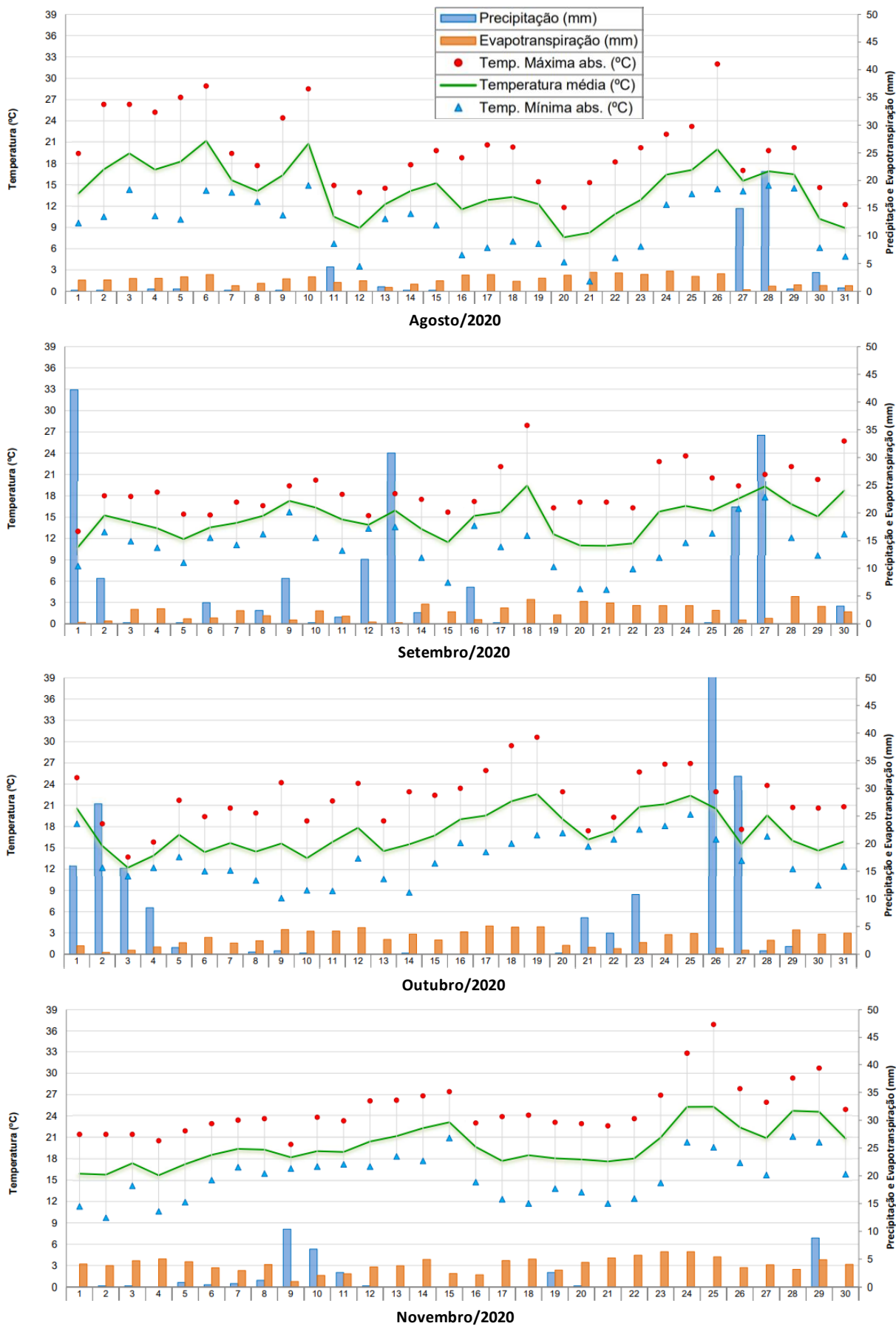


Figura 21 - Dados climatológicos referentes ao período de desenvolvimento do experimento.

Na Figura 21 constam as médias de temperatura, precipitação e evapotranspiração obtidas durante o desenvolvimento da cultura no local de cultivo. Todas as parcelas foram colhidas manualmente e a debulha foi mecânica (BCO 80 MAX URP, 820 rpm). Após a colheita os grãos foram transportados imediatamente para o Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos (Labgrãos) da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), onde foi realizada a secagem até 12% de umidade, com posterior armazenamento a 15°C.

## **6.2.2 Métodos**

### **6.2.2.1 Medidas de rendimento**

A avaliação do número de grãos por espiga foi realizada após a coleta de dez espigas de forma aleatória nas parcelas experimentais. As espigas foram debulhadas de forma manual e individualmente, seguida de contagem dos grãos. O resultado foi expresso a partir da média de dez espigas de cada uma das três repetições dos tratamentos.

A produtividade dos grãos foi medida através da colheita de 3 linhas com 2 metros de comprimento, em cada parcela. Logo após foi realizada a pesagem dos grãos colhidos e a conversão desses valores para a unidade de  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

### **6.2.2.2 Peso hectolitro**

O peso hectolitro dos grãos foi determinado em escala hectolitro (Dalle Molle, Brasil), utilizando uma balança com capacidade de um quarto de litro, de acordo com a metodologia descrita pelo método oficial de análise de sementes (BRASIL, 2009). O resultado foi expresso em  $\text{kg}\cdot\text{hL}^{-1}$ .

### **6.2.2.3 Peso de mil grãos**

O peso de mil grãos foi determinado através do método estabelecido pelas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), onde 100 grãos foram contados 8 vezes para cada amostra e pesados em balança de precisão.

### **6.2.2.4 Chochos, Quebrados, Triguilhos e Giberelados**

A identificação e separação dos grãos com defeitos seguiu os conceitos definidos na Instrução Normativa 38/2010, do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA. Foram utilizadas amostras de 100g por tratamento, e após

isto os resultados foram expressos pela média das repetições em percentual de grãos chochos, quebrados, triguilhos e giberelados.

#### **6.2.2.5 Composição centesimal**

O conteúdo de proteínas, lipídios, fibras, cinzas e amido foram determinados por espectroscopia de infravermelho próximo - NIRS. As amostras de grãos de trigo foram analisadas em um espectrômetro (NIRS™ DS2500, FOSS, Dinamarca) com leituras na faixa de 400 a 2500 nm, com uma curva de calibração específica para grãos de trigo. Os resultados são expressos em porcentagem após a leitura de três repetições das amostras.

#### **6.2.2.6 Micotoxinas**

O extrato para análise foi obtido conforme orientações do kit de análise Envirologix QuickTox (EnviroLogix, Portland, USA). Em um frasco com tampa são colocados 50g de amostra moída (farinha integral) e 100mL de água destilada. Essa mistura é agitada durante 2min e mantida em repouso até que se formem duas fases dentro do frasco. 100µL do sobrenadante são então coletados e transferidos para o vial de análise contendo 100µL do buffer de análise. Após homogeneizar essa mistura, é colocada a fita de leitura e deixa-se a reação ocorrer durante 5min. A fita é retirada para leitura no QuickScan. A quantificação ocorre por leitura da fita contendo o extrato de micotoxinas no aparelho QuickScan.

#### **6.2.2.7 Teor de amilose**

A análise do teor de amilose das farinhas de trigo foi realizada modificando a metodologia descrita por McGrane, Cornell e Rix (1998). Inicialmente, 100mg de farinha de trigo pré-desengordurada e peneirada (100 mesh) foram pesados em um tubo falcon de 15mL, ao qual foram adicionados 8mL de dimetilsulfóxido a 90%. Aqueceu-se os tubos em banho-maria a 90°C por 2h, agitando a amostra rapidamente em vortex a cada 30min. Após arrefecimento, a dispersão foi completada até 25ml com água num balão volumétrico. Transferiu-se uma alíquota de 1mL para um tubo de ensaio contendo 44mL de água, onde se misturou com 5mL de solução de iodeto de potássio. Após um descanso de 15min, foram feitas leituras de absorbância a 600nm. A curva de calibração foi construída usando padrão de amilose de batata pura

(Sigma-Aldrich Co., EUA) nas concentrações de 0; 0,08; 0,16; 0,32; 0,64; 0,96; 1,28 e 1,60mg/ml.

#### **6.2.2.8 Glúten úmido e Índice de glúten**

O teor de glúten úmido e o índice de glúten foram determinados de acordo com o método AACC (2010) n° 38-12.02 usando o equipamento Glutomatic (2100, Perten Instruments, EUA).

#### **6.2.2.9 Características alveográficas**

As propriedades viscoelásticas, obtidas pela alveografia, foram mensuradas através de espectroscopia de infravermelho próximo - NIRS. As amostras de trigo foram analisadas em um espectrômetro (NIRS™ DS2500, FOSS, Dinamarca) que contém uma curva de calibração específica para avaliar farinhas de trigo. Foram obtidas as seguintes variáveis: tenacidade (P), extensibilidade (L) e força de glúten (W).

#### **6.2.2.10 Número de queda**

O número de queda, que analisa a atividade da enzima  $\alpha$ -amilase, foi avaliado em um aparelho Falling Number (FN 1800, Perten Instruments, EUA) de acordo com o Método AACC (2010) N° 56-81.03.

#### **6.2.2.11 Propriedades de pasta**

As propriedades de pasta (viscoamilográficas) foram avaliadas em um viscosímetro (RVA-3D, Newport Scientific, Austrália), de acordo com o método n° 76-21.01 (AACC, 2010). Os seguintes parâmetros foram determinados: pico de viscosidade, viscosidade mínima, quebra, viscosidade final, retrogradação e temperatura de pasta.

#### **6.2.2.12 Análise estatística**

Os dados avaliados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e, posteriormente, comparados pelo teste de Tukey a 5% de significância para evidenciar diferenças dos resultados entre os 4 genótipos e as doses de fungicida.

## 6.3 Resultados e discussão

### 6.3.1 Avaliações da qualidade dos grãos

As medidas de rendimento da produção de trigo foram avaliadas através dos seguintes critérios: produtividade, número de grãos por espiga, peso hectolitro (PH) e peso de mil grãos (PMG). Na Tabela 8 estão apresentados os dados obtidos com essas avaliações.

A produtividade média dos doze tratamentos foi estimada nas parcelas experimentais e seus resultados demonstraram que na maioria dos casos os tratamentos com fungicida foram eficientes para o seu aumento. Com exceção de TBIO Toruk, o restante dos genótipos exibiu os valores mais altos de produtividade em F2. O genótipo TBIO Ponteiro demonstrou ser mais responsivo as doses de fungicida, aumentando progressivamente sua produtividade, cerca de 64% em F1 e 124% de aumento em F2, ambos em relação ao controle.

Pazdiora (2019) conduziu experimentos com trigo no município de Capão do Leão nas safras 2016 e 2017, onde foram estudados os efeitos do uso de silício e fungicida (protioconazol+trifloxistrobina) nos genótipos TBIO Sossego e TBIO Toruk, seus dados indicaram um incremento de 31% e 13% de produtividade em cada, respectivamente, quando tratadas com o fungicida. Além disso, os autores relataram aumentos de 8% e 3% no peso hectolitro desses materiais.

O número de grãos por espigas variou aproximadamente entre 20 e 30 (Tabela 8), não havendo muitas diferenças atribuídas aos tratamentos com fungicida. TBIO Audaz, TBIO Capricho CL e TBIO Toruk mantiveram-se estáveis nos manejos com e sem fungicida ( $P > 0,05$ ), já TBIO Ponteiro apresentou 24,90 grãos no seu controle e 30,23 em F2 ( $P \leq 0,05$ ).

Conforme dados apresentados por Batista et al. (2020), o genótipo TBIO Toruk apresentou uma média de 40 grãos por espiga quando cultivado no município de Realeza/PR, outros genótipos também foram avaliados, como TBIO Sossego, TBIO Sonic e TBIO Sintonia, e exibiram valores entre 37 e 46 grãos por espiga.

O aumento da dose (F2) elevou significativamente o peso hectolitro em todos os genótipos. TBIO Audaz exibiu os maiores valores de PH em comparação aos outros, alcançando uma média geral de 77,90 kg.hL<sup>-1</sup> entre os três tratamentos. Em TBIO Capricho CL, genótipo que apresentou menor PH (68,58 kg.hL<sup>-1</sup>), o tratamento F2 proporcionou uma elevação de 14,3% (78,39 kg.hL<sup>-1</sup>).

Tabela 8 - Produtividade, número de grãos por espiga, peso hectolitro e peso de mil grãos dos quatro genótipos de trigo e seus respectivos tratamentos controle e com fungicida.

Genótipo	Produtividade (kg.ha <sup>-1</sup> )								
	Controle		F1		F2				
TBIO Audaz	B	3003,44 ± 35,21	a	B	2757,15 ± 170,45	a	A	3772,20 ± 191,50	a
TBIO Capricho CL	B	1652,88 ± 84,26	b	A	2205,94 ± 41,31	ab	A	2216,79 ± 132,33	b
TBIO Ponteiro	C	1942,31 ± 438,34	b	B	3196,88 ± 369,16	a	A	4357,25 ± 403,64	a
TBIO Toruk	A	2807,59 ± 143,22	a	B	1713,80 ± 671,59	b	AB	1843,52 ± 13,33	b

Genótipo	Número de grãos por espiga								
	Controle		F1		F2				
TBIO Audaz	A	24,00 ± 2,43	ab	A	21,63 ± 5,15	b	A	25,13 ± 2,27	b
TBIO Capricho CL	A	26,50 ± 8,22	a	A	26,93 ± 5,37	a	A	26,97 ± 2,82	ab
TBIO Ponteiro	B	24,90 ± 4,17	ab	AB	28,33 ± 1,56	a	A	30,23 ± 2,12	a
TBIO Toruk	A	20,70 ± 5,26	b	A	21,60 ± 1,40	b	A	23,10 ± 2,67	b

Genótipo	Peso hectolitro (kg.hL <sup>-1</sup> )								
	Controle		F1		F2				
TBIO Audaz	B	76,98 ± 0,15	a	A	78,29 ± 0,23	a	A	78,44 ± 0,25	a
TBIO Capricho CL	C	68,58 ± 0,08	d	B	75,60 ± 0,25	c	A	78,39 ± 0,19	a
TBIO Ponteiro	C	72,83 ± 0,46	c	B	76,48 ± 0,30	b	A	78,69 ± 0,26	a
TBIO Toruk	B	73,64 ± 0,20	b	C	73,01 ± 0,21	d	A	75,38 ± 0,38	b

Genótipo	Peso de mil grãos (g)								
	Controle		F1		F2				
TBIO Audaz	B	31,03 ± 1,01	a	AB	32,04 ± 0,94	a	A	32,90 ± 0,85	a
TBIO Capricho CL	C	20,99 ± 0,79	c	B	23,03 ± 0,69	d	A	26,99 ± 1,02	c
TBIO Ponteiro	C	25,36 ± 1,04	b	B	29,93 ± 1,16	b	A	31,65 ± 1,60	ab
TBIO Toruk	C	24,35 ± 1,11	b	B	26,53 ± 0,77	c	A	30,20 ± 0,87	b

Letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). Nas colunas, letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). Controle: tratamento sem aplicação de fungicida; F1: Manejo fungicida 1; F2: Manejo fungicida 2.

Densidade, uniformidade, forma e tamanho dos grãos são fatores que afetam o peso hectolitro do trigo. Além disso, o PH está ligado ao enchimento dos grãos, neste sentido alguns efeitos ambientais podem surtir diferentes resultados no PH dos grãos (BLAKENEY, 2009; LI et al., 2013b; ASSADZADEH et al., 2022). Em nossos resultados foi possível relacionar o uso de fungicida com o maior enchimento de grãos,



devido ao maior valor de PH encontrado nos genótipos tratados em relação ao controle.

O peso de mil grãos apresentou um comportamento semelhante ao peso hectolitro, de forma que os maiores resultados de cada genótipo foram encontrados no tratamento F2. Entre os genótipos, TBIO Audaz destacou-se com os maiores valores de PMG, enquanto TBIO Capricho CL diferiu significativamente dos demais, apresentado valores mais baixos, oscilando entre 20,99 (controle) e 26,99 (F2). Boller (2022) investigou os efeitos de doses de fungicidas para o controle de mancha amarela no trigo, seus achados em relação ao PMG são semelhantes aos nossos resultados, pois o PMG do trigo se elevou significativamente com a aplicações dos fungicidas. Seixas et al. (2012) avaliaram a eficiência de alguns fungicidas no trigo, e apesar da incidência de giberela ter reduzido, ao verificar o PMG não foram encontradas diferenças significativas entre o controle e os tratamentos contendo fungicida, os autores encontraram valores situados entre 25,05 e 27,92g.

Na Tabela 9 estão descritos os percentuais de grãos danificados como triguilhos, chochos, quebrados e giberelados.

Não foram evidenciadas diferenças significativas no percentual de triguilhos em função dos três tratamentos considerados (controle, F1 e F2). TBIO Capricho CL e TBIO Ponteiro exibiram valores mais elevados de triguilhos em comparação aos demais genótipos, o primeiro variando entre 0,11% e 0,22% e o segundo variando entre 0,11% e 0,16%. O percentual de grãos quebrados não variou significativamente entre os doze tratamentos em questão ( $P > 0,05$ ). A formação de grãos chochos respondeu positivamente aos tratamentos com fungicida, pois o percentual desses grãos diminuiu consideravelmente em relação ao controle. Enquanto no manejo controle os resultados oscilaram entre 0,12% e 1,64%, em F1 e F2 os valores variaram na faixa de 0,10-1,25% e 0,06-0,57%, respectivamente.

Em concordância com nossos resultados, Pazdiora (2019) relata a mesma tendência de redução de grãos chochos quando realizado a aplicação de fungicida no trigo. O tratamento com fungicida foi capaz de reduzir em 54% o percentual de grãos chochos no cultivar TBIO Toruk e em 22% para TBIO Sossego. Também foram contabilizados os grãos giberelados neste estudo, onde ocorreu uma redução de 46% do percentual de giberelados em relação ao controle sem fungicida.

Tabela 9 - Percentual de triguilhos, chochos, quebrados e giberelados encontrados nos grãos dos quatro genótipos de trigo e seus respectivos tratamentos controle e com fungicida.

Genótipo	Triguilhos (%)								
		Controle		F1		F2			
TBIO Audaz	A	0,02 ± 0,00	b	A	0,01 ± 0,01	c	A	0,00 ± 0,00	b
TBIO Capricho CL	A	0,17 ± 0,05	a	A	0,22 ± 0,01	a	A	0,11 ± 0,00	a
TBIO Ponteiro	A	0,16 ± 0,00	a	A	0,12 ± 0,01	b	A	0,11 ± 0,03	a
TBIO Toruk	A	0,03 ± 0,02	b	A	0,03 ± 0,01	c	A	0,06 ± 0,02	ab

Genótipo	Chochos (%)								
		Controle		F1		F2			
TBIO Audaz	A	0,12 ± 0,04	c	A	0,10 ± 0,00	c	A	0,06 ± 0,00	b
TBIO Capricho CL	A	1,64 ± 0,09	a	B	1,25 ± 0,09	a	C	0,57 ± 0,06	a
TBIO Ponteiro	A	1,08 ± 0,01	b	B	0,56 ± 0,03	b	C	0,18 ± 0,05	b
TBIO Toruk	A	1,64 ± 0,02	a	B	0,61 ± 0,06	b	B	0,47 ± 0,02	a

Genótipo	Quebrados (%)								
		Controle		F1		F2			
TBIO Audaz	A	0,01 ± 0,01	a	A	0,00 ± 0,00	a	A	0,00 ± 0,00	a
TBIO Capricho CL	A	0,01 ± 0,01	a	A	0,02 ± 0,01	a	A	0,02 ± 0,02	a
TBIO Ponteiro	A	0,00 ± 0,00	a	A	0,00 ± 0,00	a	A	0,00 ± 0,00	a
TBIO Toruk	A	0,00 ± 0,00	a	A	0,00 ± 0,00	a	A	0,00 ± 0,00	a

Genótipo	Giberelados (%)								
		Controle		F1		F2			
TBIO Audaz	A	4,48 ± 0,28	b	B	2,40 ± 0,13	c	B	2,78 ± 0,31	ab
TBIO Capricho CL	A	11,41 ± 1,22	a	B	3,69 ± 0,41	b	B	2,75 ± 0,47	b
TBIO Ponteiro	A	9,39 ± 0,37	a	B	6,09 ± 0,39	a	C	4,27 ± 0,48	a
TBIO Toruk	A	3,88 ± 0,35	b	B	2,81 ± 0,25	bc	AB	3,03 ± 0,04	ab

Letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). Nas colunas, letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). Controle: tratamento sem aplicação de fungicida; F1: Manejo fungicida 1; F2: Manejo fungicida 2.

Os percentuais de grãos giberelados identificados nas amostras variaram bastante, sendo encontrados valores entre 2,40% e 11,41%. O trigo controle apresentou as maiores quantidades de giberelados para os quatro genótipos, sendo TBIO Capricho CL e TBIO Ponteiro os mais afetados. Contudo, nesses genótipos os tratamentos com fungicida diminuíram substancialmente os grãos giberelados. Para o genótipo TBIO Capricho CL foram identificadas reduções de 67% (F1) e 76% (F2),

juntamente TBIO Ponteiro mostrou reduções de 35% (F1) e 54% (F2) no total de grãos giberelados.

Na safra 2015 Santana, Lau e Clebsch (2016) estudaram o efeito de alguns fungicidas em um ensaio realizado no município de Coxilha/RS, combinações de triazóis e estrobilurinas foram testadas no trigo. A incidência de giberela foi avaliada e os resultados mostraram uma redução significativa tanto na severidade da doença quanto no teor de grãos giberelados. O percentual de grãos giberelados reduziu em 50% com o uso da combinação piraclostrobina e metconazol.

A composição centesimal dos grãos esta apresentada na Tabela 10, onde constam os teores de proteína, lipídeos, fibras, cinzas e amido dos quatro genótipos em seus tratamentos controle e com fungicida.

O teor de proteína dos grãos oscilou entre 12,25% e 14,61% (Tabela 10), conforme os dados expostos, é possível notar que houve uma curta variação entre os materiais analisados. Não se estabeleceu um padrão de aumento ou redução do conteúdo proteico em relação aos tratamentos controle e com fungicida. O genótipo TBIO Toruk não diferiu significativamente entre os tratamentos controle, F1 e F2. A alteração mais expressiva foi identificada no genótipo TBIO Audaz, cujos valores foram: 14,61% (controle), 12,58% (F1) e 13,93% (F2).

Quanto ao teor de lipídeos, os genótipos apresentaram valores próximos, oscilando entre 1,58% e 1,86%, porém diferiram-se estatisticamente entre si, TBIO Audaz e TBIO Toruk mostraram maior conteúdo lipídico, já TBIO Capricho CL e TBIO Ponteiro tiveram menores concentrações. Os quatro genótipos não alteraram seus teores lipídico em função dos tratamentos com fungicida ( $P > 0,05$ ).

Os teores de fibras oscilaram de 2,73-2,92%, 2,58-3,12%, 2,78-3,04% e 2,90-2,92%, para TBIO Audaz, TBIO Capricho CL, TBIO Ponteiro e TBIO Toruk, respectivamente (Tabela 10). Com exceção de TBIO Toruk, nos demais genótipos foram observadas reduções no teor de fibras quando houve aplicação de fungicida.

Os genótipos de trigo apresentaram teor de cinzas variando de 1,48% a 1,71%, todos genótipos tiveram valores mais altos no tratamento controle, sendo eles de 1,71%, 1,70%, 1,69% e 1,71% em TBIO Audaz, TBIO Capricho CL, TBIO Ponteiro e TBIO Toruk, respectivamente, apresentando pouquíssimas diferenças entre ambos.

Tabela 10 - Teores de proteína, lipídeos, fibras, cinzas e amido dos grãos dos quatro genótipos de trigo e seus respectivos tratamentos controle e com fungicida.

Genótipo	Proteína (%)		
	Controle	F1	F2
TBIO Audaz	A 14,61 ± 0,28 <sup>a</sup>	C 12,58 ± 0,23 <sup>c</sup>	B 13,93 ± 0,06 <sup>a</sup>
TBIO Capricho CL	C 12,25 ± 0,30 <sup>c</sup>	A 13,27 ± 0,08 <sup>b</sup>	B 12,68 ± 0,16 <sup>b</sup>
TBIO Ponteiro	AB 14,18 ± 0,47 <sup>a</sup>	A 14,43 ± 0,09 <sup>a</sup>	B 13,74 ± 0,08 <sup>a</sup>
TBIO Toruk	A 13,16 ± 0,45 <sup>b</sup>	A 12,97 ± 0,49 <sup>bc</sup>	A 13,20 ± 0,45 <sup>b</sup>

Genótipo	Lipídeos (%)		
	Controle	F1	F2
TBIO Audaz	A 1,77 ± 0,04 <sup>ab</sup>	A 1,82 ± 0,07 <sup>a</sup>	A 1,80 ± 0,05 <sup>a</sup>
TBIO Capricho CL	A 1,64 ± 0,04 <sup>b</sup>	A 1,60 ± 0,04 <sup>b</sup>	A 1,58 ± 0,09 <sup>b</sup>
TBIO Ponteiro	A 1,60 ± 0,07 <sup>b</sup>	A 1,59 ± 0,02 <sup>b</sup>	A 1,58 ± 0,03 <sup>b</sup>
TBIO Toruk	A 1,86 ± 0,16 <sup>a</sup>	A 1,82 ± 0,05 <sup>a</sup>	A 1,68 ± 0,08 <sup>ab</sup>

Genótipo	Fibras (%)		
	Controle	F1	F2
TBIO Audaz	A 2,92 ± 0,09 <sup>b</sup>	B 2,73 ± 0,11 <sup>ab</sup>	AB 2,83 ± 0,02 <sup>a</sup>
TBIO Capricho CL	A 3,12 ± 0,11 <sup>a</sup>	B 2,69 ± 0,05 <sup>b</sup>	B 2,58 ± 0,11 <sup>b</sup>
TBIO Ponteiro	A 3,04 ± 0,07 <sup>ab</sup>	AB 2,95 ± 0,11 <sup>a</sup>	B 2,78 ± 0,10 <sup>a</sup>
TBIO Toruk	A 2,92 ± 0,08 <sup>b</sup>	A 2,90 ± 0,14 <sup>ab</sup>	A 2,90 ± 0,07 <sup>a</sup>

Genótipo	Cinzas (%)		
	Controle	F1	F2
TBIO Audaz	A 1,71 ± 0,04 <sup>a</sup>	C 1,50 ± 0,03 <sup>b</sup>	B 1,61 ± 0,02 <sup>ab</sup>
TBIO Capricho CL	A 1,70 ± 0,05 <sup>a</sup>	B 1,51 ± 0,02 <sup>b</sup>	B 1,48 ± 0,03 <sup>c</sup>
TBIO Ponteiro	A 1,69 ± 0,02 <sup>a</sup>	A 1,64 ± 0,05 <sup>a</sup>	B 1,56 ± 0,03 <sup>b</sup>
TBIO Toruk	A 1,71 ± 0,07 <sup>a</sup>	A 1,70 ± 0,06 <sup>a</sup>	A 1,65 ± 0,03 <sup>a</sup>

Genótipo	Amido (%)		
	Controle	F1	F2
TBIO Audaz	B 56,85 ± 0,21 <sup>a</sup>	A 58,52 ± 0,37 <sup>a</sup>	A 58,17 ± 0,38 <sup>a</sup>
TBIO Capricho CL	A 56,20 ± 0,11 <sup>a</sup>	B 55,03 ± 0,56 <sup>bc</sup>	A 56,84 ± 0,27 <sup>b</sup>
TBIO Ponteiro	C 53,32 ± 0,26 <sup>c</sup>	B 54,26 ± 0,43 <sup>c</sup>	A 56,62 ± 0,24 <sup>b</sup>
TBIO Toruk	A 55,08 ± 0,88 <sup>b</sup>	A 55,79 ± 0,56 <sup>b</sup>	A 55,53 ± 0,44 <sup>c</sup>

Letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). Nas colunas, letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). Controle: tratamento sem aplicação de fungicida; F1: Manejo fungicida 1; F2: Manejo fungicida 2.

Os teores de amido dos grãos variaram de 53,32% até 58,52% (Tabela 10), sendo esses extremos encontrados em TBIO Ponteiro (controle) e TBIO Audaz (F1), respectivamente. TBIO Audaz apresentou acréscimos no teor de amido com o uso de fungicidas, passando de 56,85% para 58,52% (F1) e 58,17% (F2), seguindo a mesma lógica TBIO Ponteiro mostrou comportamento semelhante, pois subiu de 53,32% (controle) para 54,26% (F1) e 56,62% (F2). Os genótipos TBIO Capricho CL e TBIO Toruk tiveram poucas alterações em relação aos três tratamentos ( $P > 0,05$ ).

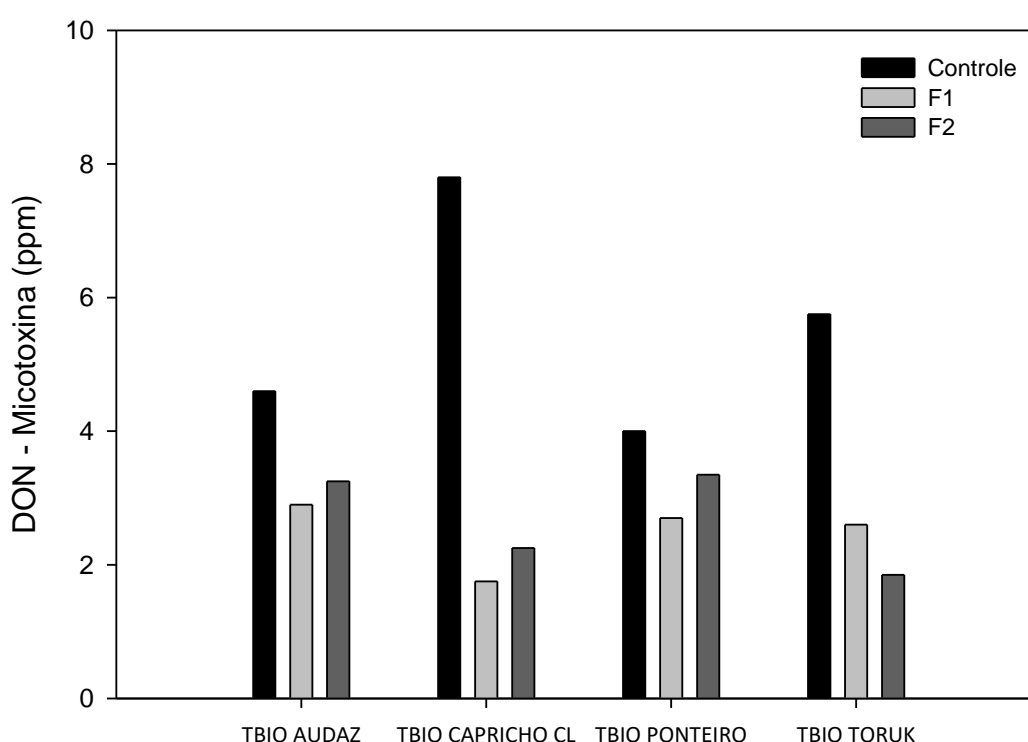


Figura 22 - Conteúdo de desoxinivalenol dos quatro genótipos de trigo e seus respectivos tratamentos controle e com fungicida.

A contaminação por micotoxinas no trigo, principalmente desoxinivalenol (DON), é uma preocupação global, e o Brasil não está isento desse problema. A presença de micotoxinas nos grãos pode ser influenciada por vários fatores, tais como condições meteorológicas, práticas agrícolas e condições de armazenamento. Avaliamos os grãos deste estudo quanto a presença e conteúdo de DON, os resultados estão demonstrados na Figura 22, cujo gráfico evidencia que todas amostras apresentaram a micotoxina. Dentre os quatro genótipos, TBIO Capricho CL foi o que teve maior quantidade de DON, onde o tratamento controle alcançou 7,8

ppm. O uso de fungicida foi eficaz para a redução da micotoxina em todos genótipos, de modo geral a dose F1 foi a que representou os menores resultados, com exceção apenas de TBIO Toruk, onde F2 representou o menor valor. Vários estudos avaliaram a ocorrência e os níveis de DON no trigo brasileiro, um deles descobriu que 66,5% das amostras de trigo e produtos de trigo testadas foram positivas para DON, com um nível médio de contaminação de 1,05 ppm (MACHADO et al., 2017). Outro estudo avaliou os níveis de DON na farinha de trigo de duas localidades no sul do Brasil e descobriu que 97% das amostras continham DON, com níveis variando de 0,2 a 4,14 ppm (SILVA et al., 2018). Em concordância com os dados encontrados na literatura, em nossa pesquisa os valores oscilaram entre 1,75 e 3,35 ppm após o uso de fungicida, independente da dose utilizada.

### **6.3.2 Caracterização das farinhas de trigo**

As farinhas de trigo foram caracterizadas quanto ao conteúdo de amilose, na Figura 23 é possível observar que o uso de fungicida alterou significativamente a composição do amido nos materiais estudados. TBIO Capricho CL e TBIO Ponteiro demonstraram comportamentos semelhantes, onde as doses F1 e F2 incrementaram o teor de amilose em cerca de 14% e 12%, respectivamente em cada genótipo, quando comparadas ao controle. Os genótipos TBIO Audaz e TBIO Toruk não diferiram significativamente quanto à aplicação de fungicida ( $P > 0,05$ ), o primeiro apresentou valores oscilando entre 24,68% e 27,26%, enquanto o segundo entre 24,05% e 25,69% de amilose. Mangan et al. (2022) estudaram diferentes cultivares de trigo utilizados em diversos países, de acordo com estes autores o teor normal de amilose para trigo compreende entre 20 e 30%. Diferentes variedades de trigo podem ter composições de amilose e amilopectina distintas. Práticas agrícolas, como o manejo da cultura, fertilização e condições de crescimento, podem influenciar indiretamente alguns aspectos da composição do grão, o que se mostrou evidente em alguns dos genótipos avaliados.

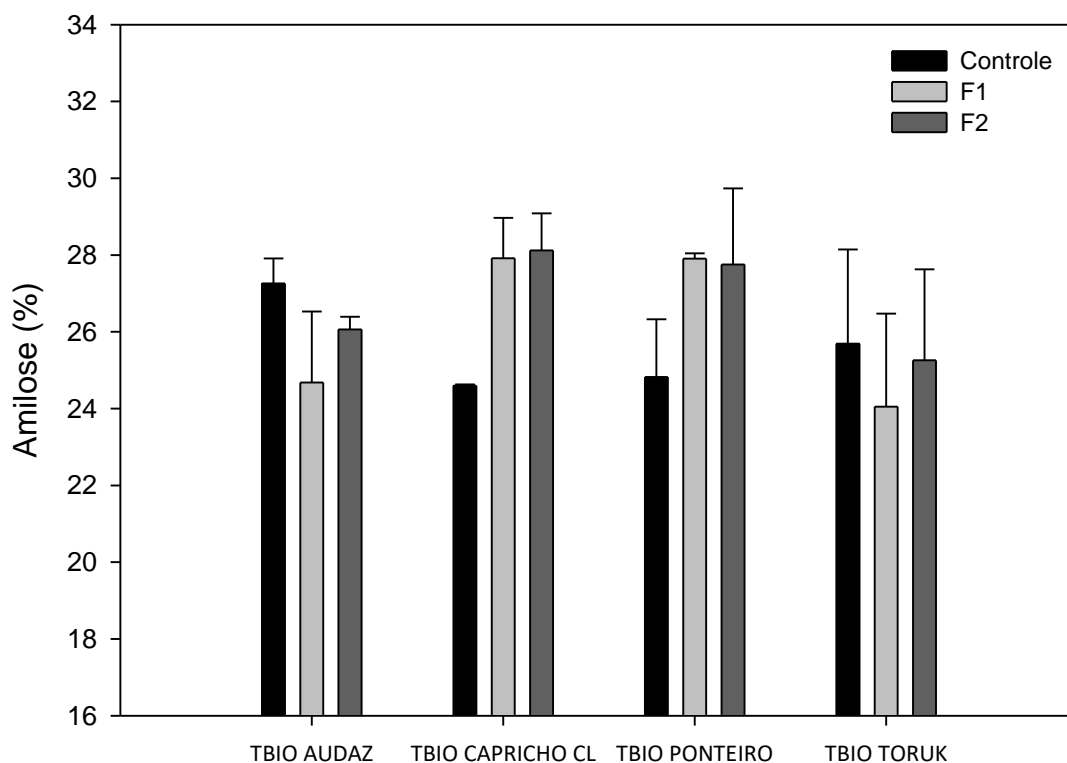


Figura 23 - Teor de amilose dos quatro genótipos de trigo e seus respectivos tratamentos controle e com fungicida.

Os resultados das variáveis glúten úmido e índice de glúten estão apresentados na Figura 24. Os valores mais discrepantes na análise de glúten úmido foram encontrados no mesmo genótipo, pois TBIO Audaz exibiu 39,77% no seu controle, enquanto reduziu para 32,42% em F1, o que representou um decréscimo de cerca de 7% na sua concentração de glúten úmido (Figura 24A). Em via de regra, o tratamento F1 causou as maiores alterações no teor de glúten em TBIO Audaz, TBIO Capricho CL e TBIO Ponteiro. Já o genótipo TBIO Toruk mostrou comportamento mais estável frente aos diferentes tratamentos.

Quanto ao índice de glúten (Figura 24B), os valores oscilaram entre 56,93% (TBIO Ponteiro - controle) e 87,57% (TBIO Audaz - F1). No geral, houveram poucas diferenças significativas entre os genótipos e seus tratamentos ( $P > 0,05$ ). Bressiani (2016) explica que o glúten úmido representa uma medida do rendimento total do glúten, sendo um indicativo da capacidade das proteínas do gluten se agregarem. Para usos na panificação quanto maior o teor de glúten úmido melhor. Já o índice de glúten, segundo Montenegro e Ormenese (2008), é utilizado como indicador da

qualidade do glúten, sendo considerados glúten fraco aqueles que apresentar índice abaixo de 40% e de boa qualidade acima de 60%.

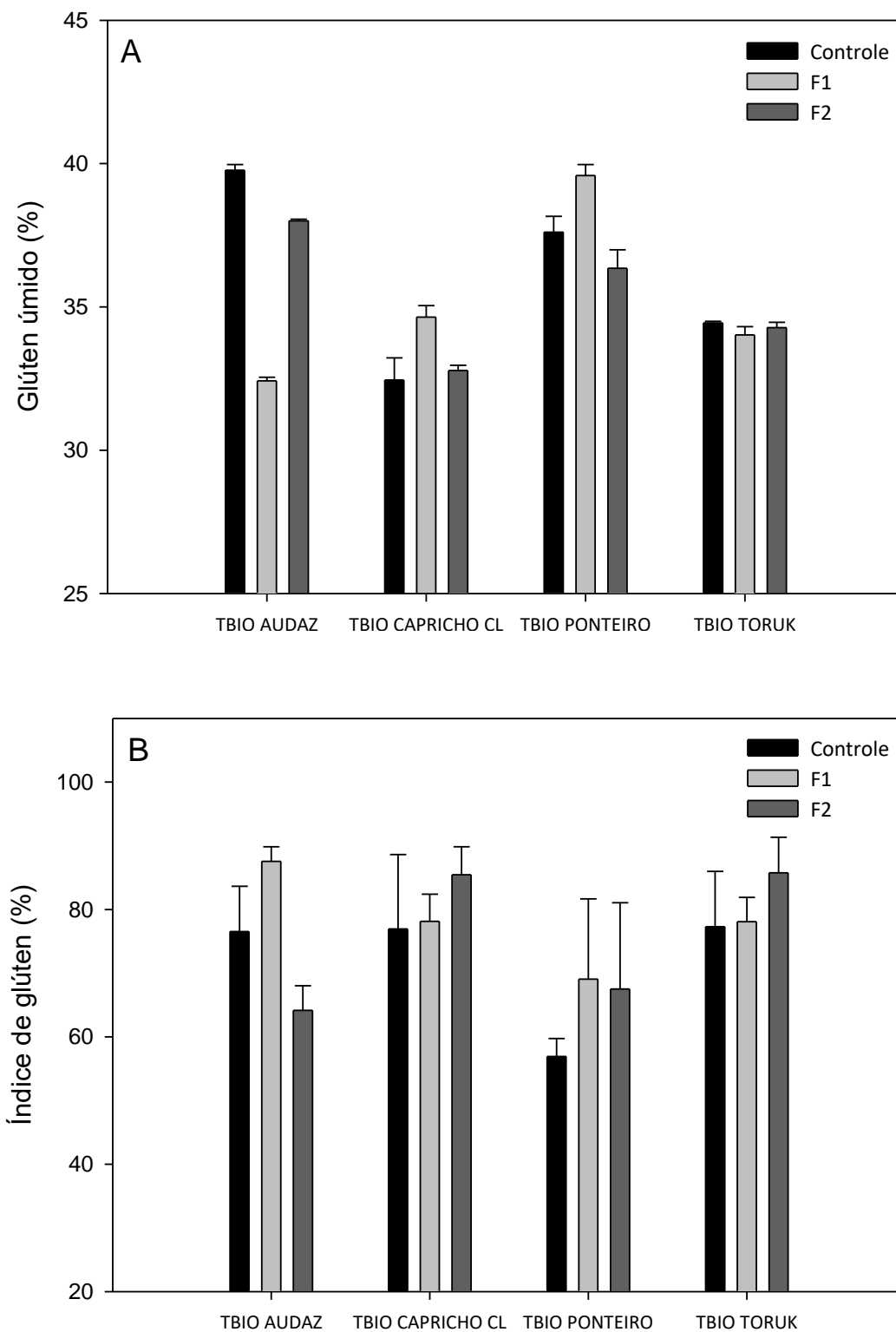


Figura 24 - Percentual de glúten úmido (A) e índice de glúten (B) dos quatro genótipos de trigo e seus respectivos tratamentos controle e com fungicida.



As propriedades alveográficas aferidas no presente estudo foram: tenacidade (P), extensibilidade (L), força de glúten (W) e relação tenacidade/extensibilidade (P/L). Os resultados são apresentados na forma de gráficos e podem ser visualizados na Figura 25.

A tenacidade das amostras se mostrou bastante influenciada pelos tratamentos (Figura 25A), por exemplo, TBIO Audaz exibiu um valor inferior ao seu controle quando submetido ao tratamento F1 (69,12mm), em contrapartida, o tratamento F2 não diferiu significativamente do controle. Nos genótipos TBIO Ponteiro e TBIO Toruk as alterações em relação ao controle foram mais contrastantes em F2, sendo que em TBIO Ponteiro houve redução, enquanto em TBIO Toruk o uso do fungicida causou aumento da tenacidade.

Nos resultados de extensibilidade foram encontrados valores na faixa de 97,44-123,16mm (Figura 25B). Com exceção de TBIO Audaz, os genótipos apresentaram comportamentos parecidos, sendo que em ambos a extensibilidade decresceu com o uso das doses de fungicida.

Acerca da força de glúten, dois genótipos de trigo mostraram resultados bastante significativos ao serem comparados seus controles com os tratamentos F1 e F2. No caso do genótipo TBIO Audaz, os tratamentos F1 e F2 foram responsáveis por reduzir em 21% e 20% o valor W. Ao contrário disso, no genótipo TBIO Capricho CL, os resultados de W foram 75% e 66% superiores ao controle, em F1 e F2, respectivamente (Figura 25C).

Quanto a relação tenacidade/extensibilidade (P/L), observou-se resultados que oscilaram entre 0,66 e 1,17mm (Figura 25D). Inclusive, os extremos citados anteriormente se referem ao mesmo genótipo, TBIO Toruk. Nesta situação em específico, o valor P/L aumentou gradativamente com o uso dos manejos de fungicida 1 e 2, comparando-os ao controle desse mesmo genótipo.

Conforme descrito por Dobraszczyk e Morgenstern (2003), o entendimento das características viscoelásticas da farinha de trigo é essencial para poder determinar o seu uso final. Farinhas que apresentam alta tenacidade são preferidas para massas e pães, pois indicam um glúten forte, enquanto farinhas com maior extensibilidade, são consideradas mais fracas, e seu uso é recomendado para a fabricação de bolos e biscoitos.

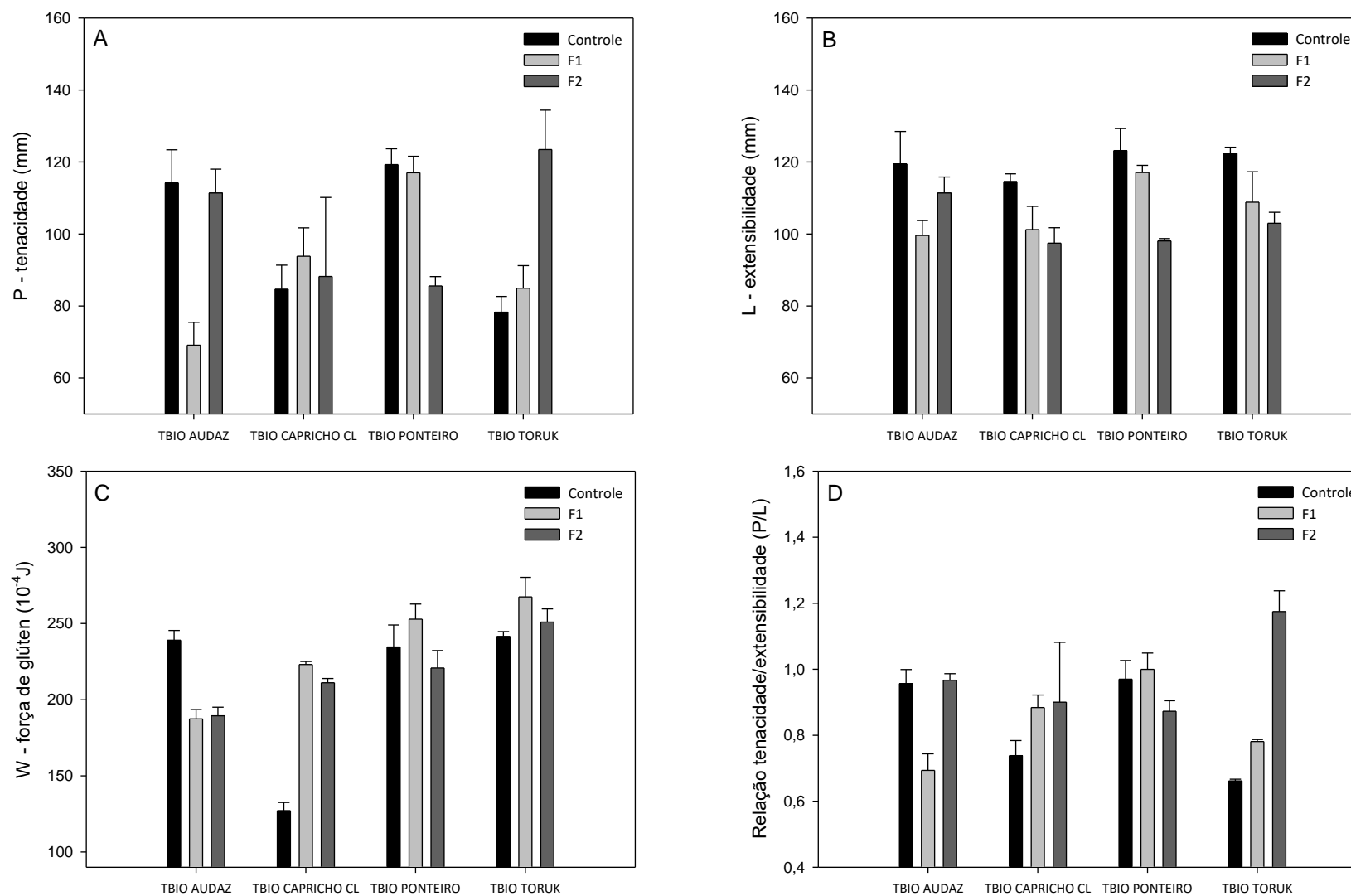


Figura 25 – Características alveográficas dos quatro genótipos de trigo e seus respectivos tratamentos controle e com fungicida: tenacidade (A), extensibilidade (B), força de glúten (C) e relação tenacidade/extensibilidade (D).

Os genótipos TBIO Audaz e TBIO Toruk exibiram valores de número de queda significativamente superior aos demais genótipos, situando seus resultados entre 269 e 304s, conforme pode-se visualizar na Figura 26. TBIO Capricho CL mostrou-se mais influenciado pelos tratamentos com fungicida, pois enquanto obteve 174,5s na amostra controle, aumentou seu número de queda para 213,5s em F1 e para 221,5s em F2.

Geralmente, o número de queda é utilizado para constatar possíveis danos causados pela germinação dos grãos ainda no campo, pois durante o processo germinativo algumas reservas são consumidas e ocorre a ativação enzimática. Ademais, através do número de queda estima-se, por exemplo, a capacidade de fermentação da massa (LÉON, 2007; VÁZQUEZ, 2009). Rakita et al. (2015) verificaram que grãos de trigo provenientes de safras mais chuvosas apresentaram aumento da atividade de  $\alpha$ -amilase, consequentemente nesses materiais houve maior degradação do amido, interferindo nas propriedades de pasta das farinhas que exibiram redução na sua viscosidade.

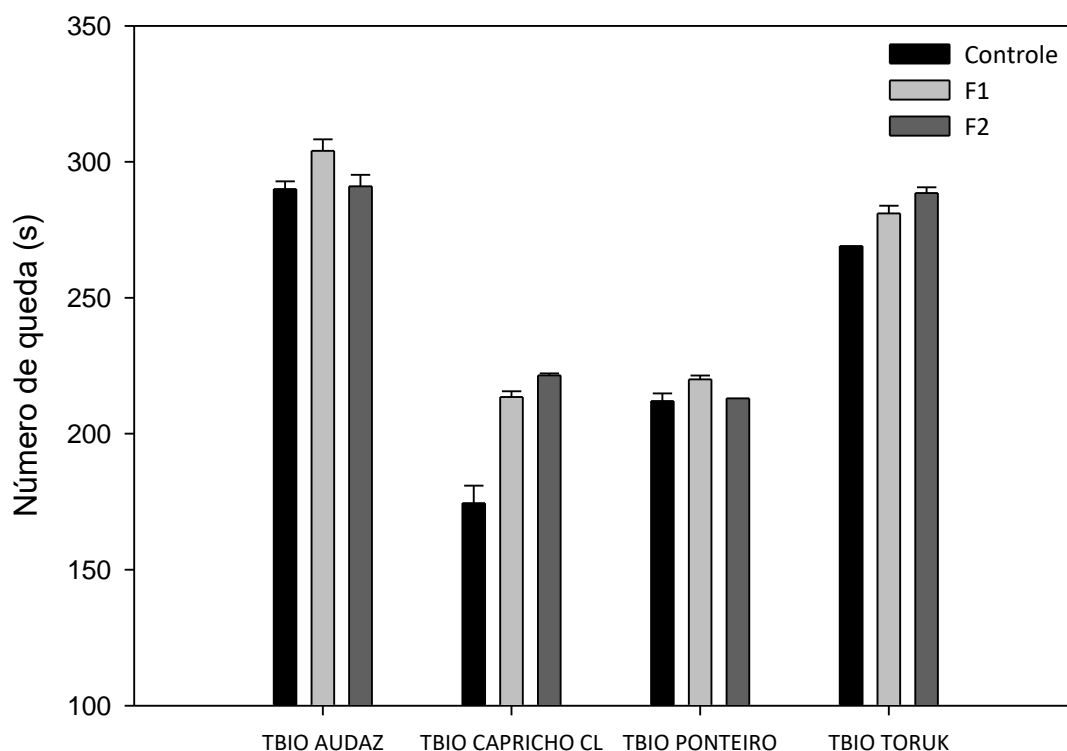


Figura 26 – Número de queda dos quatro genótipos de trigo e seus respectivos tratamentos controle e com fungicida.

Os dados obtidos pela análise das propriedades de pasta do trigo estão apresentados na Figura 27, nela estão contidos os resultados de pico de viscosidade, quebra, viscosidade mínima, viscosidade final, retrogradação e temperatura de pasta.

Através dos gráficos é possível evidenciar que existe uma forte correlação entre os valores de pico de viscosidade (Figura 27A), viscosidade mínima (Figura 27C), viscosidade final (Figura 27D) e retrogradação (Figura 27E) para todas as amostras estudadas. Para esses quatro parâmetros da análise de viscosidade, os genótipos TBIO Audaz e TBIO Toruk tiveram os resultados mais altos, enquanto em TBIO Capricho CL e TBIO Ponteiro observaram-se menores valores de viscosidade para os mesmos parâmetros. Ainda neste sentido, pode-se observar que os genótipos TBIO Capricho CL, TBIO Ponteiro e TBIO Toruk responderam aos tratamentos F1 e F2 aumentando exponencialmente seus resultados.

A quebra de viscosidade variou de 41,71RVU a 72,83RVU (Figura 27B) entre todas as amostras analisadas. Poucas diferenças significativas foram encontradas em relação aos tratamentos controle, F1 e F2. Contudo, o genótipo TBIO Capricho CL apresentou-se como exceção, aumentando consideravelmente sua quebra com os tratamentos F1 e F2, alterando seu valor de 41,71RVU para 60,30RVU (F1) e 60,50RVU (F2).

Quanto a temperatura de pasta, foram encontrados valores variando entre 67,43°C e 85,55°C, porém poucas diferenças estatísticas foram observadas neste caso. Somente o genótipo TBIO Audaz mostrou uma redução acentuada em F2 (67,43°C), cerca de 20% inferior a temperatura de pasta da amostra controle.

Segundo Copeland et al. (2009) a gelatinização do amido durante seu aquecimento em excesso de água, o que acarreta em perda da estruturação e cristalinidade dos grânulos de amido. Conforme os grânulos incham acontece a ruptura dos mesmos, onde a amilose é lixiviada resultando no aumento da viscosidade. Sendo assim as propriedades viscoamilográficas podem ser afetadas por alguns fatores, tais como, teor de amilose, teor de lipídeos, teor de fósforo e comprimento das cadeias de amilopectina. Amilose e lipídeos, por exemplo, podem ser agentes inibidores do inchamento dos grânulos, afetando o pico de viscosidade, já amilopectina favorece isso (TESTER; MORRISON, 1990).

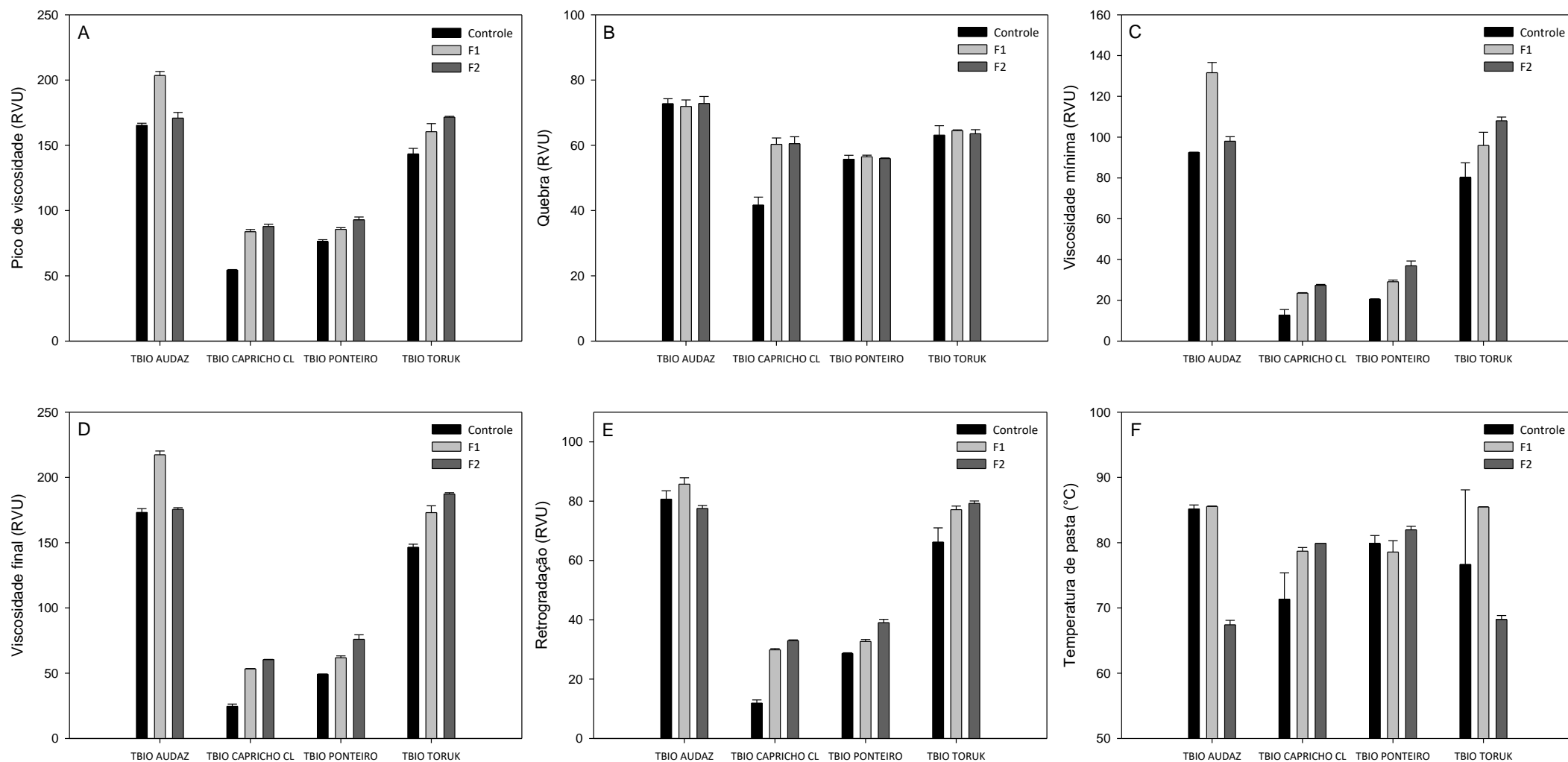


Figura 27 - Propriedades viscoamilograficas dos quatro genótipos de trigo e seus respectivos tratamentos controle e com fungicida: pico de viscosidade (A), quebra (B), viscosidade mínima (C), viscosidade final (D), retrogradação (E) e temperatura de pasta (F).

## 6.4 Conclusões

Nossos resultados ressaltam a importância do manejo adequado de fungicidas na triticultura, não apenas para o controle de doenças, mas também para a manutenção da qualidade dos grãos. As medidas de rendimento do trigo foram significativamente beneficiadas com a aplicação de fungicida. Variáveis como produtividade, peso hectolitro e peso de mil grãos aumentaram consideravelmente em relação ao tratamento controle.

O percentual de grãos chochos e giberelados foram influenciados positivamente pelas doses de fungicida, sendo reduzidos gradualmente para a maioria dos genótipos avaliados. Além disso, a quantidade de micotoxina desoxinivalenol reduziu consideravelmente para todos os genótipos após o uso do fungicida.

Quanto as propriedades tecnológicas das farinhas de trigo, os genótipos TBIO Ponteiro e TBIO Toruk embora não tenham tido o teor de glúten úmido influenciado pelos manejos de fungicida, apresentaram modificações consideráveis nos parâmetros tenacidade e extensibilidade. Já a tendência a retrogradação foi aumentada junto ao aumento da dose de fungicida pelos genótipos TBIO Ponteiro e TBIO Toruk.

## 7 CONCLUSÃO GERAL

Investigamos neste estudo o comportamento de genótipos de trigo amplamente cultivados no Brasil, porém fornecendo novos insights sobre a aplicação desses materiais em uma área onde a cultura ainda está começando a ser difundida, região Sul do Estado do Rio Grande do Sul. Os genótipos apresentaram grande variação em suas características físicas e tecnológicas em ambos experimentos. No primeiro capítulo, foi observado que a qualidade tecnológica dos grãos de trigo é afetada pela maneira como as características genéticas interagem com o momento da colheita. Isso destaca a complexidade e os diversos fatores envolvidos na determinação da qualidade final dos grãos. Quanto ao segundo capítulo, foi constatado que o uso de fungicida claramente melhorou o desempenho do trigo, mostrando que o ingrediente ativo utilizado é eficaz para manter a qualidade dos grãos.

## REFERENCIAS

AACC - AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved Methods of Analysis**. 11<sup>a</sup> ed. AACC International, Saint Paul, MN, USA, 2010.

ABITRIGO – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO TRIGO. **Moagem de trigo apresenta estabilidade no Brasil em 2021**. Disponível em:

<https://www.abitrigo.com.br/moagem-de-trigo-apresenta-estabilidade-no-brasil-em-2021/>. Acesso em: 6 jun. 2022.

ALVES, E. et al. Trigo, o difícil, mas essencial pão nosso de cada dia: Da dependência externa à autossuficiência. **Revista de Política Agrícola**, Ano XXXI – Nº 2 – Abr/Maio/Jun., 2022.

ALVES, Michely da Silva. **Produtividade e qualidade de cultivares de trigo em resposta a épocas de semeadura e manejo do solo em região de clima tropical de altitude**. 2019. 102f. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2019.

ANDERSEN, K. F.; MORRIS, L.; DERKSEN, R. C. Rainfastness of Prothioconazole + Tebuconazole for Fusarium Head Blight and Deoxynivalenol Management in Soft Red Winter Wheat. **Plant Disease**, v. 98, n. 10, 2014.

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Regularização de produtos e serviços – agrotóxicos: monografias de agrotóxicos**. Anvisa, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/acessoainformacao/dadosabertos/informacoes-analiticas/monografias-de-agrotoxicos>. Acesso em: 10 jun. 2022.

ASSADZADEH, S. et al. Prediction of milling yield in wheat with the use of spectral, colour, shape, and morphological features. **Biosystems Engineering**, v. 214, p. 28–41, 2022.

BAGULHO et al. Qualidade do trigo mole: dependência dos fatores genéticos e ambientais. **Vida Rural**, v. 1854, n. 67, p. 28-30, 2020.

BAGULHO, A. S. **Efeito das proteínas de reserva e das associadas ao amido e aos lípidos nas propriedades reológicas da farinha de trigo mole**. 2008. 264f.

Tese (doutorado) - Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 2008.

BATISTA, V. V. et al. Componentes de rendimento e produtividade de cultivares de trigo submetidas ao parcelamento ou não de nitrogênio. **Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 18, n. 3, p. 1-7, 2020.

BAYRAM, M.; ONER, M. D.; EREN, S. Effect of cooking time and temperature on the dimensions and crease of the wheat kernel during bulgur production. **Journal of Food Engineering**, v. 64, n. 1, p. 43-51, 2004.

BECHE, E. et al. Melhoria no melhoramento de trigo brasileiro: mudanças nas fases de desenvolvimento e características ecofisiológicas. **Euphytica** v. 214, p. 56, 2018.

BENNETT, D. et al. Detection of two major grain yield QTL in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under heat, drought and high yield potential environments. **Theoretical and applied genetics**, v. 125, n. 7, p. 1473-1485, 2012.

BERNARDI, C. M. G. et al. **Micotoxinas do trigo** (Cartilha do Agricultor). São Paulo: Abitrito; Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2018.

BIEL, W. et al. Comparison of yield, chemical composition and farinograph properties of common and ancient wheat grains. **Eur Food Res Technol**, v. 247, p. 1525–1538, 2021.

BLAKENEY, A. et al. **Understanding Australian wheat quality**. Kingston, ACT, Austrália, 2009.

BOLLER, Jean carlos. **Doses de fungicida multissítio no controle de mancha amarela no trigo**. 2022. 23f. TCC (Curso de Agronomia) - Universidade da Fronteira Sul, Erechim, 2022.

BONFIL, D. J.; ABBO, S.; SVORAY, T. Sowing Date and Wheat Quality as Determined by Gluten Index. **Crop Science**, v. 55, n. 5, p. 2294–2306, 2015.

BRASIL - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, p. 395, 2009.



BRASIL - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 38, de 30 de novembro de 2010. **Regulamento Técnico para Classificação Oficial do Trigo**. Brasília: MAPA, 2010.

BRASIL - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portaria nº 609, de 20 de dezembro de 2021. Aprova o Zoneamento Agrícola de Risco Climático – ZARC para a cultura do trigo de sequeiro no Estado do Rio Grande do Sul, ano safra 2021/2022**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2021.

BRAUNS, B. et al. Pesticide use in the wheat-maize double cropping systems of the North China Plain: Assessment, field study, and implications. **Sci Total Environ**, v. 616-617, p. 1307-1316, 2018.

BRESSIANI, Joseane. **Qualidade de farinha de trigo de grão inteiro em resposta a influência de diferentes tamanhos de partícula**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Passo Fundo, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Passo Fundo, 2016.

BROUNS, F. J. P. H.; VAN BUUL, V. J.; SHEWRY, P.R. Does wheat make us fat and sick? **Journal of Cereal Science**, v. 58, p. 209-215, 2013.

BUREŠOVÁ, B. et al. The Effect of Boiling and in Vitro Digestion on the Carotenoid Content of Colored-grain Wheat. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 115, 105002, 2023.

CAIERÃO, E. et al. Origem, evolução e melhoramento genético. In: **Trigo: o produtor pergunta, a Embrapa responde/ Claudia De Mori ... [et al.]**, editores técnicos. – Brasília, DF: Embrapa, 2016.

CAPUANO, E.; PELLEGRINI, N. An integrated look at the effect of structure on nutrient bioavailability in plant foods. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 2, p. 493-498, 2019.

CASTRO, A. C. et al. Evaluation of different fungicides and nitrogen rates on grain yield and bread-making quality in wheat affected by *Septoria tritici* blotch and yellow spot. **Journal of Cereal Science**, v. 83, p. 49–57, 2018.

CEZAR, A. P. C. **Controle de Qualidade na Farinha de Trigo**. 2012. 26f. Trabalho de Estágio Supervisionado (Curso Superior de Tecnologia em Alimentos) -

Universidade Tecnológica Federal do Paraná-Campus Campo Mourão, Campo Mourão, 2012.

CHEN, J.; ZHU, S.; ZHAO, G. Rapid determination of total protein and wet gluten in commercial wheat flour using siSVR-NIR. **Food Chemistry**, v. 221, p. 1939–1946, 2017.

CHO, S. et al. Influence of protein characteristics and the proportion of gluten on end-use quality in Korean wheat cultivars. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 17, n. 8, p. 1706-1719, 2018.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **A cultura do trigo** / Aroldo Antônio de Oliveira Neto e Candice Mello Romero Santos, editores técnicos. – Brasília, DF: CONAB, 2017.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Calendário de plantio e colheita de grãos no Brasil 2020**. CONAB: 2020. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 14 jun. 2022.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Informações Agropecuárias**, Trigo - Análise Mensal, setembro 2023. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 27 dez. 2023.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Produção Agrícola: Safra - Série Histórica dos Grãos**. CONAB: 2024. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html>. Acesso em: 26 jan. 2024.

COPELAND, L. et al. Form and functionality of starch. **Food Hydrocolloids**, v. 23, p. 1527–1534, 2009.

CUNHA, G. R. et al. Bioclimatologia e zoneamento agrícola. In: **Trigo: o produtor pergunta, a Embrapa responde**/ Claudia De Mori ... [et al.], editores técnicos. – Brasília, DF: Embrapa, 2016.

D'ANGELO, D. L. et al. Efficacy of fungicide applications during and after anthesis against Fusarium Head Blight and deoxinivalenol in soft red winter wheat. **Plant Disease**, v. 98, n. 10, p. 1387-1397, 2014.

- DE MORI, C. Aspectos econômicos da produção e utilização. In: Borém, A.; Scheeren, P. L. (eds) **Trigo: do plantio à colheita**. Viçosa, MG, p. 11– 34, 2015.
- DEL PONTE, E. M. et al. Regional and field-specific factors affect the composition of Fusarium head blight pathogens in subtropical no-till wheat agroecosystem of Brazil. **Phytopathology**, v. 105, n. 2, p. 246-254, 2015.
- DELCOUR, J. A. et al. Wheat gluten functionality as a quality determinant in cereal-based food products. **Food Science and Technology**, v. 3, p. 469–492, 2012.
- DELCOUR, J. A.; HOSENEY, R. C. **Principles of cereal science and technology**. ed. 3. St. Paul, Minnesota (EUA): AACC, 2010.
- DELWICHE, S. R.; VINYARD, B. T.; BETTGE, A. D. Repeatability Precision of the Falling Number Procedure Under Standard and Modified Methodologies. **Cereal Chemistry Journal**, v. 92, n. 2, p. 177–184, 2015.
- DEWETTINCK, K. Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception. **Journal of Cereal Science**, v. 48, p. 243-257, 2008.
- DGA - Dietary Guidelines Advisory Committee. **Scientific report of the 2020 Dietary Guidelines Advisory Committee: advisory report to the Secretary of Agriculture and the Secretary of Health and Human Services**. Internet. Washington (DC): US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Department of Health and Human Services, 2020.
- DOBRSZCZYK, B.J.; MORGENSTERN, M.P. Rheology and the bread making process. **Journal of Cereal Science**, v. 38, p. 229–245, 2003.
- DREWNOWSKI, A. Perspective: Why Whole Grains Should Be Incorporated into Nutrient-Profile Models to Better Capture Nutrient Density. **Adv Nutr.**, v. 3, p. 600-608, 2021.
- DUBOIS, M. et al. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, v. 28, p. 350-356, 1956.
- DUPONT, F. M.; ALTENBACH, S. B. Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. **Journal of Cereal Science**, v.38, n.2, p.133-146, 2003.

ERENSTEIN, O. et al. Global Trends in Wheat Production, Consumption and Trade. In: REYNOLDS, M. P., BRAUN, H. J. (Eds) **Wheat Improvement**. Springer, Cham., p. 47-56, 2022.

FAROOQ, M.; HUSSAIN, M.; SIDDIQUE, K. H. M. Drought stress in wheat during flowering and grain-filling periods. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 33, p. 331–349, 2014.

FEKSA, H. R. et al. Pre- and postinfection application of strobilurin-triazole premixes and single fungicides for control of fusarium head blight and deoxynivalenol mycotoxin in wheat. **Crop Protection**, v. 117, p. 128–134, 2019.

FRAGA, C. G. et al. The effects of polyphenols and other bioactives on human health. **Food & function**, v. 10, n. 2, p. 514-528, 2019.

FRANCO, C. M. L. et al. Structural and functional characteristics of selected soft wheat starches. **Cereal Chemistry**, v. 79, n. 2, p. 243-248, 2002.

GERMANI, R. **Características dos grãos e farinhas de trigo e avaliação de suas qualidades**. Embrapa – Laboratório de análise de trigo. Rio de Janeiro. 2008.

GUARIENTI, E. M.; MIRANDA, M. Z. Qualidade tecnológica do trigo. In: **Trigo: o produtor pergunta, a Embrapa responde/** Claudia De Mori ... [et al.], editores técnicos. – Brasília, DF: Embrapa, 2016.

GUTKOSKI, L. C. et al. Efeito do período de maturação de grãos nas propriedades físicas e reológicas de trigo. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. v. 28, n. 4, p. 888-894, 2008.

HARRIS, K. et al. Perspective: Utilizing High Amylose Wheat Flour to Increase Dietary Fiber Intake of Children and Adolescents: A Health by Stealth Approach. **Frontiers in Public Health**, v. 10, 2022.

HE, Y. et al. Impacts of Starch and the Interactions Between Starch and Other Macromolecules on Wheat Falling Number, **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 18, n. 3, p. 641–654, 2019.

HEINZE, Karsta M. **From Grain to Granule: The Biomechanics of Wheat Grain Fractionation with a Focus on the Role of Starch Granules**. 2017. 206f. Tese (Doutorado) – Université de Montpellier, França, 2017.

HU, Y. et al, As the number falls, alternatives to the Hagberg–Perten falling number method: A review, **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 21, n. 3, p. 2105–2117, 2022.

HUNT, J. et al. Wheat phenology and the drivers for yield in the high rainfall zone. **Climate Science**. London, 2018.

HYLES, J. et al. Phenology and related traits for wheat adaptation. **Heredity**, v. 125, p. 417–430, 2020.

IFIC - International Food Information Council. 2021. **Food & Health**. Disponível em: <https://foodinsight.org/2021-food-health-survey/>. Acesso em: 18 jul. 2022.

JIN, F. et al. Fusarium-damaged kernels and deoxinivalenol in Fusarium-infected U.S. winter wheat. **Phytopathology**, v. 104, n. 5, p. 472-478, 2014.

JODAL, A. S. S.; LARSEN, K. L. Investigation of the relationships between the alveograph parameters. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 53-49, 2021.

JONES, J. M. et al. Carbohydrates, Grains, and Wheat in Nutrition and Health: An Overview Part I. Role of Carbohydrates in Health. **Cereal Foods World**, v. 60, n. 5, p. 224-233, 2015.

KISZONAS, A. M.; MORRIS, C. F. Wheat breeding for quality: A historical review. **Cereal Chem**. v. 95, p. 17–34, 2018.

KOCHINSKI, Edson Giovanni. **Ajuste e parametrização do modelo wang-engel para estimativa dos estádios fenológicos em genótipos de trigo**. 2020. 112f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Setor de Ciências Agrárias e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Ponta Grossa, 2020.

KOYCU, N. D. Effect of fungicides on spike characteristics in winter wheat inoculated with *Fusarium culmorum*, **Food Additives & Contaminants: Part A**, v. 39, n. 5, p. 1001-1008, 2022.

LACHMAN, J. et al. Genetics and chemistry of pigments in wheat grain – A review. **Journal of Cereal Science**, v. 74, p. 145–154, 2017.

- LAMANNA, R. et al. Geographical origin of durum wheat studied by <sup>1</sup>H-NMR profiling. **Magnetic Resonance in Chemistry**, v. 49, n. 1, p. 1-5, 2011.
- LARGE, E. C. Growth stages in cereals illustration of the Feekes scale. **Plant pathology**, v. 3, n. 4, p. 128–129, 1954.
- LARROQUE, O. R.; CALDERINI, D. F.; ANGUS, J. F. Managing dryland wheat to produce high-quality grain. **Field Crops Research**, v. 280, 108473, 2022.
- LAU, D. et al. Controle de doenças. In: **Trigo: o produtor pergunta, a Embrapa responde/** Claudia De Mori ... [et al.], editores técnicos. – Brasília, DF: Embrapa, 2016.
- LAU, D.; PEREIRA, P. R. V. S.; CASTRO, R. L. **Reação ao BYDV-PAV de cultivares de trigo do ensaio estadual do Rio Grande do Sul, em 2019**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2020. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em: 20 jun. 2022.
- LÉON, A. E. **De tales harinas, tales panes: granos, harinas y productos de panificación em Iberoamérica**. Córdoba: Hugo Báez, 2007. 480p.
- LEON, E. et al. Pasting properties of transgenic lines of a commercial bread wheat expressing combinations of HMW glutenin subunit genes. **Journal of Cereal Science**, v. 51, p. 344–349, 2010.
- LI, Y. et al. The influence of drought and heat stress on the expression of end-use quality parameters of common wheat. **J. Cereal. Sci.**, v. 57, n. 1, p. 73-78, 2013.
- LIMA, M. I. P. M. **Giberela ou Brusone? Orientações para a identificação correta dessas enfermidades em trigo e cevada**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004.
- LIMA, M. I. P. M.; TIBOLA, C. S.; SILVA, M. P. **Quantificação de giberela na pré-colheita e em etapas do beneficiamento de sementes de trigo**. In: Seminário técnico do trigo, 10 ed, 2015, Passo Fundo. Anais... Passo Fundo: Biotrigo Genética: Embrapa Trigo, 2015.
- LIU, K. et al. Protein insolubilization and thermal destabilization during storage as related to hard-to-cook defect in cowpeas. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 40, p. 2483-2487, 1992.

LIU, L. et al. Response of biomass accumulation in wheat to low-temperature stress at jointing and booting stages. **Environmental and Experimental Botany**, v. 157, p. 46–57, 2019.

LIU, Y. et al. Occurrence of deoxynivalenol in wheat, Hebei Province, China. **Food Chemistry**, v. 197, p. 1271-1274, 2016.

LUZ, G. M.; PALLONE, J. A. L. Alimentos à base de plantas: dietas, tendências de mercado, composição nutricional e ensaios in vitro de bioacessibilidade e biodisponibilidade de minerais. In: VERRUCK, S. (EDS) **Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Editora Científica Digital, v. 6, c. 1, p. 12-29, 2022.

LUZ, S. R. et al. Mycotoxin and fungicide residues in wheat grains from fungicide-treated plants measured by a validated LC-MS method. **Food Chemistry**, v. 220, p. 510-516, 2017.

MACHADO, L. V. et al. Deoxynivalenol in wheat and wheat products from a harvest affected by fusarium head blight. **Food Science and Technology**, v. 37, n. 1, p. 8–12, 2017.

MACIEL et al. Doenças da cultura do trigo no Brasil. **Revista Plantio Direto & Tecnologia Agrícola**, n. 174, p. 1-17, 2020.

MACLEAN, D. E. et al. Fungicide application at anthesis of wheat provides effective control of leaf spotting diseases in western Canada. **Crop Protection**, v. 112(July), p. 343–349, 2018.

MALALGODA, M.; SIMSEK, S. Pesticide residue in grain-based food: Effects on health, grain quality, and chemical properties of biomacromolecules. **Cereal Chemistry**, v. 98, n. 1, p. 8–16, 2022.

MANGAN, B. N. et al. Starch Properties Ratio among Wheat Species Originated from different Regions of the World. **Pakistan Journal of Biochemistry and Biotechnology**, v. 3, n. 1, p. 49–63, 2022.

MANLEY, M. et al. Assessment of variance in the measurement of hectolitre mass of wheat, using equipment from different grain producing and exporting countries. **Biosyst. Eng.**, v.103, p. 176-186, 2009.

MARCANDALLI, L. H.; LAZARINI, E.; MALASPINA, I. G. Épocas de aplicação de dessecantes na cultura da soja: qualidade fisiológica de sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 2, p. 241-250, 2011.

MARINHO, J. L. et al. Technological quality of wheat grains and flour as affected by nitrogen fertilization and weather condition. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 34, n. 12, p. 997-1011, 2022.

MCGRANE, S.; CORNELL, H.; RIX, C. A simple and rapid colorimetric method for the determination of amylose in starch products. **Starch**, v. 50, p. 158–163, 1998.

MENKE, J.; DONG, Y.; KISTLER, H. C. Fusarium graminearum Tri12p influences virulence to wheat and trichothecene accumulation. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 25, n. 11, p. 1408-1418, 2012.

MHIKO, T. A. Determination of the causes and the effects of storage conditions on the quality of silo stored wheat (*Triticumaestivum*) in Zimbabwe. **Nat. Prod. Bioprospect.** v. 2, p. 21–28, 2012.

MÓDENES, A. N.; SILVA, A. M. da; TRIGUEROS, D. E. G. Avaliação das propriedades reológicas do trigo armazenado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, 2009.

MÓDENES, A. P.; SILVA, A. M.; TRIGUEROS, D. E. G. Avaliação das propriedades reológicas do trigo armazenado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 3, p. 508–512, 2009.

MOHAPATRA, D.; BAL, S. Cooking quality and instrumental textural attributes of cooked rice for different milling fractions. **Journal of Food Engineering**, v. 73, p. 253–259, 2006.

MOHLER, V. et al. Genetic analysis of falling number in three bi-parental common winter wheat populations. **Plant Breeding**, v. 133, p. 448-453, 2014.

MONTENEGRO, F. M.; ORMENESE, R. C. S. C. **Avaliação da qualidade tecnológica da farinha de trigo**. Campinas: Cereal Chocotec ITAL, 2008. 62p.

MORAIS, Janne Santos de. **Desenvolvimento de bolo de abóbora sem glúten**. 2016. 50f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Universidade Federal da



Paraíba, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia de Alimentos, João Pessoa, 2016.

NABIM. **Wheat structure**. Disponível em:

<https://www.ukflourmillers.org/wheatstructure>. Acesso em: 02 jul. 2022.

NETO, F. S.; CAMPOS, A. C. Plantas de cobertura antecedendo a cultura de trigo. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 16, n. 4, p. 463-467, 2017.

NUTTALL, J. G. et al. Models of grain quality in wheat—A review. **Field Crops Research**, v. 202, p. 136–145, 2017.

OMAR, N. A. M. Long-term whole-grain rye and wheat consumption and their associations with selected biomarkers of inflammation, endothelial function, and cardiovascular disease. **Eur J Clin Nutr.**, v. 75, n.1, p. 123-132, 2021.

ONU - United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division. **World Population Prospects 2022: Summary of Results**. UN DESA/POP/2022/TR/NO.3, 2022.

OSBORNE, T. B. **The proteins of wheat kernel**. Washington: Carnegie Institute Publication, 84, 1907. 119p.

PAUL P. A. et al. Efficacy of triazole-based fungicides for fusarium head blight and deoxynivalenol control in wheat: a multivariate meta-analysis. **Phytopathology**, v. 98, p. 999-1011, 2008.

PAZDIORA, Paulo Cesar. **Silício, resistência parcial e fungicida no manejo da giberela do trigo**. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pelotas, Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade, Pelotas, 2019.

PHAKELA, K. et al. Gluten protein response to heat and drought stress in durum wheat as measured by reverse phase - High performance liquid chromatography. **Journal of Cereal Science**, v. 100, p. 103-267, 2021.

POOLE, N.; DONOVAN, J.; ERENSTEIN, O. Agri-nutrition research: Revisiting the contribution of maize and wheat to human nutrition and health. **Food Policy**, v. 100, 101976, 2021.

RAGAE, S.; ABDEL-AAL, EL-S. Pasting properties of starch and protein in selected cereals and quality of their food products. **Food Chemistry**, v. 95, p. 9-18, 2006.

RAKITA, S. M. et al. Alpha-amylase activity in wheat flour and breadmaking properties in relation to different climatic conditions. **Food and Feed Research**, v. 42, p. 91–99, 2015.

RODRIGUES, F. A. et al. Multi-temporal and spectral analysis of high-resolution hyperspectral airborne imagery for precision agriculture: assessment of wheat grain yield and grain protein content. **Remote Sensing**, v. 10, n. 6, p. 930, 2018.

ROSA-SIBAKOV, N.; POUTANEN, K.; MICARD, V. How does wheat grain, bran and aleurone structure impact their nutritional and technological properties? **Trends in Food Science and Technology**, v. 41, n. 2, p. 118-134, 2015.

SANTANA, F. M.; CHAVES, M. S. Doenças e métodos e controle. In: PIRES, J. L. F. (ed.). **Cultivo de trigo**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014. (Embrapa Trigo. Sistemas de produção, 4). Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em: 30 jun. 2022.

SANTANA, F. M.; LAU, D.; CLEBSCH, C. C. **Eficiência de fungicidas para controle de giberela em trigo: ensaios cooperativos - safra 2015 - Coxilha, RS**. In: Reunião da comissão brasileira de pesquisa de trigo e triticales, 10., 2016, Londrina. Anais... Londrina: Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticales, 2016.

SANTOS, H. P. dos; PIRES, J. L. F.; FONTANELI, R. S. Semeadura e rotação de culturas. In: PIRES, J. L. F. (ed.). **Cultivo de trigo**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014. (Embrapa Trigo. Sistemas de produção, 4). Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em: 30 jun. 2022.

SANTOS, J. F. et al. Validação de metodologia analítica para quantificação de desoxinivalenol em amostras de trigo e produtos à base de trigo por CLAE-UV. **Scientia plena**, v. 17, p. 1–8, 2021.

SAVADI, S. et al. Molecular breeding technologies and strategies for rust resistance in wheat (*Triticum aestivum*) for sustained food security. **Plant pathology**, v. 67, n. 4, p. 771-791, 2018.

SAVARY, S. et al. A carga global de patógenos e pragas nas principais culturas alimentares. **Nat. Eco Evoluir**, v. 3, p. 430-439, 2019.

SAVI, G. D. et al. Deoxynivalenol in the wheat milling process and wheat-based products and daily intake estimates for the Southern Brazilian population. **Food Control**, v. 62, p. 231-236, 2016.

SCHEEREN, P.; DE CASTRO, R. L.; CAIERÃO, E. **Trigo do Plantio à Colheita: Botânica, Morfologia e Descrição Fenotípica**, 2015. cap. 2. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em: 30 jun. 2022.

SCHEUER, P. M. et al. Trigo: Características e Utilização Na Panificação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 13, n. 2, p. 211–222, 2011.

SCHIERENBECK, M. et al. Combinations of fungicide molecules and nitrogen fertilization revert nitrogen yield reductions generated by *Pyrenophora tritici-repentis* infections in bread wheat. **Crop Protection**, v. 121, p. 173–181, 2019.

SEIXAS, C. D. S. et al. **Avaliação da eficiência de fungicidas no controle de Gibberella zeae em trigo, em Ponta Grossa, PR, safra 2011**. In: Reunião da comissão brasileira de pesquisa de trigo e triticales, 6., 2012, Londrina. [Anais...]. Londrina: IAPAR, 2012.

SHAHIDI, F.; AMBIGAIPALAN, P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects—A review. **Journal of Functional Foods**, v. 18, p. 820-897, 2015.

SHAMUYARIRA, K. W. ET AL. A meta-analysis of combining ability effects in wheat for agronomic traits and drought adaptation: Implications for optimizing biomass allocation. **Crop Science**, v. 62, n. 1, p. 139–156, 2022.

SHEWRY, P. R.; HEY, S. J. The contribution of wheat to human diet and health. **Food and Energy Security**, v. 4, n. 3, p. 178–202, 2015.

SHIFERAW, B. et al. Crops that feed the world 10. Past successes and future challenges to the role played by wheat in global food security. **Food Sec.**, v. 5, p. 291–317, 2013.

SILVA, M. V. et al. Occurrence and risk assessment of population exposed to deoxynivalenol in foods derived from wheat flour in Brazil. **Food Additives & Contaminants: Part A**, v. 35, n. 3, p. 546–554, 2018.

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, 2020.

SILVEIRA, Miriã Miranda. **Discriminação da qualidade de genótipos de trigo produzidos no Rio Grande do Sul e sua utilização na forma de grãos cozidos para a alimentação humana**. 2019, 77f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pelotas, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Pelotas, 2019.

SOUZA, Tiago Correa de. **Avaliação de desempenho da cultura do trigo, em sucessão a cultura da soja no extremo sul catarinense, como alternativa de cultura de inverno em áreas de rizicultura**. 2021. 38f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Curso de Agronomia, Tubarão, 2021.

SPRINGMANN, M. et al. The healthiness and sustainability of national and global food based dietary guidelines: modelling study. **BMJ** 2020, v. 370, p. 1-16, 2020.

STUDNICKI, M. et al. Effect of genotype, environment and crop management on yield and quality traits in spring wheat. **Journal of Cereal Science**, v. 72, p. 30–37, 2016.

TATHAM, A. S.; SHEWRY, P. R. The S-poor prolamins of wheat, barley and rye: revisited. **Journal of Cereal Science**, v. 55, p. 79–99, 2012.

TAVARES et al. Produtividade, qualidade fisiológica e resíduo em sementes de trigo em função da dessecação com herbicidas. **Colloquium Agrariae**, v. 14, n. 3, p. 132-143, 2018.

TESTER, R. F.; MORRISON, W. R. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. effects of amylopectin, amylose, and lipids. **Cereal Chemistry**, v. 67, n. 6, p. 551-557, 1990.

TIBOLA, C. S.; FERNANDES, J. M. C. **Micotoxinas no trigo: estratégias de manejo para minimizar a contaminação**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. 120p.

TOLA, M.; KEBEDE, B. Occurrence, importance and control of mycotoxins: A review. **Cogent Food & Agriculture**, v. 2, n. 1, 2016.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Grain and Feed Annual - Brazil**. Foreign Agricultural Service, BR2020-0010, April 01, 2020.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Grain and Feed Annual - Brazil**. Foreign Agricultural Service, BR2023-0008, April 10, 2023.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **World Agricultural Production**. Foreign Agricultural Service, Circular Series, WAP 1-24, p. 1-51, 2024.

VASCONCELOS, M. C. B. M. et al. Estudo da composição, estabilização e processamento de gérmem de trigo e milho industrial subprodutos. **Culturas e produtos industriais**, v. 42, p. 292-298, 2013.

VÁZQUEZ, D. **Aptitud Industrial de Trigo. Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología Del INIA**. Série Técnica, v. 177, p. 8–32, 2009.

WANG, Z. et al. Effects of thermal properties and behavior of wheat starch and gluten on their interaction: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 177, p. 474–484, 2021.

WHITE, J. et al. Genome-wide association mapping of Hagberg falling number, protein content, test weight, and grain yield in U.K. **wheat**. **Crop Science**, v. 62, n. 3, p. 965–981, 2022.

WOLF-HALL, C. E. Mold and mycotoxin problems encountered during malting and brewing. International. **Journal of Food Microbiology**, Amsterdã, v. 119, n. 1-2, p. 89-94, 2007.

YILMAZ, V. A.; KOCA, A. F. Quality, sensorial and textural properties of einkorn and durum bulgur produced with several methods. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 22, 100263, 2020.

ZAHRA, N. et al. Grain development in wheat under combined heat and drought stress: Plant responses and management. **Environmental and Experimental Botany**, v. 188, 104517, 2021.

ZHANG, D. et al. Integration of spectroscopy and image for identifying fusarium damage in wheat kernels. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 236, 118344, 2020.

ZHU, A. et al. Metabolomic analysis of the grain pearling fractions of six bread wheat varieties. **Food Chemistry**, v. 369, 2022.

ZHU, F. Anthocyanins in cereals: Composition and health effects. **Food Research International**, v. 109, p. 232-249, 2018.