

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



Dissertação

**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**

**Miriã Miranda da Silveira**  
Engenheira Agrônoma

Pelotas, 2019

**Miriã Miranda da Silveira**

**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**

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

Orientador: Prof. Dr. Nathan Levien Vanier

Coorientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Gutkoski

Pelotas, 2019

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação na Publicação

S587d Silveira, Miriã Miranda da

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 / Miriã Miranda da Silveira ; Nathan Levien Vanier, orientador ; Luiz Carlos Gutkoski, coorientador. — Pelotas, 2019.

77 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2019.

1. *Triticum aestivum* L.. 2. Propriedades tecnológicas. 3. Local de cultivo. 4. Cocção de trigo. 5. Digestibilidade. I. Vanier, Nathan Levien, orient. II. Gutkoski, Luiz Carlos, coorient. III. Título.

CDD : 664

Miriã Miranda da Silveira

**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**

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

Data da Defesa: 16 de julho de 2019

Banca examinadora:

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

Prof. Dr. Luiz Carlos Gutkoski (Coorientador), Doutor em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas.

Dr<sup>a</sup> Bárbara Biduski, Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas.

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rosana Colussi, Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas.

Dr<sup>a</sup> Shanise Lisie Mello El Halal, Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Pelotas.

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar força em todas as horas e me ajudar a alcançar mais este objetivo.

Aos meus pais, meus avós e meus irmãos pelo apoio e carinho de sempre. Obrigada por me incentivarem e ajudarem nessa caminhada!

Ao meu orientador, Prof. Dr. Nathan Levien Vanier, pelos ensinamentos transmitidos, pela amizade e por todo suporte durante a execução deste trabalho.

Ao coorientador, Prof. Dr. Luiz Carlos Gutkoski, pela ajuda neste período.

Aos amigos e colegas de pós-graduação que estiveram comigo durante o mestrado, Aline Pereira, Caroline Dittgen, Cristian Batista, Cristiano Ferreira, Edimara Polidoro, Gustavo Lang, Igor Lindemann, Janaína Goveia, Jaqueline Pozzada, Lucas Nascimento e Newton Timm.

Aos alunos de iniciação científica Adrian, Adrielle, Aline, Antônia, Camila, James, Júlia, Karolina, Manuela, Nataniele, Natiele, Rafaela, Thayná, pela amizade e serviços prestados.

As minhas amigas, especialmente à Aline, Bruna, Daiane, Elize e Marina.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos pelo profissionalismo e por todo conhecimento transmitido durante o mestrado.

À Universidade Federal de Pelotas e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, pela oportunidade, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro.

À Fundação Pró-Sementes de Apoio à Pesquisa, especialmente à Engenheira Agrônoma Kassiana Kehl, pela parceria e concessão de amostras para a realização do trabalho.

A todos que fizeram parte dessa caminhada, o meu muito obrigado.

## Resumo

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 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, 2019.

O trigo é um cereal amplamente distribuído e consumido no mundo, principalmente, devido a sua função energética e nutricional para a saúde humana. Em busca de adaptações às condições edafoclimáticas, assim como às exigências de mercado, o melhoramento genético tem focado seus esforços na obtenção de genótipos aptos a produção de trigo no Brasil. Embora a modificação genética tenha avançado bastante, o local de cultivo é um fator crucial para a qualidade final do trigo. Com isso, o objetivo com o presente estudo foi, inicialmente, avaliar e caracterizar a qualidade de treze genótipos indicados para cultivo no estado do Rio Grande do Sul e, posteriormente, investigar a qualidade destes grãos para seu consumo na forma de grãos cozidos. Os grãos foram cultivados nos municípios de Cachoeira do Sul (CDS), Santo Augusto (STA), São Gabriel (SAG) e Vacaria (VAC). Foram avaliados os seguintes genótipos: Ametista, BRS 331, BRS Parrudo, CD 1303, FPS Certero, Marfim, ORS Vintecinco, TBIO Iguaçu, TBIO Mestre, TBIO Sintonia, TBIO Sinuelo, TBIO Sossego e TBIO Toruk. As condições ambientais de VAC proporcionaram um aumento significativo no teor de proteínas para todos os genótipos estudados, conseqüentemente estes grãos apresentaram os menores teores de amido total. Tanto os atributos físico-químicos quanto as propriedades tecnológicas do trigo demonstraram ser extremamente influenciados pelo ambiente de cultivo. A análise multivariada dos dados foi eficiente para discriminar a qualidade dos genótipos em cada um dos locais, assim como indicar as variáveis dependentes que mais influenciaram nesta diferenciação. Entre os quatro locais de cultivo, os parâmetros viscosidade final, força de glúten, número de queda e extensibilidade foram responsáveis por explicar as diferenças de qualidade entre os genótipos. O município de STA exibiu o maior poder discriminante sobre os genótipos avaliados, e por isso as amostras de STA foram escolhidas para as avaliações de qualidade dos grãos cozidos. Os treze genótipos avaliados variaram significativamente quanto à qualidade para a cocção. O tempo de cocção e a dureza dos grãos mostraram ser afetados por vários fatores, dentre eles, os teores de amido, amilose, proteínas e fibras, além do peso do hectolitro e do peso de mil grãos. Os genótipos expressaram comportamentos diferentes na análise de digestibilidade e foram subdivididos em dois grupos: aqueles que apresentaram menos do que 60% de hidrólise de amido e os que tiveram digestibilidade superior a 70%. Os resultados obtidos podem ajudar as indústrias de trigo a segregar as cultivares de trigo com base nas oportunidades de mercado, especialmente aquelas relacionadas aos produtos de trigo integral e às exigências de digestibilidade do amido.

**Palavras-chave:** *Triticum aestivum* L., propriedades tecnológicas, local de cultivo, cocção de trigo, digestibilidade.

## Abstract

SILVEIRA, Miriã Miranda. **Discrimination of the quality of wheat genotypes produced in Rio Grande do Sul and their use as cooked grains for human consumption.** 2019. 77f. Dissertation (Master Degree in 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, 2019.

Wheat is a widely distributed and consumed cereal in the world mainly due to its energetic and nutritional function for human health. In search of adaptations to edaphoclimatic conditions, as well as market requirements, genetic improvement has focused its efforts on obtaining genotypes suitable for wheat production in Brazil. Although the genetic modification has advanced significantly, the growing location is a crucial factor for the final quality of the wheat. Thus, the objective of this study was to evaluate and characterize the quality of thirteen genotypes indicated for cultivation in the state of Rio Grande do Sul, and to investigate the quality of these grains for consumption as cooked grains. The grains were cultivated in the municipalities of Cachoeira do Sul (CDS), Santo Augusto (STA), São Gabriel (SAG), and Vacaria (VAC). The following genotypes were evaluated: Ametista, BRS 331, BRS Parrudo, CD 1303, FPS Certero, Marfim, ORS Vintecinco, TBIO Iguaçu, TBIO Mestre, TBIO Sintonia, TBIO Sinuelo, TBIO Sossego, and TBIO Toruk. The environmental conditions of VAC provided a significant increase in the protein content for all studied genotypes, consequently these grains had the lowest total starch contents. Both the physical-chemical attributes and the technological properties of wheat have been shown to be extremely influenced by the growing environment. The multivariate analysis of the data was efficient to discriminate the quality of the genotypes in each of the localities, as well as to indicate the dependent variables that most influenced this differentiation. Among the four growing locations, the parameters final viscosity, gluten strength, falling number and extensibility were responsible for explaining the quality differences between the genotypes. The STA location exhibited the highest discriminant power over the evaluated genotypes, and therefore the STA samples were chosen for quality evaluations of the cooked grains. The thirteen genotypes evaluated varied significantly regarding the cooking quality. The cooking time and hardness of the grains were affected by several factors, including starch, amylose, protein and fiber content, as well as the test weight and the thousand grains weight. The genotypes expressed different behaviors in the digestibility analysis and were subdivided into two groups: those with less than 60% of starch hydrolysis and those with a digestibility higher than 70%. The obtained results may help the wheat industries to segregate wheat cultivars based on market opportunities, especially those related to whole wheat products and to the especial requirements of starch digestibility.

**Keywords:** *Triticum aestivum* L., technological quality properties, growing location, wheat cooking, digestibility.

## Lista de Figuras

Figura 1 - Produção e uso do trigo entre as safras 2005/2006 e 2019/2020.....	17
Figura 2 - Mapa das regiões com valor de cultivo e uso (VCU) para trigo no Brasil.	19
Figura 3 - Estrutura do grão de trigo. ....	21
Figura 4 - Recomendação de uso das farinhas de trigo em função do conteúdo de proteínas. ....	22
Figura 5 - Localização dos quatro locais de cultivo no mapa brasileiro.....	27
Figura 6 - Condições climáticas nos diferentes locais de cultivo: Temperaturas mínima (A), média (B), máxima (C) e precipitação (D). CDS = Cachoeira do Sul. STA = Santo Augusto. SAG = São Gabriel. VAC = Vacaria.....	28
Figura 7 - Exemplo de alveograma, apresentando a localização dos parâmetros P, L e W no gráfico. ....	31
Figura 8 - Curva de viscosidade do RVA, demonstrando os parâmetros avaliados. .	32
Figura 9 - Sistema tridimensional de cores, demonstrando as coordenadas L*, a* e b*.....	33
Figura 10 - Peso do hectolitro dos treze genótipos nos quatro locais de cultivo. ....	40
Figura 11 - Rendimento de extração de farinha dos treze genótipos nos quatro locais de cultivo. ....	42
Figura 12 - Teor de amido danificado dos treze genótipos nos quatro locais de cultivo. ....	45
Figura 13 - Teor de glúten úmido dos treze genótipos de trigo produzidos nos quatro locais de cultivo. ....	46
Figura 14 - Índice de glúten dos treze genótipos produzidos em quatro locais de cultivo. ....	46
Figura 15 - Número de queda dos treze genótipos nos quatro locais de cultivo. ....	50
Figura 16 - Propriedades viscoamilográficas dos treze genótipos nos quatro locais de cultivo: pico de viscosidade (A), quebra (B) e retrogradação (C). ....	51
Figura 17 - PCA das análises de qualidade de grãos e farinhas dos genótipos de trigo cultivados em diferentes localidades: Cachoeira do Sul (CDS), Santo Augusto	

(STA), São Gabriel (SAG) e Vacaria (VAC). Os seguintes genótipos são apresentados: Ametista (A), BRS 331 (B), BRS Parrudo (C), CD 1303 (D), FPS Certero (E) e Marfim (F). .....	54
Figura 18 - PCA das análises de qualidade de grãos e farinhas dos genótipos de trigo cultivados em diferentes localidades: Cachoeira do Sul (CDS), Santo Augusto (STA), São Gabriel (SAG) e Vacaria (VAC). Os seguintes genótipos são apresentados: ORS Vintecinco (A), TBIO Iguaçu (B), TBIO Mestre (C), TBIO Sintonia (D), TBIO Sinuelo (E), TBIO Sossego (F) e TBIO Toruk (G). .....	55
Figura 19 - PCA e score VIP da análise de PLS-DA. Cachoeira do Sul (A, B) e Santo Augusto (C, D).....	56
Figura 20 - PCA e score VIP da análise de PLS-DA. São Gabriel (A, B) e Vacaria (C, D). .....	57
Figura 21 - Peso de mil grãos dos treze genótipos cultivados em Santo Augusto. ...	59
Figura 22 - Tempo de cocção dos treze genótipos cultivados em Santo Augusto. ...	60
Figura 23 - Percentual de grãos danificados após a cocção dos treze genótipos cultivados em Santo Augusto. ....	61
Figura 24 - Dureza dos treze genótipos cultivados em Santo Augusto. ....	62
Figura 25 - Digestibilidade in vitro dos treze genótipos cultivados em Santo Augusto: genótipos com digestibilidade menor que 60% (A) e genótipos com digestibilidade maior que 70% (B). .....	66

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Classes do trigo do Grupo II destinado à moagem e outras finalidades. .	23
Tabela 2 - Tipos do trigo do Grupo II destinado à moagem e a outras finalidades. ..	23
Tabela 3 - Lista de genótipos e suas características de classificação, dureza e produtividade.....	26
Tabela 4 - Teor de proteína bruta dos treze genótipos nos quatro locais de cultivo.	36
Tabela 5 - Teor de lipídeos dos treze genótipos nos quatro locais de cultivo. ....	37
Tabela 6 - Teor de fibras dos treze genótipos nos quatro locais de cultivo.....	38
Tabela 7 - Teor de cinzas dos treze genótipos nos quatro locais de cultivo. ....	38
Tabela 8 - Teor de amido dos treze genótipos nos quatro locais de cultivo.....	39
Tabela 9 - Teor de amilose dos treze genótipos nos quatro locais de cultivo. ....	43
Tabela 10 - Carotenoides totais dos treze genótipos de trigo produzidos nos quatro locais de cultivo.....	44
Tabela 11 - Tenacidade dos treze genótipos nos quatro locais de cultivo. ....	48
Tabela 12 - Extensibilidade dos treze genótipos de trigo produzidos nos quatro locais de cultivo.....	48
Tabela 13 - Força de glúten dos treze genótipos de trigo produzidos nos quatro locais de cultivo.....	49
Tabela 14 - Perfil colorimétrico dos grãos de trigo, antes e após a cocção, dos treze genótipos cultivados em Santo Augusto. ....	64

## Lista de Abreviaturas e Siglas

CDS	Cachoeira do Sul (município do Rio Grande do Sul)
STA	Santo Augusto (município do Rio Grande do Sul)
SAG	São Gabriel (município do Rio Grande do Sul)
VAC	Vacaria (município do Rio Grande do Sul)
NIR	Espectrometria de infravermelho próximo ( <i>Near Infrared Spectroscopy</i> )
PCA	Análise de componentes principais ( <i>Principal Component Analysis</i> )
PLS-DA	Análise de mínimos quadrados parciais discriminantes ( <i>Partial least squares–discriminant analysis</i> )
VIP score	Importância variável na pontuação de projeção ( <i>Variable importance on projection score</i> )
PMG	Peso de mil grãos
PH	Peso do hectolitro
P	Tenacidade
L	Extensibilidade
W	Força de glúten

## Sumário

1	Introdução .....	14
2	Objetivos .....	16
2.1	Objetivo geral .....	16
2.2	Objetivos específicos .....	16
3	Revisão bibliográfica .....	17
3.1	Produção e consumo de trigo .....	17
3.2	A cultura do trigo no Brasil .....	18
3.3	Estrutura e composição do grão .....	20
3.4	Qualidade industrial .....	22
3.5	Importância nutricional .....	24
4	Materiais e métodos .....	26
4.1	Materiais .....	26
4.2	Caracterização físico-química e tecnológica dos grãos e farinhas de trigo.....	29
4.2.1	Composição proximal .....	29
4.2.2	Peso do hectolitro .....	29
4.2.3	Rendimento de extração de farinha .....	29
4.2.4	Teor de amilose .....	29
4.2.5	Carotenoides totais .....	30
4.2.6	Amido danificado .....	30
4.2.7	Glúten úmido e Índice de glúten .....	30
4.2.8	Alveografia.....	31
4.2.9	Número de queda .....	31
4.2.10	Propriedades de pasta.....	31
4.3	Avaliações da qualidade dos grãos para o processo de cocção.....	32
4.3.1	Tempo de cocção .....	32
4.3.2	Peso de mil grãos .....	33
4.3.3	Perfil colorimétrico .....	33
4.3.4	Grãos danificados .....	33
4.3.5	Dureza .....	34
4.3.6	Digestibilidade <i>in vitro</i> .....	34
4.4	Análise estatística .....	35
5	Resultados e discussão.....	36

5.1 Propriedades físico-químicas dos grãos e farinhas de trigo.....	36
5.1.1 Composição proximal .....	36
5.1.2 Peso do hectolitro .....	40
5.1.3 Rendimento de extração de farinha .....	41
5.1.4 Teor de amilose .....	42
5.1.5 Carotenoides totais .....	43
5.2 Propriedades tecnológicas das farinhas de trigo.....	44
5.2.1 Amido danificado .....	44
5.2.2 Glúten úmido e índice de glúten .....	45
5.2.3 Alveografia.....	47
5.2.4 Número de queda .....	49
5.2.5 Propriedades de pasta.....	50
5.3 Discriminação da qualidade de trigo em função dos genótipos e dos locais de cultivo.....	52
5.4 Caracterização da qualidade dos grãos para o processo de cocção .....	58
5.4.1 Peso de mil grãos .....	58
5.4.2 Tempo de cocção .....	59
5.4.3 Grãos danificados .....	61
5.4.4 Dureza .....	62
5.4.5 Perfil colorimétrico .....	63
5.4.6 Digestibilidade <i>in vitro</i> .....	65
6 Considerações finais .....	67
Referências .....	68

## 1 Introdução

Atualmente, o Brasil produz cerca de 5 milhões de toneladas de trigo por ano, sendo que a região sul do país é responsável por aproximadamente 90% da produção total de trigo. O Estado do Rio Grande do Sul (RS), sozinho, responde por uma área de 682 mil hectares utilizados na produção de trigo (CONAB, 2019). A demanda brasileira por trigo ainda não é suprida pela produção do país, o que torna o país dependente das importações de grãos, e isso, nas últimas décadas, tem servido de estímulo para avanços no melhoramento genético do trigo. A região sul apresenta um rigoroso inverno com possibilidade de ocorrência de geadas e chuvas excessivas, e devido a essa característica, ferramentas genéticas podem ser utilizadas para maior adaptabilidade do trigo a essas regiões.

A rastreabilidade geográfica de alimentos tem ganhado foco nos últimos anos. Isso se deve, principalmente, às exigências de alimentos com procedência e qualidade, tanto por parte da indústria como por parte dos consumidores (LIU et al., 2018; ZHAO et al., 2014). As informações científicas são limitadas em relação aos efeitos das principais localidades de cultivo de trigo do Rio Grande do Sul sobre a qualidade de grãos e de farinhas dos principais genótipos disponíveis para cultivo comercial no país. Este conhecimento é importante para o posicionamento de cultivares e para a implantação da rastreabilidade do trigo brasileiro no futuro.

O trigo (*Triticum aestivum* L.) utilizado para moagem ou fornecimento de grãos integrais pode ser classificado em categorias. Geralmente, as avaliações associadas ao teor e à qualidade da proteína possuem maior impacto na categorização do trigo (MORRIS, 2015; MUTWALI et al., 2015). No caso da avaliação de grãos íntegros, o peso do hectolitro é considerado uma variável que está relacionada ao acúmulo de massa na cariopse e é utilizado mundialmente como um indicador do rendimento da farinha (KARAOĞLU et al., 2010). No entanto, há falta de parâmetros de qualidade para grãos destinados ao consumo humano na forma de grãos cozidos.

A maioria dos atributos de qualidade do trigo é resultado do desenvolvimento dos grãos ainda na planta, sendo afetados pelo genótipo, pelo ambiente e pela interação de ambos (STUDNICKI et al., 2016). Os metabólitos disponíveis nos grãos estão diretamente relacionados aos estímulos externos que a planta recebe, principalmente durante o estágio de enchimento de grãos (FAROOQ; HUSSAIN; SIDDIQUE, 2014). O ambiente que fornece condições climáticas adversas à cultura,

como o estresse térmico e hídrico, é desfavorável para alguns atributos de qualidade do trigo (CHO et al., 2018; LAMANNA et al., 2011).

Nos últimos anos, várias pesquisas destacaram os benefícios do consumo de alimentos integrais porque são ricos em fibras, minerais e vitaminas (POUTANEN, 2009). A demanda por alimentos funcionais está aumentando. Além de uma fonte de energia, os consumidores têm procurado alimentos com apelo nutricional. Segundo Shewry e Hey (2015), os alimentos integrais fornecem uma dieta com potencial para reduzir a incidência de doenças crônicas, como diabetes, e diminuir os problemas cardíacos. Rosa-Sibakov, Poutanen e Micard (2015) relataram que nas camadas mais periféricas do grão estão concentrados compostos fitoquímicos, como os fenólicos, que possuem atividade antioxidante.

Como o valor nutricional do grão integral é substancialmente superior ao encontrado na farinha, seu uso em refeições pode ser uma maneira de inserir na dieta da população compostos benéficos à saúde. Existem poucos estudos que tratam da qualidade do cozimento do trigo, onde características físicas (SRIKAEAO et al., 2005) e sensoriais (STARR; BREDIE; HANSEN, 2013) foram avaliadas após o cozimento. Portanto, investigar mais atributos de qualidade dos grãos cozidos e relacioná-los às propriedades físico-químicas do trigo pode ser o ponto chave a ser abordado, a fim de apoiar os pesquisadores e as indústrias do trigo na seleção de genótipos adequados para a cocção.

Assim, objetivou-se com este estudo: 1) verificar efeitos dos locais de cultivo nos atributos de qualidade de treze genótipos de trigo cultivados no Rio Grande do Sul e diferenciá-los de acordo com suas características físico-químicas e tecnológicas; e 2) investigar a qualidade de cozimento de genótipos de trigo cultivados no Brasil.

## **2 Objetivos**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar efeitos do local de cultivo sobre atributos de qualidade de grãos e farinhas de trigo, além de caracterizar os grãos de trigo para a sua aplicação na alimentação como grãos cozidos.

### **2.2 Objetivos específicos**

Determinar a composição centesimal, o peso do hectolitro e o rendimento de extração da farinha de grãos de trigo de treze genótipos produzidos em quatro localidades diferentes.

Avaliar as farinhas de trigo quanto as suas propriedades tecnológicas.

Avaliar a qualidade de grãos de diferentes genótipos submetidos a cocção, analisando a qualidade físico-química e o comportamento de digestibilidade do amido desses grãos.

### 3 Revisão bibliográfica

#### 3.1 Produção e consumo de trigo

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é a commodity agrícola com maior extensão de área cultivada no mundo, sendo estimada em 220,2 milhões de hectares. Atualmente, ocupa a segunda posição em volume de produção global, com uma projeção de 780,8 milhões de toneladas para a próxima safra. União Europeia, China e Índia são os maiores produtores mundiais deste cereal, respondendo por cerca de 50% da produção total de trigo. Ao longo dos anos, tanto a produção quanto a demanda mundial por trigo têm crescido no mesmo ritmo (Figura 1).

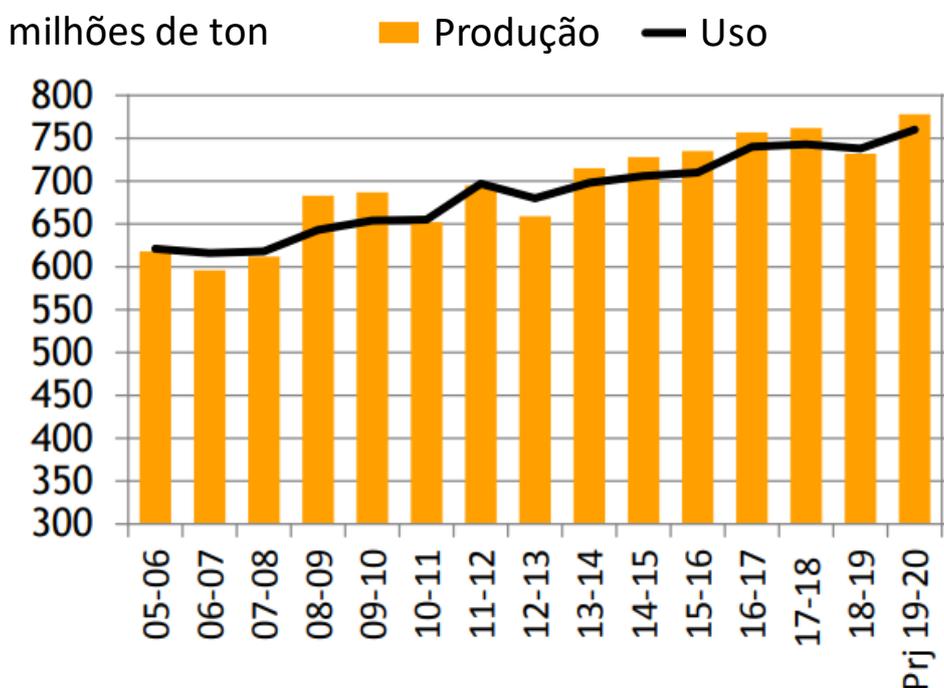


Figura 1 - Produção e uso do trigo entre as safras 2005/2006 e 2019/2020.

Fonte: USDA, 2019.

No Brasil, o cultivo do trigo ocorre principalmente nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, que são locais que permitem o melhor desenvolvimento da cultura, uma vez que as características climáticas apresentam temperaturas amenas durante o ciclo de cultivo do trigo. No entanto, nos últimos anos também houve incremento na produção de trigo em São Paulo, Minas Gerais e em alguns estados que pertencem ao cerrado brasileiro. Em 2018 a produção nacional foi

de 5,4 milhões de toneladas, sendo que deste valor 4,8 milhões foram produzidos na região sul do país (CONAB, 2019).

Contando com os volumes importados, na última safra, as indústrias moageiras do Brasil processaram aproximadamente 12 milhões de toneladas de trigo (ABITRIGO, 2019). Segundo levantamento realizado no ano de 2017, pela Associação Brasileira das Indústrias de Trigo, a farinha consumida no país é dividida em cinco nichos de mercado, sendo que de sua totalidade 56% é destinada à panificação, 15% para produção de massas, 10% para biscoitos, bolachas e cookies, 10% para uso doméstico e 9% para outros segmentos. No Brasil, o consumo per capita de farinha de trigo aumentou de 44,8 para 45,6 kg/ano entre os anos de 2017 e 2018 (ABITRIGO, 2019).

Devido a sua composição ser rica em carboidratos e proteínas, estando presente na dieta básica da população, principalmente, como fonte de energia, o trigo apresenta papel indispensável na alimentação humana. Além de ser um cereal nutritivo, destaca-se pela ampla aplicação em produtos alimentícios, como pães, bolos, biscoitos e massas (SCHEUER et al., 2011; JONES et al., 2015; SHEWRY; HEY, 2015; GABRIEL et al., 2017).

### **3.2 A cultura do trigo no Brasil**

O trigo (*Triticum aestivum* L.) caracteriza-se por ser uma planta pertencente à família das Poaceae, além de ser uma cultura anual que é cultivada em estações frias. Juntamente com o arroz e o milho são considerados os três cereais mais cultivados no mundo. Vários fatores podem influenciar no conteúdo metabólico dos grãos de trigo, e posteriormente na qualidade das farinhas, sendo os mais importantes os fatores genéticos e as condições ambientais.

A origem geográfica da planta está diretamente relacionada aos atributos de qualidade do trigo. Estímulos externos, como chuva, temperatura e solo de cultivo, têm grande impacto no metabolismo da planta, influenciando na formação e nos constituintes do grão (LAMANNA et al., 2011).

O progresso da genética tem sido notório para a triticultura brasileira nos últimos anos, principalmente através da criação de novos materiais, cultivares que estão cada vez mais adaptadas às condições edafoclimáticas regionais, assim como aos anseios das indústrias moageiras de trigo.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) com a intenção de posicionar adequadamente os genótipos brasileiros de trigo, realiza o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC). O estudo de ZARC é realizado para definir as regiões e épocas de cultivo mais adequadas para cada cultivar disponível no mercado, levando em consideração aspectos como taxas de precipitação, tipos de solo, evapotranspiração e ciclos das cultivares (KEHL, 2013). As regiões tritícolas do Brasil foram distribuídas em função dos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU), conforme é apresentado na Figura 2, e através desta divisão que são realizadas as recomendações de uso de cultivares.

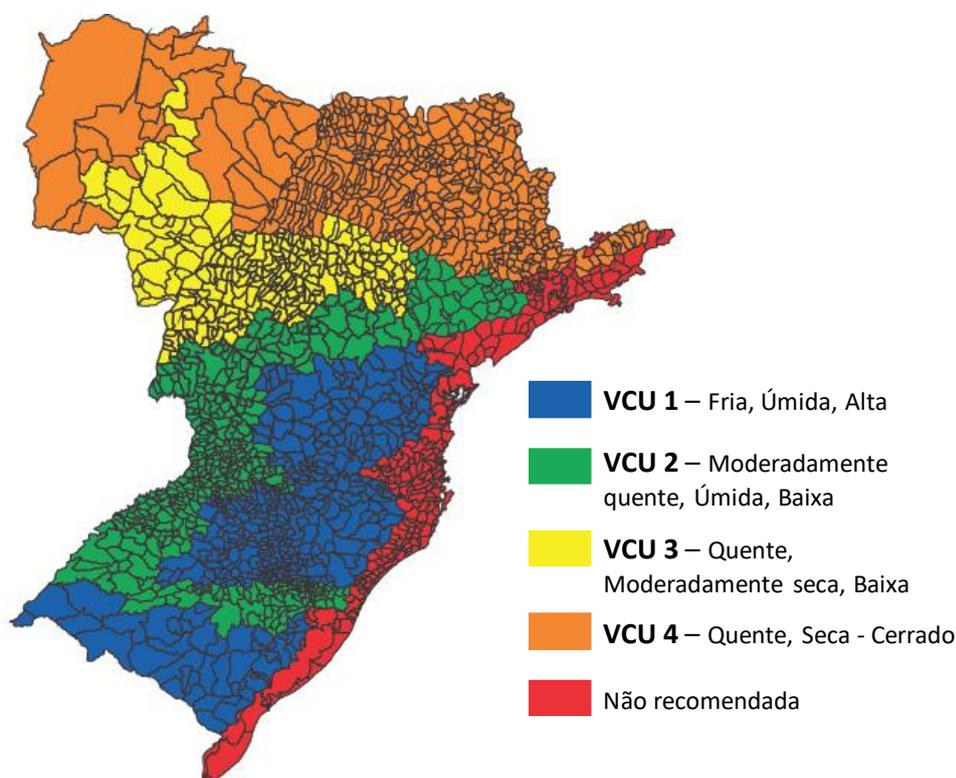


Figura 2 - Mapa das regiões com valor de cultivo e uso (VCU) para trigo no Brasil.

Fonte: Brasil, 2008.

A escolha adequada de uma cultivar é apenas uma das etapas necessárias para o sucesso de uma lavoura de trigo. É importante também saber que as práticas de manejo utilizadas no desenvolvimento da cultura associadas às condições ambientais que ocorrem durante o ciclo do trigo são os principais influenciadores do rendimento, assim como da qualidade final dos grãos.

Dos fatores climáticos, as taxas de precipitação durante o desenvolvimento da cultura requerem atenção dos produtores de trigo, isto porque são condições que frequentemente causam injúrias as plantas, aos grãos e também aos seus subprodutos. Excessos de chuvas no período de florescimento, podem favorecer o desenvolvimento de doenças fúngicas no trigo, como é o caso da Giberela, que por consequência podem formar micotoxinas nos grãos (ANDERSEN et al., 2014). A ocorrência de chuvas na pré-colheita do trigo pode ser associada a alguns danos nos grãos, como germinação pré-colheita, redução do peso hectolitro e do número de queda (BASSOI, 2004; ZIMMER, 2012).

Na produção de trigo a temperatura pode ser considerada um fator limitante durante as etapas de germinação, florescimento e enchimento dos grãos. De acordo com Souza e Ramalho (2001), um dos motivos pela dificuldade de estabelecimento do trigo em regiões de cerrado, por exemplo, é exatamente a ocorrência de temperaturas elevadas nestes estágios de desenvolvimento da cultura, ocasionando estresses térmicos que podem afetar diversos processos fisiológicos das plantas. Segundo Guarienti et al. (2004), temperaturas altas (>32°C) na fase de maturação do trigo podem alterar significativamente a qualidade das proteínas presente nos grãos, interferindo na relação gluteninas/gliadinas. A incidência de geadas pode impactar negativamente no rendimento do trigo, devido aos estragos causados nas folhas e espigas, que inclusive podem ocasionar a morte das plantas (CUNHA et al., 2016).

Lu et al. (2015) estudaram o efeito do genótipo, do ambiente de cultivo, e suas interações sobre a composição fitoquímica de dez variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) cultivadas em quatro locais de Maryland, EUA. Os resultados demonstram que, em geral, o ambiente teve maior influência sobre o acúmulo de tocóis e carotenoides nos grãos. Nesse estudo, a ocorrência de maiores teores de fitoquímicos foi positivamente correlacionada com as taxas de precipitação e temperatura durante o estágio vegetativo da planta.

### **3.3 Estrutura e composição do grão**

O grão de trigo é constituído basicamente por três partes principais: o pericarpo, o endosperma e o gérmen (Figura 3). As camadas periféricas do grão, que constituem o pericarpo, são formadas por seis camadas: epiderme, hipoderme, células cruzadas, células tubulares, testa e tecido nucelar. Juntas estas camadas compreendem cerca

de 16-17% do peso seco do grão. A camada mais interna do grão é o endosperma, que é envolto pela camada de aleurona, e corresponde a 80-85% do grão. Por fim, o gérmen (3-4%) é definido como a parte embrionária da cariopse, sendo rico em lipídeos, enzimas e vitaminas (DELCOUR e HOSENEY, 2010).

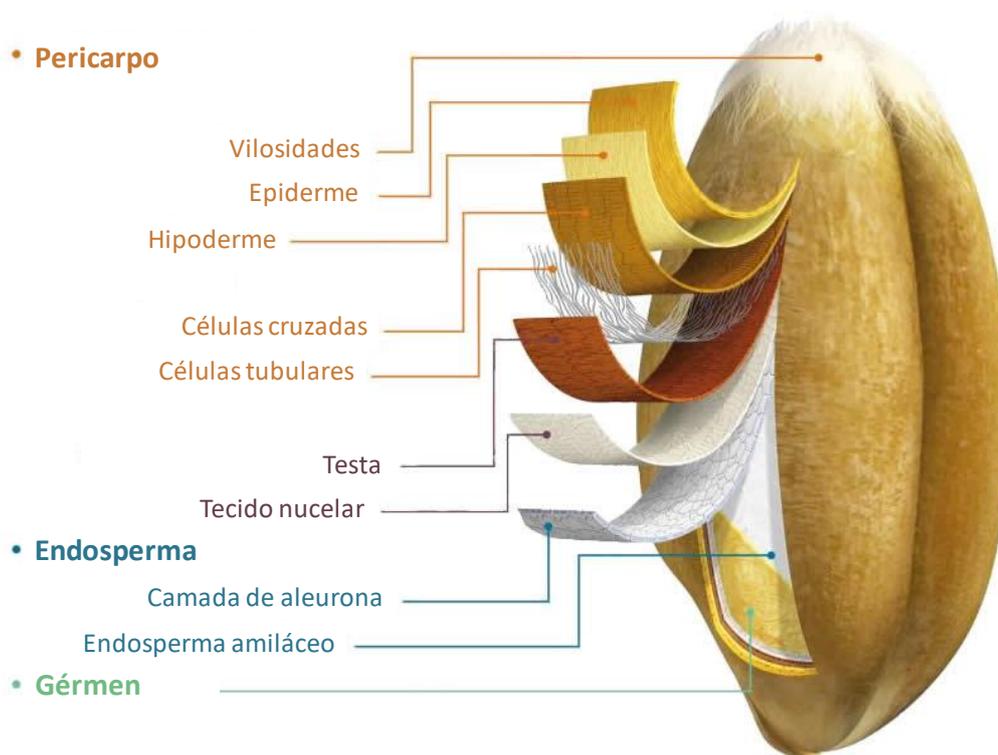


Figura 3 - Estrutura do grão de trigo.

Fonte: Adaptado de Nabim (2019).

O amido é o carboidrato presente em maior quantidade no trigo. Apresenta-se disposto no endosperma dos grãos e envolto em uma matriz proteica. Os grânulos de amido são formados especificamente por dois polissacarídeos: a amilose, que possui estrutura basicamente linear, e a amilopectina, que possui várias ramificações em sua molécula (SHEWRY e HEY, 2015).

Nos grãos, as proteínas são divididas em quatro classes em função da sua solubilidade, sendo elas: albuminas, globulinas, gliadinas e gluteninas. Do conteúdo proteico total dos grãos de trigo, estima-se que 85% seja formado pelas proteínas de reserva do grão, gliadinas e gluteninas, ambas insolúveis em água, de acordo com a classificação de Osborne (TATHAM e SHEWRY, 2012). Formadoras do glúten, estas proteínas conferem características viscoelásticas únicas às farinhas de trigo

(DELCOUR et al., 2012), que são importantes para definir a finalidade de uso das mesmas, devido a influência que o glúten exerce sobre o processamento da farinha de trigo (Figura 4).

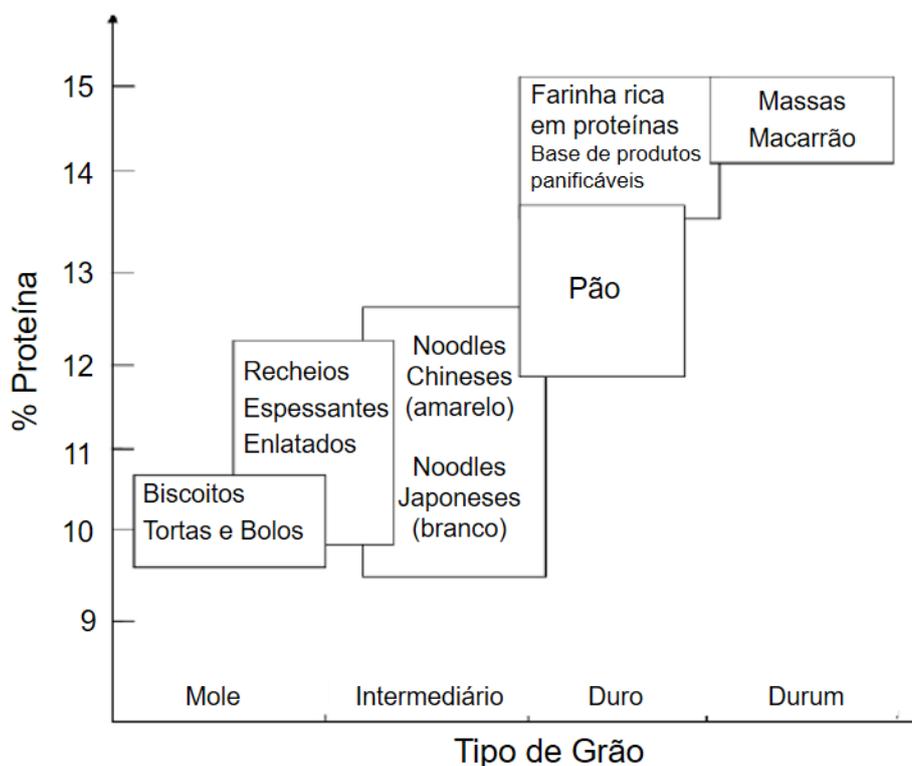


Figura 4 - Recomendação de uso das farinhas de trigo em função do conteúdo de proteínas.

Fonte: Adaptado de Delcour e Hosney (2010).

Outros constituintes químicos são encontrados nos grãos, porém apresentam-se em menor quantidade, como é o caso dos lipídeos, das fibras, das vitaminas e dos minerais, quando comparados aos teores de amido e proteínas. Embora em baixas concentrações, o grão de trigo também possui diversos compostos fitoquímicos da classe dos compostos fenólicos e terpenóides, que geralmente estão distribuídos na camada de aleurona e no pericarpo (SHEWRY e HEY, 2015). Compostos fenólicos e terpenóides são constantemente associados a benefícios à saúde humana (LACHMAN et al., 2017).

### 3.4 Qualidade industrial

Após a colheita do trigo os grãos podem ser destinados ao armazenamento ou diretamente à industrialização. Antes do processamento do trigo, diversas avaliações

são realizadas a fim de definir a qualidade industrial dos grãos, e desta forma adequar sua finalidade de uso.

Uma das etapas mais importantes na industrialização do trigo é o processo de moagem, dividido basicamente em quatro etapas. Logo após a limpeza, os grãos passam pelo processo de condicionamento, para umidificar os grãos com a finalidade de facilitar a separação do farelo e do endosperma. Posterior ao condicionamento dos grãos, a primeira etapa é a de quebra, a segunda é a de separação por granulometria e, por fim, ocorre a redução do tamanho de partículas. Ao final da moagem são obtidas as frações comumente chamadas de farelo, farelinho e farinha (BRANDÃO e LIRA, 2011).

Geralmente, uma série de atributos são analisados nos grãos e farinhas para segregá-los em classes ou tipos. Os principais testes empregados são aqueles relacionados as características físico-químicas e propriedades reológicas das farinhas. Nas Tabelas 1 e 2 estão apresentados os parâmetros de determinação de classe e de tipificação de trigo do Grupo II, de acordo com a Instrução Normativa Nº38/2010, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

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

O trigo pode ser comumente designado em trigo mole ou trigo duro, em função de terem baixo ou alto teor proteico, respectivamente. Enquanto o trigo mole é recomendado para a confecção de biscoitos e bolos, o trigo duro, geralmente, destina-se a produção de pães e massas de alta qualidade (SCHEUER et al., 2011). Devido a presença de glúten nas farinhas de trigo ela possui maior aptidão para aplicação na panificação, pois as características plásticas da rede de glúten propiciam que o gás carbônico produzido durante a fermentação de uma massa seja retido, possibilitando o crescimento da mesma. Neste sentido, a alveografia é um teste utilizado para diferenciar farinhas que possuem maior ou menor força de glúten, além de avaliar a tenacidade e extensibilidade (MÓDENES; SILVA; TRIGUEROS, 2009; VASCONCELOS et al., 2013).

Outro parâmetro que tem grande importância para a indústria, utilizado como um indicador de qualidade, é a atividade enzimática do trigo. A determinação do número de queda é empregada para constatar possíveis danos causados pela germinação dos grãos, uma vez que durante o processo germinativo algumas reservas são consumidas e ocorre o processo de ativação enzimática. Através do número de queda pode-se estimar, por exemplo, a capacidade de fermentação de uma massa, por isso é considerada uma análise determinante para as farinhas, principalmente, quando destinadas à panificação (LÉON, 2007; VÁZQUEZ, 2009).

### **3.5 Importância nutricional**

As três frações que constituem o grão de trigo contribuem com a ingestão de uma proporção significativa de carboidratos, fibras e proteínas na dieta humana (BROUNS et al., 2013). Diversas Instituições envolvidas em pesquisas no âmbito de nutrição alimentar recomendam que a ingestão calórica da população seja através de cereais, para que se tenha uma dieta considerada saudável (JONES et al., 2015).

Williams (2012) conduziu um estudo de revisão sobre a relação do consumo de cereais e a ocorrência de doenças. Este autor concluiu que pelo menos 50% dos alimentos à base de cereais devem ser consumidos em sua forma integral, pois desta maneira são melhor aproveitados os componentes bioativos e fibras dos grãos, que possuem efeito benéfico para a saúde. O trigo integral, além de ser fornecedor de energia devido ao alto conteúdo de amido, é considerado uma excelente fonte de proteínas, minerais, fibras, vitaminas e fitoquímicos (SHEWRY e HEY, 2015).

O amido é o principal constituinte do trigo e pode exibir um papel importante em relação à capacidade funcional do trigo integral em dietas. Segundo Garcia-Alonso, Saura-Calixto e Delcour (1998), quando o amido é gelatinizado ele torna-se de fácil digestão. Entretanto, o amido pode ainda ser classificado em amido rapidamente digerível (RDS), amido lentamente digerível (SDS) e amido resistente (RS) em função de sua taxa de digestão (ENGLYST; KINGMAN; CUMMINGS, 1992). Além disso, a interação do amido com outros componentes, como proteínas e lipídeos, pode resultar em menor digestibilidade do amido, devido à dificuldade de acesso das enzimas aos grânulos de amido (HU et al., 2017; BATISTA et al., 2019). Dependendo do genótipo, espera-se que o amido disponível em trigo cozido seja empacotado na matriz de amido:proteína em diferentes extensões, favorecendo ou dificultando a digestão dos grânulos de amido.

## 4 Materiais e métodos

### 4.1 Materiais

Treze genótipos brasileiros de trigo (*Triticum aestivum* L.) recomendados para cultivo no sul do Brasil foram utilizados neste estudo, sendo eles: Ametista, BRS 331, BRS Parrudo, CD 1303, FPS Certero, Marfim, ORS Vintecinco, TBIO Iguaçu, TBIO Mestre, TBIO Sintonia, TBIO Sinuelo, TBIO Sossego e TBIO Toruk.

Os grãos foram produzidos em quatro ambientes diferentes do estado do Rio Grande do Sul, onde foram conduzidos “Ensaio de Cultivares em Rede de Trigo” pela Fundação Pró-Sementes®, na safra 2017. As características de classificação comercial e dureza dos grãos descritas pelos obtentores dos genótipos estão apresentadas na Tabela 3, assim como os dados de produtividade dos mesmos em cada um dos quatro locais de cultivo.

Tabela 3 - Lista de genótipos e suas características de classificação, dureza e produtividade.

Genótipo	Classificação comercial	Dureza do grão	Produtividade (kg.ha <sup>-1</sup> )			
			CDS	STA	SAG	VAC
Ametista	Pão Melhorador	Duro	3848	3583	2670	6619
BRS 331	Pão	Extra-duro	5149	3791	3768	5142
BRS Parrudo	Pão Melhorador	Muito-duro	4122	3813	3087	5459
CD 1303	Pão Melhorador	Duro	5740	4472	4439	5925
FPS Certero	Pão	Duro	5259	3919	4047	6227
Marfim	Melhorador	Semi-duro	4775	4611	3359	5298
ORS Vintecinco	Básico	Mole	4877	4043	3773	6359
TBIO Iguaçu	Pão	Duro	4496	3899	2840	6327
TBIO Mestre	Pão Melhorador	Duro	4821	4225	3234	6386
TBIO Sintonia	Melhorador	Duro	4764	3869	3530	5250
TBIO Sinuelo	Pão	Duro	5115	4365	3163	7084
TBIO Sossego	Pão	Duro	5730	4324	2223	6462
TBIO Toruk	Pão Melhorador	Duro	6055	4345	3748	6108

\*Coordenadas dos municípios:

Cachoeira do Sul (CDS) = Altitude 135m; Latitude 30°18'35"S; Longitude 52°58'42"

Santo Augusto (STA) = Altitude 512m; Latitude 27°54'45"S; Longitude 53°48'52"

São Gabriel (SAG) = Altitude 147m; Latitude 30°22'24"S; Longitude 54°08'24"

Vacaria (VAC) = Altitude 890m; Latitude 28°23'47"S; Longitude 51°04'49"

Os quatro locais de cultivo foram: Cachoeira do Sul (CDS) e Santo Augusto (STA), que têm como característica pertencerem a uma região moderadamente quente, úmida e de baixa altitude, e São Gabriel (SAG) e Vacaria (VAC), que

pertencem a uma região considerada fria, úmida e alta. As localizações dos quatro municípios no mapa brasileiro são apresentadas na Figura 5.

As datas de semeadura das parcelas foram: 22/05/17, 13/06/17, 05/06/17 e 28/06/17, em CDS, STA, SAG e VAC, respectivamente. Nos diferentes locais de cultivo, os genótipos foram cultivados seguindo o mesmo padrão e manejo agrônômico, em parcelas constituídas por cinco linhas, contabilizando 5 m<sup>2</sup> de área por tratamento.

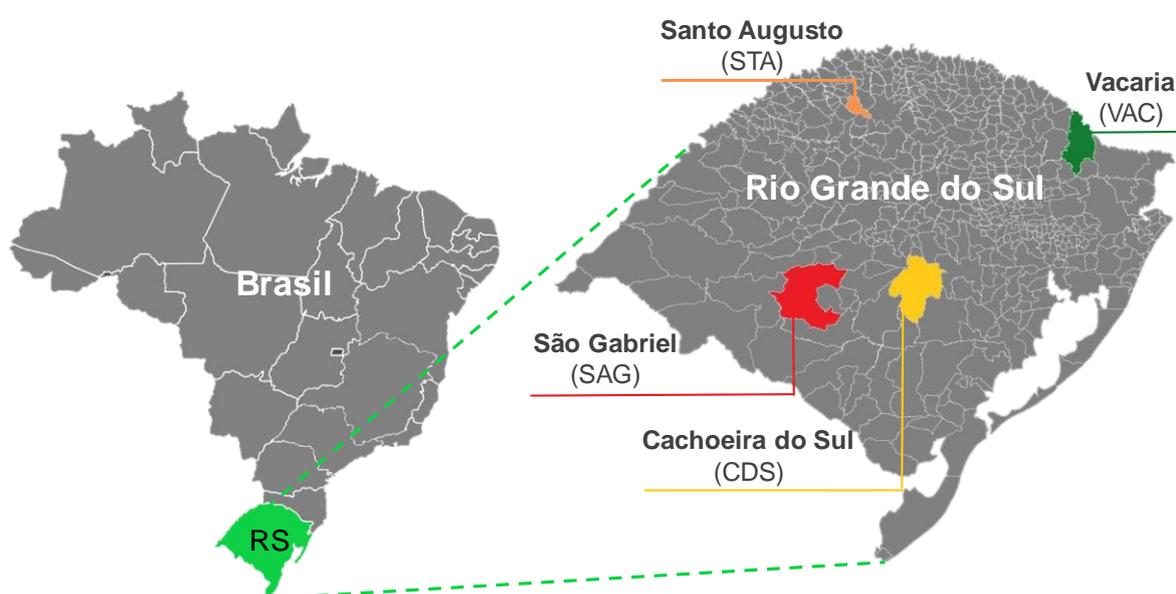


Figura 5 - Localização dos quatro locais de cultivo no mapa brasileiro.

A temperatura máxima, mínima e média e a precipitação nos quatro municípios, nos períodos que correspondem da fase de floração da cultura até a colheita, estão apresentadas na Figura 6. A colheita ocorreu no mês de outubro em CDS e STA, e no mês de novembro de 2017 em SAG e VAC. Todas parcelas foram colhidas de forma mecanizada, utilizando uma colhedora de parcelas Wintersteiger (Wintersteiger Inc., Áustria). Após a colheita, os grãos foram secos até aproximadamente 12% de umidade e armazenados em câmara com controle de temperatura a 15°C.

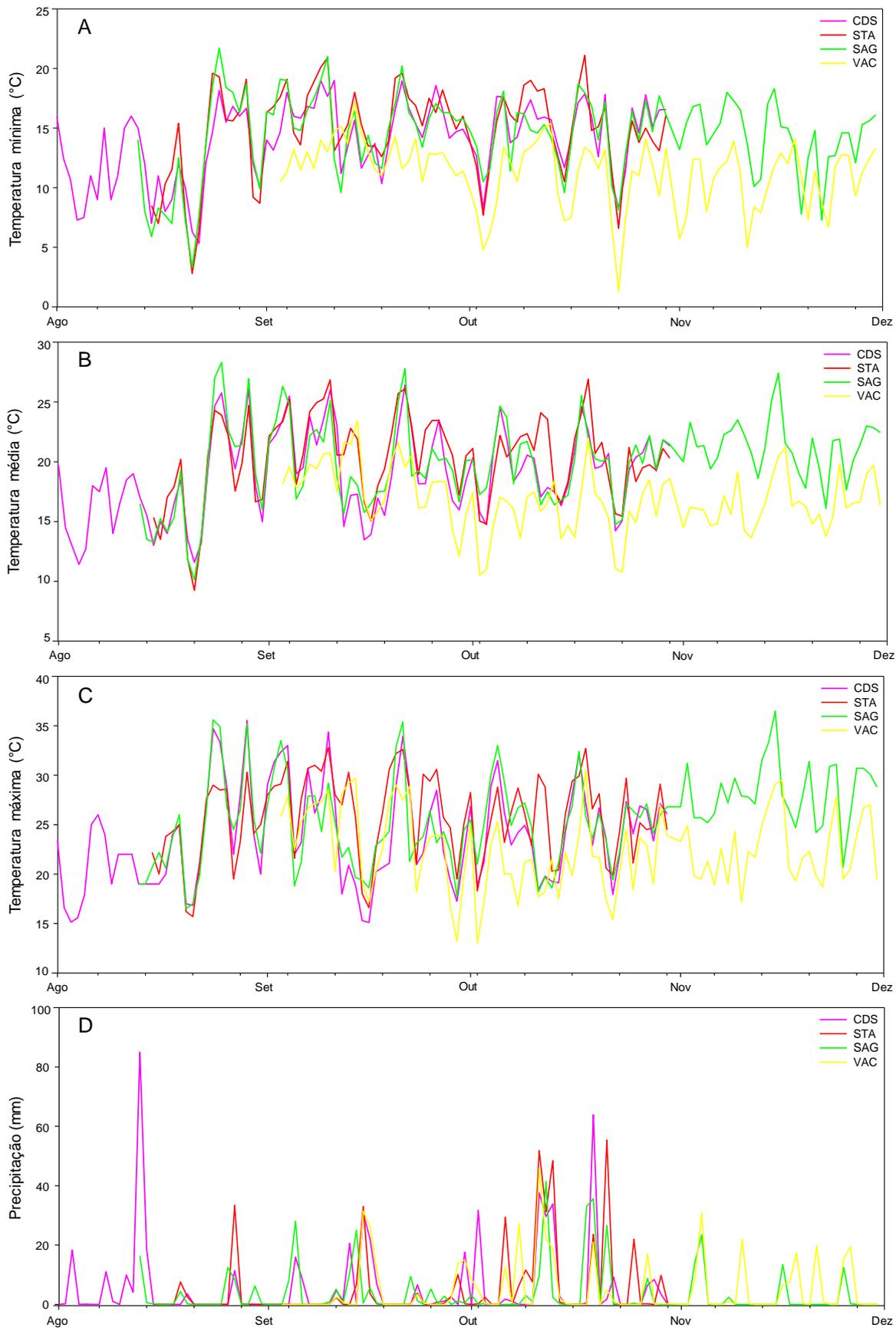


Figura 6 - Condições climáticas nos diferentes locais de cultivo: Temperaturas mínima (A), média (B), máxima (C) e precipitação (D). CDS = Cachoeira do Sul. STA = Santo Augusto. SAG = São Gabriel. VAC = Vacaria.

## **4.2 Caracterização físico-química e tecnológica dos grãos e farinhas de trigo**

### **4.2.1 Composição proximal**

Os teores de proteína, lipídeos, fibras, cinzas e amido foram determinados através de espectrometria de infravermelho próximo – NIRS. As amostras de grãos de trigo foram analisadas em espectrômetro (NIRS™ DS2500, FOSS, Dinamarca), que realiza leituras na faixa de 400 a 2500nm, que contém curva de calibração específica para trigo em grão. Os resultados foram expressos em percentagem, após serem realizadas as leituras dos grãos em triplicata.

### **4.2.2 Peso do hectolitro**

O peso do hectolitro dos grãos foi determinado utilizando balança de peso hectolítrico (Dalle Molle, Brasil), com capacidade para um quarto de litro, de acordo com a metodologia descrita pelo método oficial de análise de sementes (BRASIL, 2009). Os resultados foram expressos em kg.hL<sup>-1</sup>.

### **4.2.3 Rendimento de extração de farinha**

Para determinação do rendimento de extração de farinha, inicialmente os grãos inteiros foram condicionados para 15,5% de umidade e após 24h de repouso a 4°C foram moídos utilizando moinho experimental de trigo (Chopin, modelo CD1, França), de acordo com o método n° 26-10.02 da AACC (2010). O rendimento de extração de farinha foi calculado com base na massa inicial de grãos e expresso em percentagem.

### **4.2.4 Teor de amilose**

O teor de amilose da farinha de trigo foi determinado seguindo método descrito por McGrane, Cornell e Rix (1998) com modificações. Inicialmente, foram pesados 100mg de farinha de trigo, previamente desengordurada e peneirada, em tubos falcon de 15mL onde logo após foi adicionado 8mL de dimetilsulfóxido a 90%. Os tubos foram submetidos a aquecimento em banho-maria a 90°C durante 2h, sendo a cada 30min feito uma rápida agitação da amostra em homogeneizador de tubos. Após o arrefecimento, as dispersões foram completadas com água para 25mL em balão

volumétrico. Alíquotas de 1mL foram transferidas para tubos contendo 44mL de água e misturadas com 5mL de solução de iodeto de potássio. Depois de 15min de repouso foram realizadas as leituras das absorvâncias a 600nm. A curva de calibração foi construída com padrão de amilose de batata pura (Sigma-Aldrich Co., USA) nas concentrações de 0; 0,08; 0,16; 0,32; 0,64; 0,96; 1,28 e 1,60mg/mL.

#### **4.2.5 Carotenoides totais**

O conteúdo de carotenoides totais foi determinado de acordo com o método descrito por Abdel-Aal e Young (2009), com pequenas alterações. A extração foi feita utilizando 500mg de farinha de trigo e 5ml de 1-butanol saturado com água, dispostos em tubos falcon de 15ml cobertos com papel alumínio para abrigo da luz. As amostras foram misturadas em vórtex durante 45s, em intervalos de 30min até completarem 90min. Logo após foram submetidas a centrifugação a 4000rpm durante 5min em temperatura ambiente. Posteriormente os sobrenadantes foram transferidos para cubeta de quartzo e foi realizada a leitura das absorvâncias a 450nm em espectrofotômetro. O conteúdo de carotenoides foi calculado usando a seguinte equação:  $CC = (ABS \times V \times 10^6) / (CA \times 100 \times W)$ , onde ABS = leitura da absorvância a 450nm; V = volume total do extrato (mL); CA = coeficiente de absorção da luteína; W = peso da amostra (g). Foi utilizado como coeficiente de absorção de luteína CA = 2474, conforme descrito pelo método n° 14-60.0 da AACC (2012). Os resultados foram expressos em µg de luteína por g de amostra.

#### **4.2.6 Amido danificado**

O teor de amido danificado foi determinado seguindo o método n° 76-33.01 da AACC (2010) em um equipamento SDMatic (Chopin, França).

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

O teor de glúten úmido e o índice de gluten foram determinados através do equipamento Sistema Glutomatic (modelo 2100, Perten Instruments, EUA), seguindo o método n° 38-12.02 da AACC (2010).

#### 4.2.8 Alveografia

As propriedades viscoelásticas das farinhas foram analisadas em alveógrafo (modelo NG, Chopin, França), de acordo com o método nº 54-30.02 da AACC (2010). As seguintes variáveis foram consideradas: tenacidade (P), extensibilidade (L) e força de glúten (W) (Figura 7).

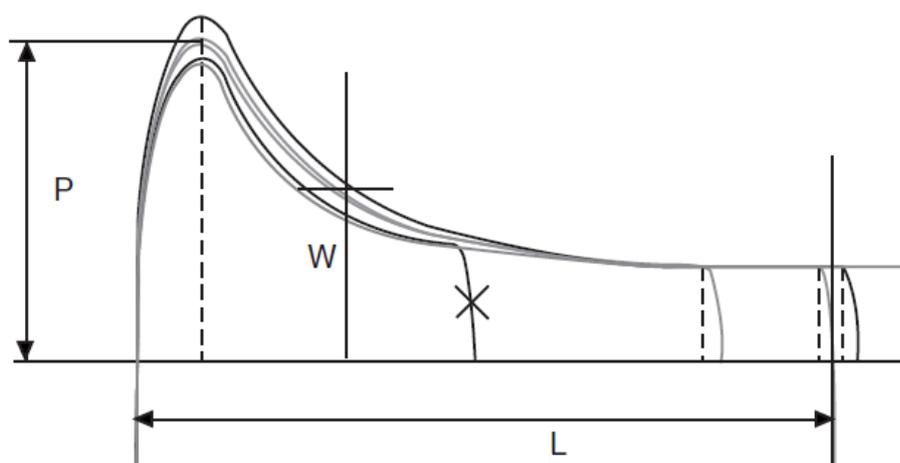


Figura 7 - Exemplo de alveograma, apresentando a localização dos parâmetros P, L e W no gráfico.

Fonte: Adaptado de Chopin (2006).

#### 4.2.9 Número de queda

O número de queda, que determina a atividade da enzima  $\alpha$ -amilase, foi avaliado em equipamento Falling Number (modelo FN 1800, Perten Instruments, EUA), de acordo com o método nº 56-81.03 da AACC (2010).

#### 4.2.10 Propriedades de pasta

As propriedades de pasta ou viscoamilográficas foram determinadas em equipamento viscosímetro (RVA-3D, Newport Scientific, Austrália), de acordo com o método nº 76-21.01 (AACC, 2010). Os parâmetros obtidos através deste procedimento foram: viscosidade máxima, viscosidade mínima, quebra, viscosidade final, retrogradação e temperatura de pasta (Figura 8).

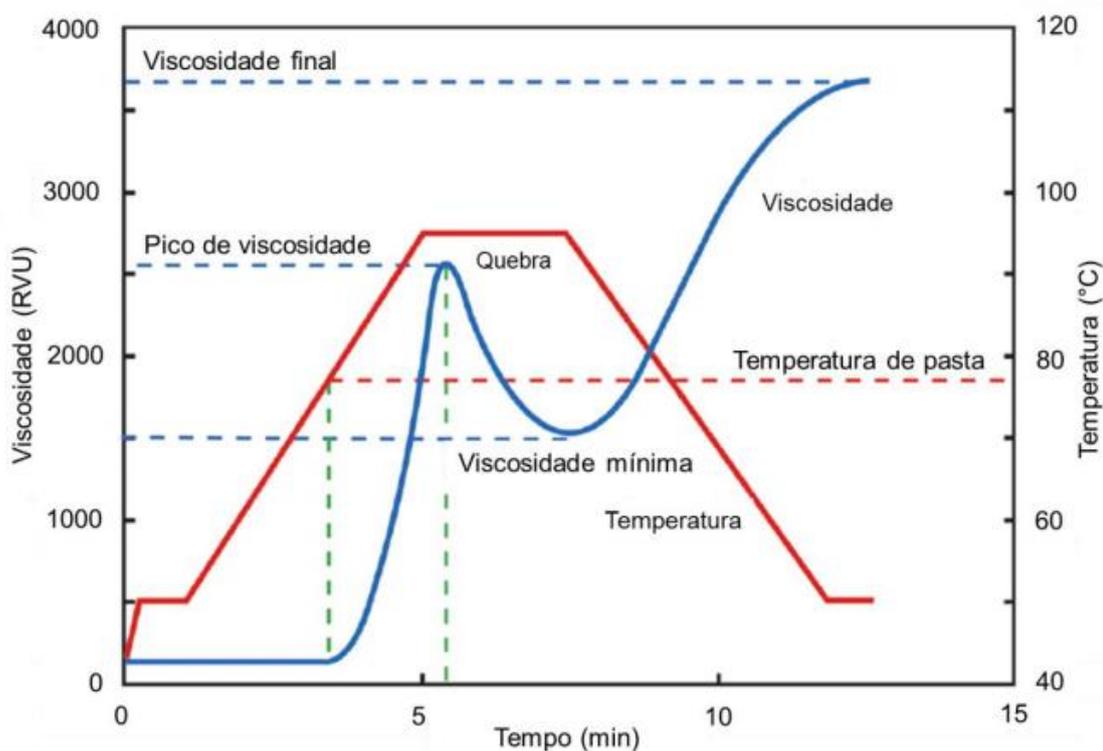


Figura 8 - Curva de viscosidade do RVA, demonstrando os parâmetros avaliados.

Fonte: Adaptado de Newport Scientific (2001).

### 4.3 Avaliações da qualidade dos grãos para o processo de cocção

#### 4.3.1 Tempo de cocção

O tempo de cocção dos grãos foi determinado pelo teste Ranghino (MOHAPATRA e BAL, 2006), comumente utilizado para arroz, com pequenas modificações. Amostras de grãos de trigo (10g) foram adicionadas em 200mL de água destilada em um béquer sobre uma chapa aquecedora. O tempo de cocção começou a ser contado logo após o contato dos grãos com a água fervente. Após 20min de cocção, a cada minuto 10 grãos foram verificados, amassando-os entre duas placas de vidro. Quando 90% dos grãos não apresentaram o centro branco do grão considerou-se completa a cocção.

### 4.3.2 Peso de mil grãos

O peso de mil grãos foi determinado de acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), contando oito repetições de 100 grãos por amostra e pesagem em balança de precisão.

### 4.3.3 Perfil colorimétrico

O perfil colorimétrico dos grãos foi determinado antes e após a cocção dos mesmos, utilizando um colorímetro Minolta (modelo CR-300), que indica as cores em um sistema tridimensional (Figura 9). Os parâmetros avaliados foram a luminosidade ( $L^*$ ), que varia do branco ao preto, e as coordenadas de cromaticidade  $a^*$ , que indica coloração do verde ( $-a^*$ ) ao vermelho ( $+a^*$ ), e  $b^*$ , do amarelo ( $-b^*$ ) ao azul ( $+b^*$ ).

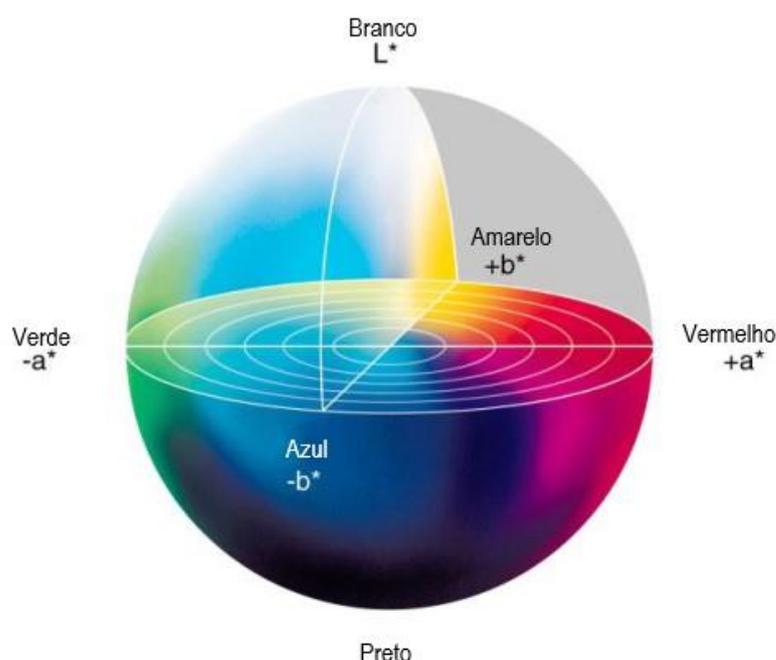


Figura 9 - Sistema tridimensional de cores, demonstrando as coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ .

### 4.3.4 Grãos danificados

Foram considerados como grãos danificados aqueles cujo pericarpo apresentou abertura na cavidade central dos grãos após o processo de cocção. Para isso, 20g de grãos de cada amostra foram submetidos a cocção, em seus tempos previamente determinados e posteriormente foram classificados visualmente,

separados e contabilizados através de pesagem. O resultado foi expresso em percentual de grãos danificados.

#### **4.3.5 Dureza**

A cocção dos grãos foi realizada em béquer contendo 200mL de água destilada sobre chapa aquecedora, utilizando 20g de amostra. Logo após o término do processo de cocção, seguindo o tempo ótimo de cocção definido para cada amostra, conforme o método descrito no item 5.3.1, o trigo cozido foi drenado do excesso de água e imediatamente submetido a análise no texturômetro. Três grãos de trigo cozidos foram dispostos no analisador de textura (TA.XTplus, Stable Micro Systems, Inglaterra), sendo submetidos a 90% de compressão com probe cilíndrico. Foram utilizados dois ciclos de compressão, com uma velocidade de pré-teste, teste e pós-teste ajustados em  $1,5\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $0,67\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$  e  $2,0\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ , respectivamente. Os resultados foram expressos como a média de quinze repetições, em Newtons (N).

#### **4.3.6 Digestibilidade *in vitro***

A digestão *in vitro* foi realizada seguindo o método de Dartois et al. (2010), que simula as fases gástrica e intestinal. Em resumo, utilizou-se 12g de grãos crus de trigo para o ensaio. O trigo foi submetido ao processo de cocção (conforme item 5.3.1), logo após foi triturado para simulação da mastigação, e em seguida adicionado a um reator de vidro, com temperatura constante de  $37^{\circ}\text{C}$ , onde se realizou a digestão simulada, com agitação magnética a 300rpm durante todo o processo. A primeira etapa, que simula as condições do estômago, iniciou com a adição de 50mL de fluido gástrico (0,24g de pepsina - pH 1,2). Após 30min do começo da fase gástrica adicionou-se 50mL de fluido intestinal (0,2g de pancreatina, 0,0015g de invertase e 3mL de amiloglucosidase – pH 6,8). A fase intestinal teve duração total de 120min. Alíquotas de 0,5mL foram coletadas nos tempos 0, 15 e 30min de digestão gástrica e nos tempos 0, 5, 10, 20, 30, 60, 90 e 120min de digestão intestinal e transferidas imediatamente para tubos falcons contendo 3mL de álcool etílico absoluto. Antes da quantificação de glicose as amostras foram submetidas a incubação com solução de invertase, durante 10min a  $50^{\circ}\text{C}$ . A quantificação de glicose foi feita através de Kit colorimétrico enzimático (Glicose Enzimática Líquida, Doles reagentes e

equipamentos para laboratórios Co., Goiânia, GO, Brasil) seguindo as recomendações do fabricante. Os resultados foram expressos como percentagem de hidrólise do amido utilizando as seguintes equações:

$$\% \text{ SH} = \text{Sh}/\text{Si} \quad (1)$$

$$= 0,9 \times \text{Gp}/\text{Si} \quad (2)$$

onde: % SH é o percentual de hidrólise do amido (total); Sh é a quantidade de amido hidrolisado (g), Si é a quantidade inicial de amido (g); Gp e a quantidade de glicose produzida (g). Um fator de conversão de 0,9 que é calculado a partir do peso molecular do monômero de amido / peso molecular de glicose ( $162/180=0,9$ ) foi utilizado (GOÑI; GARCIA-ALONSO; SAURA-CALIXTO, 1997).

#### **4.4 Análise estatística**

Os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) através do software SAS (SAS Institute, Cary, NC, USA) e, posteriormente, foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de significância para evidenciar diferenças de resultados entre os 13 genótipos e os 4 locais de cultivo. Na análise do perfil colorimétrico dos grãos, além de Tukey, para a comparação entre os genótipos, foi utilizado também o teste t de Student a 5% de significância, para comparação das variáveis colorimétricas entre grãos crus e cozidos. A análise de correlação de Pearson foi realizada em alguns casos, quando se fez necessário. Para a discriminação da qualidade em função dos genótipos ou dos locais de cultivo, os dados de composição proximal e das análises de qualidade da farinha (item 5.2) foram submetidos a duas análises multivariadas: Análise de Componentes Principais (PCA) e Análise Supervisionada Parcial Discriminante por Mínimos Quadrados (PLS-DA), ambas foram realizadas utilizando a plataforma Metaboanalyst, versão 3.6 (XIA e WISHART, 2016).

## 5 Resultados e discussão

### 5.1 Propriedades físico-químicas dos grãos e farinhas de trigo

#### 5.1.1 Composição proximal

O teor de proteínas, lipídeos, fibras, cinzas e amido total nos grãos dos treze genótipos produzidos nos quatro locais de cultivo estão apresentados nas tabelas 4, 5, 6, 7 e 8, respectivamente.

O teor de proteínas apresentou grande variação entre os genótipos e também em função das localidades. No município de CDS variou de 11,39 a 14,79% entre os genótipos estudados, enquanto em STA variou de 11,21 a 14,17%, em SAG de 11,17 a 14,91% e VAC de 12,83 a 16,60% (Tabela 4). O genótipo Marfim destacou-se, apresentando o maior teor de proteínas (14,17-16,60%) quando comparado aos outros genótipos, exceto quando produzido em SAG. Quando cultivados em VAC a maioria dos genótipos expressaram os maiores teores de proteínas ( $P \leq 0,05$ ).

De acordo com Dupont e Altenbach (2003), mesmo que o acúmulo de proteínas seja muito influenciado pelo genótipo, algumas variáveis ambientais como a temperatura e disponibilidade de água exercem grande influência sobre a taxa e a duração do período de enchimento dos grãos, influenciando assim no acúmulo de proteínas.

Tabela 4 - Teor de proteína bruta dos treze genótipos nos quatro locais de cultivo.

Genótipos	Proteína (%)			
	CDS	STA	SAG	VAC
Ametista	B 13,53 ± 0,12 <sup>cd</sup>	B 13,22 ± 0,27 <sup>bcd</sup>	C 12,57 ± 0,17 <sup>ef</sup>	A 15,58 ± 0,16 <sup>b</sup>
BRS 331	BC 14,16 ± 0,09 <sup>abc</sup>	C 13,84 ± 0,19 <sup>ab</sup>	A 14,91 ± 0,26 <sup>a</sup>	AB 14,58 ± 0,22 <sup>c</sup>
BRS Parrudo	A 14,48 ± 0,34 <sup>ab</sup>	B 13,63 ± 0,27 <sup>ab</sup>	B 13,33 ± 0,12 <sup>d</sup>	A 14,55 ± 0,14 <sup>c</sup>
CD 1303	B 12,69 ± 0,17 <sup>e</sup>	B 12,71 ± 0,14 <sup>de</sup>	A 14,05 ± 0,12 <sup>bc</sup>	A 13,62 ± 0,33 <sup>de</sup>
FPS Certero	B 12,95 ± 0,43 <sup>de</sup>	AB 13,53 ± 0,15 <sup>abc</sup>	C 11,86 ± 0,13 <sup>gh</sup>	A 14,06 ± 0,42 <sup>cd</sup>
Marfim	B 14,79 ± 0,21 <sup>a</sup>	B 14,17 ± 0,29 <sup>a</sup>	B 14,37 ± 0,08 <sup>b</sup>	A 16,60 ± 0,38 <sup>a</sup>
ORS Vintecinco	B 12,88 ± 0,20 <sup>de</sup>	B 12,92 ± 0,21 <sup>cd</sup>	C 11,98 ± 0,08 <sup>g</sup>	A 15,35 ± 0,11 <sup>b</sup>
TBIO Iguaçu	B 11,76 ± 0,21 <sup>f</sup>	B 12,06 ± 0,33 <sup>ef</sup>	B 11,79 ± 0,19 <sup>gh</sup>	A 13,23 ± 0,21 <sup>ef</sup>
TBIO Mestre	B 14,01 ± 0,06 <sup>bc</sup>	B 13,81 ± 0,16 <sup>ab</sup>	B 13,78 ± 0,17 <sup>c</sup>	A 16,02 ± 0,11 <sup>ab</sup>
TBIO Sintonia	B 13,27 ± 0,17 <sup>de</sup>	B 13,20 ± 0,23 <sup>bcd</sup>	B 12,93 ± 0,11 <sup>de</sup>	A 14,47 ± 0,19 <sup>c</sup>
TBIO Sinuelo	C 11,61 ± 0,06 <sup>f</sup>	B 11,94 ± 0,12 <sup>f</sup>	D 11,17 ± 0,03 <sup>i</sup>	A 12,83 ± 0,13 <sup>f</sup>
TBIO Sossego	B 12,96 ± 0,34 <sup>de</sup>	B 13,43 ± 0,13 <sup>bc</sup>	C 11,45 ± 0,09 <sup>hi</sup>	A 14,45 ± 0,18 <sup>c</sup>
TBIO Toruk	C 11,39 ± 0,19 <sup>f</sup>	C 11,21 ± 0,22 <sup>g</sup>	B 12,13 ± 0,22 <sup>fg</sup>	A 13,06 ± 0,14 <sup>ef</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 ( $P < 0,05$ ).  
CDS = Cachoeira do Sul; STA = Santo Augusto; SAG = São Gabriel; VAC = Vacaria.

Altas temperaturas durante a maturação podem influenciar na fotossíntese e, conseqüentemente, na síntese de proteínas, interferindo na deposição de proteínas nos grãos e reduzindo a qualidade ou quantidade das mesmas (JUNGES, 2008; RIBEIRO et al., 2012). De certa forma, esta informação pode ser associada aos resultados obtidos pelos genótipos cultivados em VAC, com maior teor de proteínas. Comparado aos outros locais, VAC demonstrou ser uma região com temperaturas mais baixas (Figura 6), e apresentou para a maioria dos genótipos os maiores teores de proteína.

Os teores de lipídeos oscilaram de 1,66-2,01%, 1,67-2,30%, 1,59-2,08% e 1,43-1,91% para CDS, STA, SAG e VAC, respectivamente (Tabela 5). Para a maioria dos genótipos foi observado o menor teor de lipídeos quando cultivados em VAC. Nos outros locais de cultivo (CDS, STA e SAG) não foram encontradas variação entre os genótipos. No trigo, os lipídeos concentram-se nas camadas mais externas do grão, principalmente no farelo e no gérmen, e geralmente são encontrados em um percentual bem pequeno, cerca de 1,5 a 2,0% (SCHEUER et al., 2011).

Tabela 5 - Teor de lipídeos dos treze genótipos nos quatro locais de cultivo.

Genótipos	Lipídeos (%)			
	CDS	STA	SAG	VAC
Ametista	A 1,81 ± 0,11 ab	A 1,81 ± 0,06 bcd	A 1,71 ± 0,06 bcd	A 1,72 ± 0,07 abcd
BRS 331	B 2,00 ± 0,01 a	A 2,30 ± 0,17 a	AB 2,08 ± 0,08 a	C 1,73 ± 0,07 abcd
BRS Parrudo	AB 2,01 ± 0,25 a	A 2,16 ± 0,05 a	AB 1,95 ± 0,09 ab	B 1,77 ± 0,09 abcd
CD 1303	AB 1,66 ± 0,11 b	A 1,90 ± 0,05 b	AB 1,59 ± 0,22 d	B 1,43 ± 0,17 e
FPS Certero	A 1,83 ± 0,12 ab	AB 1,81 ± 0,06 bcd	AB 1,78 ± 0,04 bcd	B 1,62 ± 0,05 bcde
Marfim	A 1,80 ± 0,09 ab	A 1,90 ± 0,08 b	A 1,70 ± 0,03 bcd	A 1,91 ± 0,10 a
ORS Vintecinco	B 1,69 ± 0,02 b	A 1,79 ± 0,02 bcd	BC 1,71 ± 0,05 bcd	C 1,52 ± 0,02 de
TBIO Iguaçú	A 1,77 ± 0,03 ab	A 1,80 ± 0,03 bcd	A 1,81 ± 0,13 abcd	A 1,83 ± 0,11 abc
TBIO Mestre	A 1,93 ± 0,08 ab	AB 1,88 ± 0,03 bc	BC 1,79 ± 0,05 bcd	C 1,67 ± 0,04 abcde
TBIO Sintonia	A 1,94 ± 0,03 ab	B 1,76 ± 0,05 bcd	AB 1,90 ± 0,10 abc	AB 1,85 ± 0,04 ab
TBIO Sinuelo	A 1,93 ± 0,06 ab	AB 1,77 ± 0,06 bcd	A 1,89 ± 0,06 abc	B 1,58 ± 0,16 cde
TBIO Sossego	A 1,90 ± 0,04 ab	B 1,69 ± 0,05 cd	AB 1,76 ± 0,12 bcd	C 1,45 ± 0,02 e
TBIO Toruk	A 1,90 ± 0,02 ab	B 1,67 ± 0,03 d	BC 1,62 ± 0,04 cd	C 1,57 ± 0,05 cde

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 ( $P < 0,05$ ). CDS = Cachoeira do Sul; STA = Santo Augusto; SAG = São Gabriel; VAC = Vacaria.

O teor de fibras variou de 2,44-2,99%, 2,26-3,30%, 2,64-3,13% e 2,84-3,37% para CDS, STA, SAG e VAC, respectivamente (Tabela 6), sendo que os grãos de VAC apresentaram valores significativamente maiores, exceto para os genótipos Marfim,

TBIO Sintonia e TBIO Sinuelo. Quanto ao teor de cinzas, o menor valor foi observado no genótipo Marfim quando cultivado em STA (1,24%), já o genótipo BRS 331 cultivado em SAG foi responsável por apresentar o maior valor (1,76%), não diferindo estatisticamente quando cultivado em STA e VAC (Tabela 7).

Tabela 6 - Teor de fibras dos treze genótipos nos quatro locais de cultivo.

Genótipos	Fibras (%)			
	CDS	STA	SAG	VAC
Ametista	<sup>B</sup> 2,91 ± 0,04 <sup>ab</sup>	<sup>A</sup> 3,29 ± 0,09 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 2,76 ± 0,02 <sup>cde</sup>	<sup>A</sup> 3,26 ± 0,16 <sup>ab</sup>
BRS 331	<sup>C</sup> 2,58 ± 0,11 <sup>bc</sup>	<sup>D</sup> 2,26 ± 0,06 <sup>d</sup>	<sup>B</sup> 3,03 ± 0,10 <sup>ab</sup>	<sup>A</sup> 3,37 ± 0,13 <sup>a</sup>
BRS Parrudo	<sup>AB</sup> 2,98 ± 0,23 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 2,84 ± 0,06 <sup>c</sup>	<sup>B</sup> 2,85 ± 0,08 <sup>bcd</sup>	<sup>A</sup> 3,24 ± 0,16 <sup>ab</sup>
CD 1303	<sup>B</sup> 2,78 ± 0,07 <sup>abc</sup>	<sup>C</sup> 2,28 ± 0,03 <sup>d</sup>	<sup>B</sup> 2,64 ± 0,01 <sup>e</sup>	<sup>A</sup> 3,28 ± 0,10 <sup>ab</sup>
FPS Certero	<sup>A</sup> 2,95 ± 0,23 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 3,05 ± 0,10 <sup>b</sup>	<sup>A</sup> 2,82 ± 0,05 <sup>cde</sup>	<sup>A</sup> 3,03 ± 0,05 <sup>bc</sup>
Marfim	<sup>AB</sup> 2,99 ± 0,13 <sup>a</sup>	<sup>AB</sup> 3,00 ± 0,09 <sup>bc</sup>	<sup>A</sup> 3,13 ± 0,08 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 2,84 ± 0,02 <sup>c</sup>
ORS Vintecinco	<sup>B</sup> 2,67 ± 0,05 <sup>abc</sup>	<sup>A</sup> 3,00 ± 0,03 <sup>bc</sup>	<sup>B</sup> 2,69 ± 0,02 <sup>cde</sup>	<sup>A</sup> 3,09 ± 0,04 <sup>bc</sup>
TBIO Iguaçu	<sup>B</sup> 2,44 ± 0,14 <sup>c</sup>	<sup>A</sup> 3,00 ± 0,10 <sup>bc</sup>	<sup>B</sup> 2,70 ± 0,14 <sup>cde</sup>	<sup>A</sup> 3,03 ± 0,02 <sup>bc</sup>
TBIO Mestre	<sup>B</sup> 2,72 ± 0,09 <sup>abc</sup>	<sup>AB</sup> 2,93 ± 0,04 <sup>bc</sup>	<sup>B</sup> 2,80 ± 0,04 <sup>cde</sup>	<sup>A</sup> 3,08 ± 0,13 <sup>bc</sup>
TBIO Sintonia	<sup>C</sup> 2,50 ± 0,05 <sup>c</sup>	<sup>A</sup> 3,30 ± 0,04 <sup>a</sup>	<sup>C</sup> 2,65 ± 0,10 <sup>de</sup>	<sup>B</sup> 2,91 ± 0,08 <sup>c</sup>
TBIO Sinuelo	<sup>C</sup> 2,75 ± 0,03 <sup>abc</sup>	<sup>A</sup> 3,09 ± 0,03 <sup>b</sup>	<sup>C</sup> 2,72 ± 0,07 <sup>cde</sup>	<sup>B</sup> 2,93 ± 0,04 <sup>c</sup>
TBIO Sossego	<sup>BC</sup> 2,86 ± 0,09 <sup>ab</sup>	<sup>B</sup> 2,94 ± 0,04 <sup>bc</sup>	<sup>C</sup> 2,73 ± 0,02 <sup>cde</sup>	<sup>A</sup> 3,11 ± 0,07 <sup>abc</sup>
TBIO Toruk	<sup>B</sup> 2,78 ± 0,08 <sup>abc</sup>	<sup>B</sup> 2,81 ± 0,08 <sup>c</sup>	<sup>B</sup> 2,89 ± 0,03 <sup>bc</sup>	<sup>A</sup> 3,06 ± 0,04 <sup>bc</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 ( $P < 0,05$ ). CDS = Cachoeira do Sul; STA = Santo Augusto; SAG = São Gabriel; VAC = Vacaria.

Tabela 7 - Teor de cinzas dos treze genótipos nos quatro locais de cultivo.

Genótipos	Cinzas (%)			
	CDS	STA	SAG	VAC
Ametista	<sup>A</sup> 1,59 ± 0,02 <sup>bcd</sup>	<sup>A</sup> 1,58 ± 0,01 <sup>ab</sup>	<sup>A</sup> 1,54 ± 0,03 <sup>cde</sup>	<sup>A</sup> 1,61 ± 0,05 <sup>cde</sup>
BRS 331	<sup>B</sup> 1,56 ± 0,03 <sup>cd</sup>	<sup>AB</sup> 1,65 ± 0,03 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 1,76 ± 0,09 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 1,73 ± 0,04 <sup>ab</sup>
BRS Parrudo	<sup>A</sup> 1,73 ± 0,08 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 1,59 ± 0,06 <sup>ab</sup>	<sup>AB</sup> 1,66 ± 0,02 <sup>abc</sup>	<sup>A</sup> 1,75 ± 0,03 <sup>a</sup>
CD 1303	<sup>B</sup> 1,54 ± 0,01 <sup>de</sup>	<sup>B</sup> 1,48 ± 0,03 <sup>c</sup>	<sup>A</sup> 1,63 ± 0,03 <sup>bcd</sup>	<sup>A</sup> 1,63 ± 0,04 <sup>cde</sup>
FPS Certero	<sup>B</sup> 1,47 ± 0,10 <sup>de</sup>	<sup>A</sup> 1,67 ± 0,01 <sup>a</sup>	<sup>AB</sup> 1,58 ± 0,04 <sup>bcde</sup>	<sup>AB</sup> 1,53 ± 0,05 <sup>efg</sup>
Marfim	<sup>A</sup> 1,68 ± 0,04 <sup>abc</sup>	<sup>C</sup> 1,24 ± 0,04 <sup>d</sup>	<sup>B</sup> 1,39 ± 0,06 <sup>f</sup>	<sup>A</sup> 1,73 ± 0,03 <sup>ab</sup>
ORS Vintecinco	<sup>A</sup> 1,70 ± 0,00 <sup>ab</sup>	<sup>B</sup> 1,62 ± 0,03 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 1,57 ± 0,03 <sup>cde</sup>	<sup>B</sup> 1,59 ± 0,01 <sup>cde</sup>
TBIO Iguaçu	<sup>A</sup> 1,52 ± 0,05 <sup>de</sup>	<sup>A</sup> 1,52 ± 0,03 <sup>bc</sup>	<sup>A</sup> 1,52 ± 0,02 <sup>de</sup>	<sup>A</sup> 1,55 ± 0,01 <sup>def</sup>
TBIO Mestre	<sup>B</sup> 1,50 ± 0,03 <sup>de</sup>	<sup>B</sup> 1,52 ± 0,01 <sup>bc</sup>	<sup>B</sup> 1,56 ± 0,03 <sup>cde</sup>	<sup>A</sup> 1,65 ± 0,03 <sup>bc</sup>
TBIO Sintonia	<sup>B</sup> 1,54 ± 0,03 <sup>de</sup>	<sup>A</sup> 1,64 ± 0,02 <sup>a</sup>	<sup>AB</sup> 1,58 ± 0,02 <sup>cde</sup>	<sup>A</sup> 1,61 ± 0,04 <sup>cde</sup>
TBIO Sinuelo	<sup>C</sup> 1,42 ± 0,03 <sup>e</sup>	<sup>A</sup> 1,60 ± 0,04 <sup>ab</sup>	<sup>AB</sup> 1,53 ± 0,03 <sup>ef</sup>	<sup>BC</sup> 1,45 ± 0,03 <sup>g</sup>
TBIO Sossego	<sup>B</sup> 1,40 ± 0,06 <sup>e</sup>	<sup>A</sup> 1,64 ± 0,04 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 1,48 ± 0,05 <sup>de</sup>	<sup>B</sup> 1,47 ± 0,03 <sup>fg</sup>
TBIO Toruk	<sup>C</sup> 1,52 ± 0,02 <sup>de</sup>	<sup>C</sup> 1,53 ± 0,02 <sup>bc</sup>	<sup>A</sup> 1,70 ± 0,01 <sup>ab</sup>	<sup>B</sup> 1,64 ± 0,03 <sup>bcd</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 ( $P < 0,05$ ). CDS = Cachoeira do Sul; STA = Santo Augusto; SAG = São Gabriel; VAC = Vacaria.

O amido total das amostras avaliadas variou de 53,42-59,38%, 54,70-59,97%, 53,85-60,57% e 51,99-57,02% para CDS, STA, SAG e VAC, respectivamente (Tabela 8). De acordo com Shewry et al. (2013), o amido é o principal componente responsável pelo rendimento dos grãos, de modo que quanto maior for o seu conteúdo, maiores serão os grãos. Ainda, estes autores relataram que, geralmente, o amido corresponde a 80% do peso seco do endosperma amiláceo.

A análise estatística evidenciou que para o amido total os valores obtidos em VAC ficaram sempre abaixo das demais localidades para todos os genótipos avaliados. Relacionando estes resultados com o teor de proteínas nesses grãos, fica claro que estes componentes se correlacionaram negativamente, pois os grãos que tiveram os maiores teores de proteínas (Tabela 4), aqueles cultivados em VAC, apresentaram também os menores teores de amido, exceto para os genótipos BRS Parrudo e TBIO Sossego que não diferiram quando cultivados em CDS e VAC (Tabela 8).

De acordo com Zörb, Ludewig & Hawkesford (2018), embora o avanço da genética seja direcionado para a criação de variedades com maior teor de proteínas, e isto esteja realmente acontecendo, ainda há uma lacuna nesse sentido, já que a concentração de proteína é negativamente relacionada ao rendimento de grãos.

Tabela 8 - Teor de amido dos treze genótipos nos quatro locais de cultivo.

Genótipos	Amido (%)			
	CDS	STA	SAG	VAC
Ametista	A 57,84 ± 0,03 <sup>bcd</sup>	A 58,61 ± 0,31 <sup>b</sup>	A 58,78 ± 0,40 <sup>b</sup>	B 53,40 ± 0,67 <sup>def</sup>
BRS 331	A 55,84 ± 0,47 <sup>e</sup>	AB 54,70 ± 0,42 <sup>f</sup>	B 53,85 ± 0,59 <sup>e</sup>	C 51,99 ± 0,42 <sup>f</sup>
BRS Parrudo	B 53,42 ± 0,59 <sup>f</sup>	A 55,86 ± 0,23 <sup>de</sup>	A 56,85 ± 0,07 <sup>cd</sup>	B 52,44 ± 0,44 <sup>f</sup>
CD 1303	A 58,50 ± 0,19 <sup>abc</sup>	B 57,59 ± 0,43 <sup>c</sup>	B 57,30 ± 0,30 <sup>cd</sup>	C 54,25 ± 0,17 <sup>cde</sup>
FPS Certero	A 58,93 ± 0,77 <sup>ab</sup>	B 56,85 ± 0,22 <sup>cd</sup>	A 59,77 ± 0,09 <sup>ab</sup>	C 55,01 ± 0,91 <sup>bc</sup>
Marfim	A 56,01 ± 0,14 <sup>e</sup>	A 55,67 ± 0,17 <sup>ef</sup>	A 56,29 ± 0,53 <sup>d</sup>	B 52,18 ± 0,50 <sup>f</sup>
ORS Vintecinco	C 57,59 ± 0,18 <sup>cd</sup>	B 58,69 ± 0,49 <sup>b</sup>	A 59,92 ± 0,31 <sup>a</sup>	D 55,08 ± 0,48 <sup>bc</sup>
TBIO Iguaçu	A 59,38 ± 0,33 <sup>a</sup>	A 59,87 ± 0,34 <sup>a</sup>	A 59,60 ± 0,35 <sup>ab</sup>	B 57,02 ± 0,77 <sup>a</sup>
TBIO Mestre	B 56,22 ± 0,29 <sup>e</sup>	B 56,18 ± 0,28 <sup>de</sup>	A 57,40 ± 0,12 <sup>c</sup>	C 52,81 ± 0,26 <sup>ef</sup>
TBIO Sintonia	A 57,72 ± 0,67 <sup>bcd</sup>	A 57,82 ± 0,39 <sup>bc</sup>	A 58,80 ± 0,41 <sup>b</sup>	B 54,98 ± 0,32 <sup>bcd</sup>
TBIO Sinuelo	B 58,79 ± 0,55 <sup>abc</sup>	AB 59,85 ± 0,43 <sup>a</sup>	A 60,57 ± 0,48 <sup>a</sup>	C 56,75 ± 0,21 <sup>a</sup>
TBIO Sossego	C 56,72 ± 0,10 <sup>de</sup>	B 57,59 ± 0,29 <sup>c</sup>	A 59,93 ± 0,18 <sup>a</sup>	C 55,95 ± 0,54 <sup>ab</sup>
TBIO Toruk	AB 59,26 ± 0,31 <sup>a</sup>	A 59,97 ± 0,15 <sup>a</sup>	B 58,80 ± 0,33 <sup>b</sup>	C 54,76 ± 0,72 <sup>bcd</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 ( $P < 0,05$ ).

CDS = Cachoeira do Sul; STA = Santo Augusto; SAG = São Gabriel; VAC = Vacaria.

### 5.1.2 Peso do hectolitro

O peso do hectolitro demonstrou ser um parâmetro altamente influenciado pelo ambiente, conforme é apresentado na Figura 10, onde é possível constatar a grande variação que ocorreu nos genótipos ao comparar os locais de cultivo. Os genótipos BRS 331 e BRS Parrudo apresentaram os menores valores de peso do hectolitro, 73,04 e 72,39 kg/hL, ambos quando cultivados em VAC. No trigo cultivado em SAG foram observados os valores mais altos, exceto para BRS 331 e BRS Parrudo. Os genótipos Ametista, CD 1303 e FPS Certero apresentaram valores de peso do hectolitro acima de 80 kg/hL, ambos quando cultivados em CDS e SAG. Resumidamente, os grãos produzidos em STA e VAC foram mais suscetíveis a redução no peso do hectolitro. Li, Wu, Hernandez-Espinosa e Peña (2013) avaliaram 15 cultivares de trigo cultivadas no México. Segundo os autores, quando o trigo era produzido em um ambiente sem estresse térmico ou hídrico, o peso do hectolitro variou de 77,2 a 80,7 kg/hL.

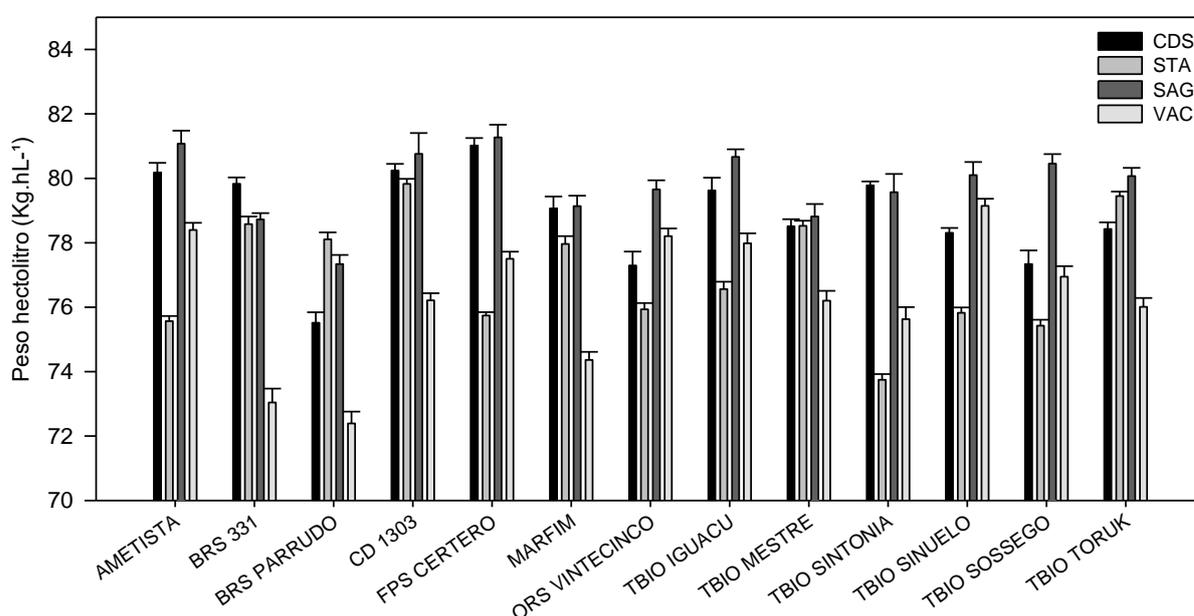


Figura 10 - Peso do hectolitro dos treze genótipos nos quatro locais de cultivo.

Vázquez (2009) resume o peso do hectolitro como um parâmetro importante para a avaliação da qualidade física do trigo, considerada uma estimativa de densidade de um lote de grãos. De acordo com o autor, a forma, a textura, o tamanho e a uniformidade dos grãos são fatores que influenciam no peso do hectolitro. Através

do peso do hectolitro a qualidade física dos grãos é mensurada, além de ser uma variável que indica indiretamente se o grão foi bem preenchido. Ainda que os genótipos tenham um forte impacto sobre a qualidade dos grãos, as condições ambientais são as que exercem maiores efeitos sobre a qualidade física.

Poletto (2015) salienta que condições climáticas adversas, como estresses hídricos, granizo e geada, podem reduzir significativamente o peso do hectolitro do trigo. Mai (2014) avaliou o peso do hectolitro de 33 cultivares de trigo e relacionou os baixos valores de peso do hectolitro com a alta precipitação pluviométrica ocorrida no final do ciclo da cultura.

Segundo Oro (2013), o peso do hectolitro é utilizado como parâmetro para a comercialização e como índice de qualidade pelas indústrias moageiras, de modo que quanto mais elevado for o peso do hectolitro, melhor será a aceitação destes grãos, embora se saiba que nem sempre este parâmetro esteja relacionado com o rendimento de extração de farinha.

De acordo com a legislação brasileira, um dos parâmetros levados em consideração para a tipificação do trigo é justamente o peso do hectolitro. Com os valores obtidos no presente estudo, os grãos se dividiriam em tipos 1, 2 e 3, nenhuma amostra seria classificada como fora de tipo ( $PH < 72$  kg/hL) (Tabela 2). Como exemplo, o genótipo TBIO Sintonia apresentou comportamentos para se enquadrar em três tipos: quando cultivado CDS e SAG seria tipo 1 (79,78 e 79,57 kg/hL), em STA tipo 3 (73,75 kg/hL) e em VAC tipo 2 (75,63 kg/hL) (Figura 10).

### **5.1.3 Rendimento de extração de farinha**

O rendimento de extração de farinha variou de 48,43% a 70,58% para todas as amostras analisadas. Os genótipos BRS 331 e BRS Parrudo foram responsáveis por apresentar os menores rendimentos. Já o genótipo ORS Vintecinco apresentou o maior rendimento de extração de farinha, cerca de 70%, além ter se mantido uma taxa de extração estável entre os quatro locais de cultivo (Figura 11).

O rendimento de extração de farinha é reflexo do grau de separação do endosperma e do farelo do grão. Um dos fatores importantes para a moagem é a etapa de condicionamento, que visa facilitar esta separação, e pode ter relação com a taxa de separação, pois no presente estudo seguiu-se um padrão de condicionamento para todos os tratamentos. Ademais, a dureza do grão, que tem

relação com interação entre o amido e a matriz proteica no endosperma, é um parâmetro que varia entre genótipos e que pode influenciar sobre o tempo de condicionamento (GUTKOSKI, 2003).

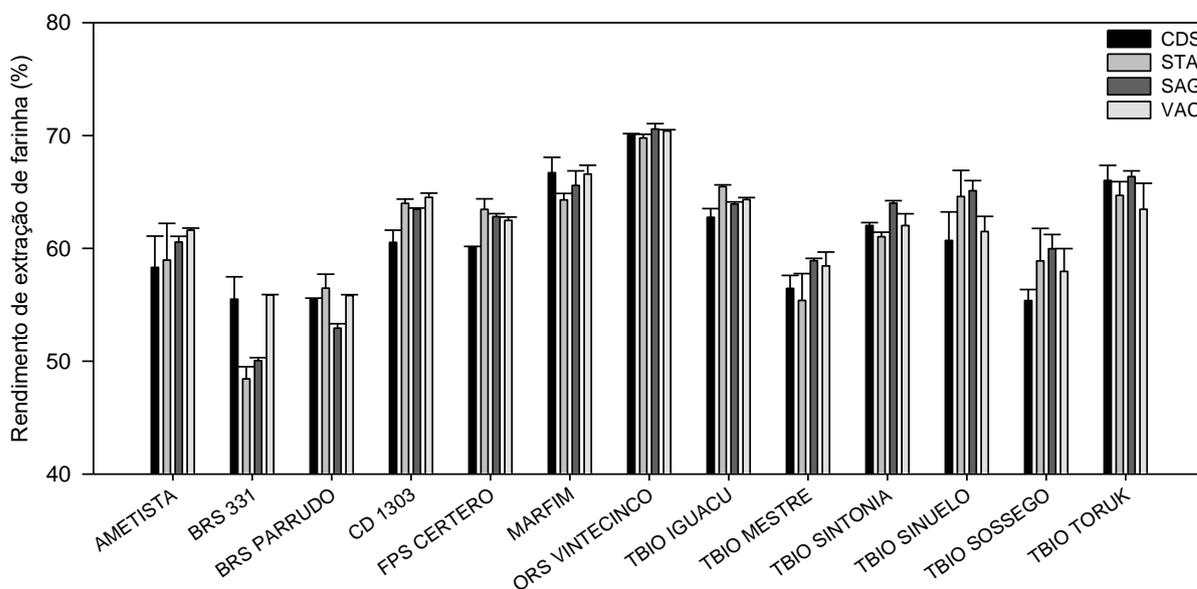


Figura 11 - Rendimento de extração de farinha dos treze genótipos nos quatro locais de cultivo.

#### 5.1.4 Teor de amilose

O teor de amilose aparente foi determinado através de um método colorimétrico com iodo. Os resultados obtidos na análise estão apresentados na Tabela 9.

Os genótipos apresentaram entre 23,61-30,61%, 21,24-28,66%, 23,62-31,53% e 22,81-27,80% de teor de amilose aparente quando cultivadas em CDS, STA, SAG e VAC, respectivamente. No genótipo TBIO Sossego observou-se os dois maiores valores encontrados no estudo, não diferindo significativamente ( $P > 0,05$ ) quando produzido em CDS e SAG.

Germani (2008) reportou que a proporção dos polissacarídeos amilose e amilopectina é controlada essencialmente por fatores genéticos. Atualmente existem muitos materiais desenvolvidos pelo melhoramento genético que possuem proporções diferentes daquelas que geralmente são encontradas em trigos comuns.

Jane et al. (1999) apontaram que a maioria dos amidos contém entre 20 e 30% de amilose, e este teor varia entre espécies botânicas. Atwell (2001) considera que o

trigo comum possui cerca de 25% de amilose, já Vázquez (2009) informa que o conteúdo de amilose em trigo, normalmente varia de 17 a 29%.

Tabela 9 - Teor de amilose dos treze genótipos nos quatro locais de cultivo.

Genótipos	Teor de amilose (%)			
	CDS	STA	SAG	VAC
Ametista	<sup>B</sup> 23,61 ± 0,80 <sup>f</sup>	<sup>C</sup> 21,24 ± 0,13 <sup>f</sup>	<sup>B</sup> 23,62 ± 0,21 <sup>d</sup>	<sup>A</sup> 26,02 ± 0,92 <sup>abcd</sup>
BRS 331	<sup>B</sup> 24,79 ± 0,85 <sup>def</sup>	<sup>A</sup> 26,96 ± 0,04 <sup>abc</sup>	<sup>B</sup> 24,42 ± 1,14 <sup>d</sup>	<sup>AB</sup> 26,27 ± 1,03 <sup>abc</sup>
BRS Parrudo	<sup>A</sup> 25,71 ± 0,53 <sup>cdef</sup>	<sup>A</sup> 26,61 ± 2,30 <sup>abcd</sup>	<sup>A</sup> 27,07 ± 0,50 <sup>c</sup>	<sup>A</sup> 27,35 ± 0,80 <sup>ab</sup>
CD 1303	<sup>B</sup> 26,39 ± 0,27 <sup>cde</sup>	<sup>AB</sup> 27,00 ± 1,48 <sup>abc</sup>	<sup>A</sup> 28,16 ± 0,35 <sup>bc</sup>	<sup>AB</sup> 27,69 ± 0,79 <sup>a</sup>
FPS Certero	<sup>BC</sup> 26,21 ± 0,18 <sup>cde</sup>	<sup>C</sup> 24,42 ± 1,82 <sup>cde</sup>	<sup>A</sup> 29,06 ± 1,36 <sup>b</sup>	<sup>AB</sup> 27,80 ± 0,58 <sup>a</sup>
Marfim	<sup>A</sup> 26,84 ± 0,54 <sup>bcd</sup>	<sup>A</sup> 28,66 ± 0,94 <sup>a</sup>	<sup>A</sup> 28,03 ± 0,97 <sup>bc</sup>	<sup>A</sup> 27,48 ± 0,59 <sup>ab</sup>
ORS Vintecinco	<sup>AB</sup> 25,77 ± 0,70 <sup>cdef</sup>	<sup>B</sup> 23,68 ± 0,75 <sup>ef</sup>	<sup>A</sup> 27,18 ± 0,55 <sup>bc</sup>	<sup>A</sup> 26,89 ± 1,45 <sup>b</sup>
TBIO Iguaçú	<sup>A</sup> 27,30 ± 0,39 <sup>bc</sup>	<sup>B</sup> 23,91 ± 1,55 <sup>def</sup>	<sup>A</sup> 27,47 ± 0,51 <sup>bc</sup>	<sup>B</sup> 25,17 ± 0,79 <sup>bcde</sup>
TBIO Mestre	<sup>AB</sup> 26,15 ± 1,16 <sup>cde</sup>	<sup>B</sup> 25,54 ± 0,42 <sup>bcde</sup>	<sup>A</sup> 28,05 ± 0,22 <sup>bc</sup>	<sup>C</sup> 22,81 ± 1,24 <sup>e</sup>
TBIO Sintonia	<sup>BC</sup> 24,61 ± 1,48 <sup>ef</sup>	<sup>AB</sup> 26,42 ± 0,70 <sup>abcde</sup>	<sup>A</sup> 27,31 ± 0,82 <sup>bc</sup>	<sup>C</sup> 23,45 ± 1,10 <sup>e</sup>
TBIO Sinuelo	<sup>A</sup> 28,41 ± 0,51 <sup>b</sup>	<sup>A</sup> 26,26 ± 2,32 <sup>abcde</sup>	<sup>A</sup> 27,16 ± 0,26 <sup>bc</sup>	<sup>B</sup> 23,14 ± 0,05 <sup>e</sup>
TBIO Sossego	<sup>A</sup> 30,61 ± 1,44 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 25,25 ± 0,47 <sup>bcde</sup>	<sup>A</sup> 31,53 ± 1,05 <sup>a</sup>	<sup>B</sup> 23,61 ± 1,08 <sup>de</sup>
TBIO Toruk	<sup>B</sup> 25,90 ± 0,20 <sup>cde</sup>	<sup>A</sup> 28,11 ± 1,14 <sup>ab</sup>	<sup>A</sup> 28,52 ± 0,72 <sup>bc</sup>	<sup>C</sup> 24,02 ± 0,19 <sup>cde</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 ( $P < 0,05$ ). CDS = Cachoeira do Sul; STA = Santo Augusto; SAG = São Gabriel; VAC = Vacaria.

O trigo com alto teor de amilose tende a ter também maior teor de amido resistente, e estas características podem ter grande influência sobre as propriedades tecnológicas do amido, assim como em sua digestibilidade (ŠTĚRBOVÁ et al., 2016). Hazard et al. (2012) mostraram que mutações em trigo duro forneceram um aumento de 22% no teor de amilose e de 115% no teor de amido resistente.

### 5.1.5 Carotenoides totais

Os carotenoides são compostos fitoquímicos que estão presentes em muitos produtos de origem vegetal, e são conhecidos como pigmentos de cor amarelo-laranja que possuem caráter lipofílico (LIU, 2007). No trigo, os carotenoides são encontrados em maiores quantidades, nas camadas mais externas do grão, principalmente no gérmen (NDOLO e BETA, 2013). Diversos estudos enfatizam que a luteína é o tipo de carotenoide mais abundante em trigo, seguida da zeaxantina (ADOM et al., 2003; PANFILI et al., 2004; LACHMAN et al., 2017). Devido a esse fato, a luteína é utilizada como unidade para a quantificação de carotenoides totais em trigo. Os teores de

carotenoides totais das farinhas de trigo obtidos no presente estudo estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Carotenoides totais dos treze genótipos de trigo produzidos nos quatro locais de cultivo.

Genótipos	Carotenoides totais ( $\mu\text{g/g}$ )			
	CDS	STA	SAG	VAC
Ametista	B 1,28 $\pm$ 0,02 g	A 1,54 $\pm$ 0,01 g	A 1,64 $\pm$ 0,06 g	B 1,23 $\pm$ 0,06 e
BRS 331	C 1,46 $\pm$ 0,03 f	C 1,35 $\pm$ 0,06 h	A 2,05 $\pm$ 0,00 bc	B 1,75 $\pm$ 0,06 c
BRS Parrudo	D 1,72 $\pm$ 0,01 d	B 2,02 $\pm$ 0,01 c	A 2,08 $\pm$ 0,01 b	C 1,97 $\pm$ 0,01 b
CD 1303	C 1,96 $\pm$ 0,03 ab	A 2,48 $\pm$ 0,04 a	C 2,03 $\pm$ 0,00 bc	B 2,23 $\pm$ 0,00 a
FPS Certero	C 1,17 $\pm$ 0,02 h	A 1,68 $\pm$ 0,01 f	A 1,67 $\pm$ 0,00 fg	B 1,41 $\pm$ 0,03 de
Marfim	C 1,14 $\pm$ 0,04 h	A 1,73 $\pm$ 0,01 ef	A 1,73 $\pm$ 0,00 f	B 1,43 $\pm$ 0,00 d
ORS Vintecinco	C 1,08 $\pm$ 0,00 h	B 1,32 $\pm$ 0,01 h	A 1,35 $\pm$ 0,00 h	D 1,00 $\pm$ 0,00 f
TBIO Iguaçu	B 1,81 $\pm$ 0,06 cd	A 2,16 $\pm$ 0,02 b	A 2,18 $\pm$ 0,02 a	B 1,67 $\pm$ 0,03 c
TBIO Mestre	A 1,93 $\pm$ 0,04 ab	A 2,07 $\pm$ 0,01 c	A 1,91 $\pm$ 0,00 de	B 1,67 $\pm$ 0,08 c
TBIO Sintonia	B 2,01 $\pm$ 0,00 a	A 2,07 $\pm$ 0,00 c	B 1,99 $\pm$ 0,01 cd	C 1,73 $\pm$ 0,02 c
TBIO Sinuelo	A 1,78 $\pm$ 0,02 d	A 1,81 $\pm$ 0,00 e	A 1,85 $\pm$ 0,01 e	A 1,66 $\pm$ 0,10 c
TBIO Sossego	C 1,61 $\pm$ 0,00 e	A 1,76 $\pm$ 0,01 ef	B 1,68 $\pm$ 0,01 fg	D 1,39 $\pm$ 0,03 de
TBIO Toruk	AB 1,88 $\pm$ 0,02 bc	A 1,93 $\pm$ 0,01 d	AB 1,91 $\pm$ 0,01 de	B 1,83 $\pm$ 0,04 bc

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 ( $P < 0,05$ ). CDS = Cachoeira do Sul; STA = Santo Augusto; SAG = São Gabriel; VAC = Vacaria.

O menor conteúdo de carotenoides foi observado no genótipo ORS Vintecinco cultivado em VAC (1,00 $\mu\text{g/g}$ ), enquanto o valor máximo foi alcançado pelo genótipo CD 1303 cultivado em STA (2,48 $\mu\text{g/g}$ ).

Ndolo e Beta (2013) avaliaram o conteúdo de carotenoides nas frações farelo, endosperma e gérmen em grãos de quatro variedades de trigo mole. Neste estudo a fração do endosperma apresentou conteúdos de carotenoides entre 1,71-2,27 $\mu\text{g/g}$ .

## 5.2 Propriedades tecnológicas das farinhas de trigo

### 5.2.1 Amido danificado

O teor de amido danificado foi determinado através de um método que consiste em verificar a absorção de iodo pelos grânulos de amido, os dados obtidos pela análise das farinhas de trigo estão apresentados na Figura 12. Os genótipos Marfim e ORS Vintecinco apresentaram os menores valores de amido danificado, abaixo de

3,5% em todos os locais de cultivo (Figura 12). O restante dos genótipos avaliados apresentou valores entre 3,28 e 5,06% de amido danificado.

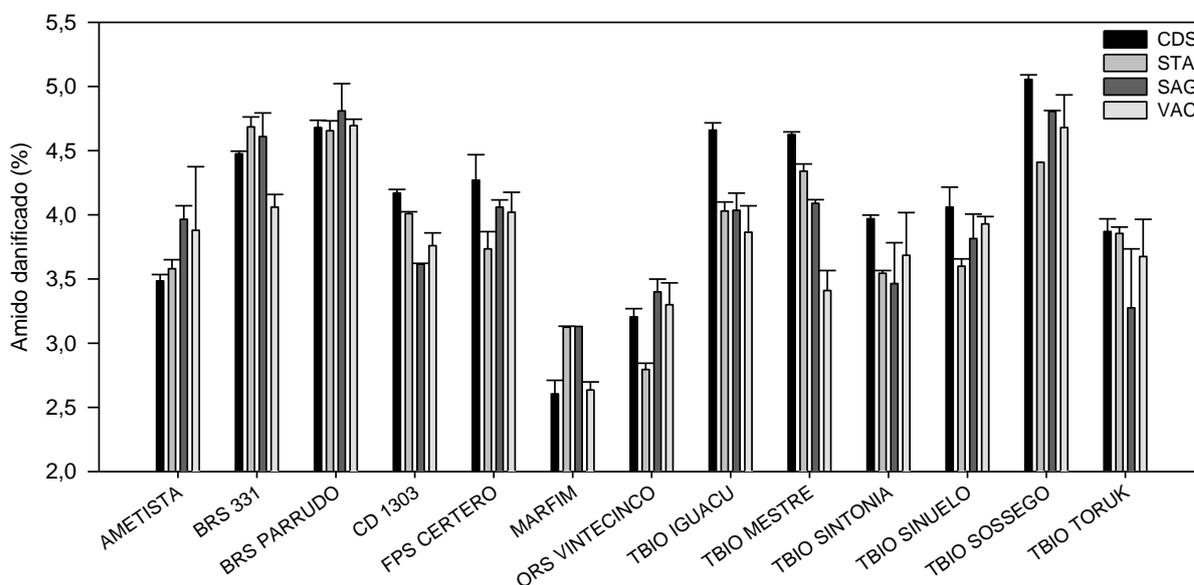


Figura 12 - Teor de amido danificado dos treze genótipos nos quatro locais de cultivo.

De acordo com Morris (2015), o amido pode ter sua qualidade alterada por meio de danos mecânicos aos grânulos de amido. Além de ser muito influenciado pela dureza do grão, o processo de moagem pode exercer grande impacto sobre o teor de amido danificado. Segundo Delcour e Hosney (2010), farinhas que contém muito amido danificado podem sofrer alterações em suas propriedades reológicas, além disso quando utilizadas na panificação podem induzir a mudanças na coloração, textura e volume dos produtos.

### 5.2.2 Glúten úmido e índice de glúten

Os resultados de glúten úmido e índice de glúten dos genótipos e locais de cultivo estão apresentados nas Figuras 13 e 14. Foram obtidos teores de 22,92 a 40,12% de glúten úmido entre todas as amostras analisadas. Os grãos produzidos em VAC apresentaram as maiores quantidades de glúten úmido, coincidindo com os resultados de teor de proteínas que os grãos de VAC apresentaram (Tabela 4).

O índice de glúten variou de 60,08 a 99,68% entre todos genótipos e locais de cultivo. Vale ressaltar que os valores mais baixos foram encontrados em grãos

produzidos VAC. Enquanto a variável glúten úmido é utilizada como um indicativo da quantidade de glúten, os valores de índice de glúten se referem a relação entre as proteínas gliadinas e gluteninas.

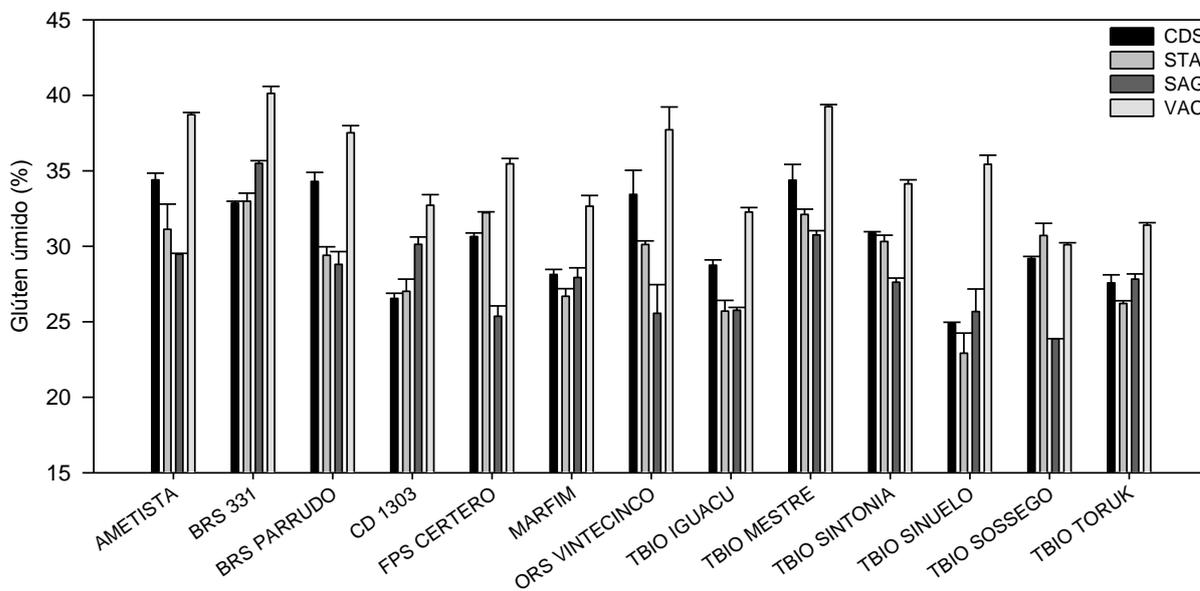


Figura 13 - Teor de glúten úmido dos treze genótipos de trigo produzidos nos quatro locais de cultivo.

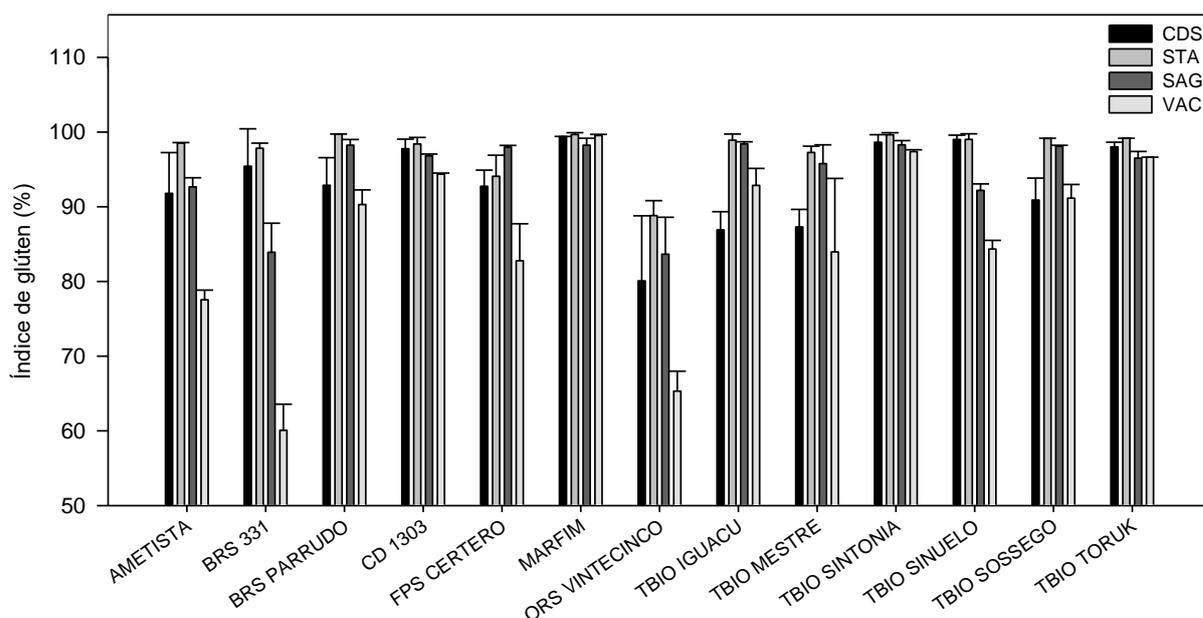


Figura 14 - Índice de glúten dos treze genótipos produzidos em quatro locais de cultivo.

Dados obtidos por Ortolan (2006), ao avaliar dez genótipos de trigo produzidos no Paraná, mostraram teores de glúten úmido variando entre 28,05 e 43,69%. Kehl (2013) determinou o teor de glúten úmido de seis cultivares de trigo cultivadas no Rio Grande do Sul. Seus resultados situaram-se na faixa de 28,31 e 35,47%.

Mellado (2006) relata que em farinhas que expressam índice de glúten acima de 90%, considera-se que tenham um glúten forte. Segundo Montenegro e Ormenese (2008), as farinhas de trigo podem ser classificadas da seguinte maneira de acordo com o índice de glúten: muito boa, quando o valor é superior a 90%; boa, quando o valor oscila entre 60 e 90%; média, quando entre 40 e 60%; e fraca, quando o índice de glúten é inferior a 40%. Levando esta classificação em consideração, a maioria dos genótipos estudados demonstrou ter qualidade “muito boa” em ao menos dois dos locais de cultivo, exceto o genótipo ORS Vintecinco, que apresentou valores abaixo de 90% nos quatro locais, e isto se deve porque o mesmo é considerado um trigo básico ou “trigo biscoito” de acordo com sua classificação comercial (Tabela 3).

### 5.2.3 Alveografia

As características viscoelásticas das farinhas de trigo foram determinadas através de teste em alveógrafo e são apresentadas nas Tabelas 11, 12 e 13.

Os resultados obtidos para a variável tenacidade (P) demonstraram diferenças significativas entre os genótipos estudados (Tabela 11). As farinhas provenientes do genótipo BRS Parrudo mostraram os maiores valores de P, situando seus resultados entre 29,33 e 53,67mm. O genótipo ORS Vintecinco apresentou P significativamente inferior aos demais genótipos (9,67-12,67mm), não diferindo seus resultados em função dos locais de cultivo. A tenacidade é um parâmetro utilizado para mensurar a resistência da massa, quanto maior seu valor maior a elasticidade da mesma, este resultado também é associado às proteínas gluteninas (ORTOLAN, 2006; DELCOUR e HOSENEY, 2010).

Observou-se uma grande variação para o parâmetro extensibilidade (L) entre os treze genótipos estudados, seus resultados oscilaram entre 52,33 e 226,67mm (Tabela 12). De acordo com Dong et al. (2009), a extensibilidade de uma massa é reponsabilidade da fração de gliadinas no glúten. Além disso, esse parâmetro tem sido utilizado como forma de predizer o volume que será obtido por um pão, pois o valor L representa a capacidade de extensão da massa sem que ocorra o rompimento.

Tabela 11 - Tenacidade dos treze genótipos nos quatro locais de cultivo.

Genótipos	P – tenacidade (mm)			
	CDS	STA	SAG	VAC
Ametista	B 36,33 ± 2,08 a	C 29,33 ± 1,53 de	C 28,67 ± 2,52 cde	A 42,33 ± 1,53 a
BRS 331	A 39,67 ± 1,53 a	A 39,00 ± 1,00 b	B 30,67 ± 1,15 bc	B 29,67 ± 1,53 de
BRS Parrudo	B 40,33 ± 2,31 a	A 53,67 ± 2,08 a	C 29,33 ± 3,21 bcd	B 39,67 ± 1,15 ab
CD 1303	AB 39,00 ± 3,00 a	C 32,67 ± 2,08 cd	BC 33,67 ± 1,53 ab	A 41,00 ± 2,00 ab
FPS Certero	B 24,00 ± 0,00 d	B 25,67 ± 0,58 e	B 25,67 ± 1,15 def	A 30,67 ± 3,06 cde
Marfim	AB 31,00 ± 0,00 b	BC 26,67 ± 3,06 e	C 24,33 ± 1,15 ef	A 36,00 ± 3,00 bc
ORS Vintecinco	A 11,67 ± 1,15 f	A 10,67 ± 1,15 g	A 9,67 ± 0,58 h	A 12,67 ± 1,53 f
TBIO Iguaçu	B 26,00 ± 1,00 cd	B 26,33 ± 1,15 e	B 26,67 ± 1,53 cdef	A 39,00 ± 2,65 ab
TBIO Mestre	B 28,67 ± 0,58 bc	A 36,33 ± 1,15 bc	B 30,00 ± 2,65 bcd	A 40,33 ± 1,53 ab
TBIO Sintonia	B 26,67 ± 0,58 cd	B 27,33 ± 2,08 e	B 28,00 ± 1,00 cde	A 32,00 ± 1,00 cd
TBIO Sinuelo	B 15,67 ± 1,15 ef	B 17,00 ± 1,00 f	B 18,67 ± 0,58 g	A 29,00 ± 2,00 de
TBIO Sossego	B 31,33 ± 1,15 b	C 26,00 ± 1,00 e	A 36,33 ± 1,53 a	A 35,67 ± 1,15 bc
TBIO Toruk	C 17,67 ± 0,58 e	A 26,33 ± 0,58 e	B 22,00 ± 0,00 fg	A 25,67 ± 2,08 e

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 ( $P < 0,05$ ).

CDS = Cachoeira do Sul; STA = Santo Augusto; SAG = São Gabriel; VAC = Vacaria.

Tabela 12 - Extensibilidade dos treze genótipos de trigo produzidos nos quatro locais de cultivo.

Genótipos	L – extensibilidade (mm)			
	CDS	STA	SAG	VAC
Ametista	C 57,33 ± 2,31 ef	A 127,67 ± 3,51 cde	B 80,67 ± 10,21 e	BC 72,00 ± 13,75 d
BRS 331	C 52,33 ± 3,06 f	A 122,33 ± 6,03 def	B 82,00 ± 15,59 e	BC 76,67 ± 9,87 cd
BRS Parrudo	B 55,33 ± 0,58 ef	A 100,00 ± 3,00 fg	A 119,00 ± 21,66 bcde	B 66,67 ± 8,02 d
CD 1303	A 73,67 ± 15,37 def	A 113,33 ± 12,10 defg	A 87,33 ± 24,50 de	A 86,67 ± 4,93 cd
FPS Certero	A 170,33 ± 9,87 b	B 126,67 ± 11,85 cde	C 55,33 ± 0,58 e	C 63,67 ± 6,81 d
Marfim	A 187,00 ± 43,86 ab	A 135,00 ± 4,36 cd	A 159,67 ± 20,21 abc	A 206,00 ± 56,56 a
ORS Vintecinco	A 226,67 ± 18,04 a	A 213,33 ± 14,15 a	A 213,00 ± 39,51 a	A 201,33 ± 37,07 a
TBIO Iguaçu	B 99,67 ± 9,50 de	B 106,00 ± 10,15 efg	A 148,00 ± 5,00 abcd	C 74,67 ± 7,23 cd
TBIO Mestre	B 104,67 ± 10,79 cd	B 93,00 ± 6,08 g	A 148,67 ± 9,50 abcd	C 63,67 ± 5,69 d
TBIO Sintonia	A 161,67 ± 10,02 b	A 152,33 ± 10,02 c	A 181,33 ± 38,50 ab	A 169,67 ± 46,80 ab
TBIO Sinuelo	AB 150,00 ± 6,24 bc	A 185,67 ± 8,02 b	C 94,33 ± 7,09 de	BC 116,67 ± 33,32 bcd
TBIO Sossego	B 67,33 ± 3,51 def	A 113,67 ± 8,39 defg	B 58,67 ± 5,51 e	B 64,33 ± 8,08 d
TBIO Toruk	A 109,67 ± 9,29 cd	A 118,00 ± 7,00 defg	A 113,00 ± 34,70 cde	A 152,00 ± 26,85 abc

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 ( $P < 0,05$ ).

CDS = Cachoeira do Sul; STA = Santo Augusto; SAG = São Gabriel; VAC = Vacaria.

Tabela 13 - Força de glúten dos treze genótipos de trigo produzidos nos quatro locais de cultivo.

Genótipos	W – força de glúten ( $10^{-4}$ J)			
	CDS	STA	SAG	VAC
Ametista	C102,33 ± 0,58 <sup>d</sup>	A185,67 ± 13,61 <sup>cd</sup>	BC112,00 ± 7,00 <sup>cdef</sup>	AB147,00 ± 28,51 <sup>c</sup>
BRS 331	B99,67 ± 4,04 <sup>d</sup>	A232,33 ± 19,35 <sup>ab</sup>	B123,67 ± 21,55 <sup>bcdef</sup>	B112,00 ± 18,25 <sup>c</sup>
BRS Parrudo	C107,00 ± 5,20 <sup>d</sup>	A264,67 ± 8,50 <sup>a</sup>	B158,33 ± 11,59 <sup>abcd</sup>	C127,67 ± 15,53 <sup>c</sup>
CD 1303	A129,67 ± 19,73 <sup>d</sup>	A184,67 ± 30,92 <sup>cd</sup>	A142,67 ± 33,13 <sup>abcde</sup>	A172,67 ± 12,58 <sup>bc</sup>
FPS Certero	A197,67 ± 11,15 <sup>bc</sup>	B159,33 ± 19,40 <sup>de</sup>	C68,33 ± 3,79 <sup>f</sup>	C95,67 ± 17,39 <sup>c</sup>
Marfim	AB292,00 ± 69,86 <sup>a</sup>	B162,67 ± 16,80 <sup>cde</sup>	B185,33 ± 26,95 <sup>a</sup>	A356,33 ± 90,58 <sup>a</sup>
ORS Vintecinco	A118,33 ± 11,37 <sup>d</sup>	A110,67 ± 5,03 <sup>f</sup>	B68,67 ± 4,04 <sup>f</sup>	A101,67 ± 5,51 <sup>c</sup>
TBIO Iguaçu	A128,33 ± 16,62 <sup>d</sup>	A132,33 ± 11,02 <sup>ef</sup>	A171,67 ± 14,05 <sup>abc</sup>	A141,67 ± 22,81 <sup>c</sup>
TBIO Mestre	BC148,67 ± 13,61 <sup>cd</sup>	AB165,67 ± 8,33 <sup>cde</sup>	A183,00 ± 17,52 <sup>ab</sup>	C124,00 ± 9,17 <sup>c</sup>
TBIO Sintonia	A216,67 ± 12,90 <sup>b</sup>	A203,00 ± 6,93 <sup>bc</sup>	A199,00 ± 35,55 <sup>a</sup>	A252,33 ± 61,46 <sup>b</sup>
TBIO Sinuelo	BC114,33 ± 8,39 <sup>d</sup>	A159,33 ± 7,02 <sup>de</sup>	C87,00 ± 5,00 <sup>ef</sup>	AB153,00 ± 29,14 <sup>bc</sup>
TBIO Sossego	B102,33 ± 8,02 <sup>d</sup>	A148,00 ± 7,00 <sup>def</sup>	B103,00 ± 7,94 <sup>def</sup>	B110,67 ± 14,05 <sup>c</sup>
TBIO Toruk	B100,33 ± 5,86 <sup>d</sup>	AB148,00 ± 10,44 <sup>def</sup>	B113,67 ± 30,89 <sup>cdef</sup>	A183,67 ± 17,39 <sup>bc</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 ( $P < 0,05$ ).

CDS = Cachoeira do Sul; STA = Santo Augusto; SAG = São Gabriel; VAC = Vacaria.

A força de glúten ( $W$ ) variou significativamente ( $P \leq 0,05$ ) entre genótipos e locais (Tabela 13). As maiores médias de  $W$  foram reportadas pelo genótipo Marfim, alcançando  $356,33 \times 10^{-4}$ J quando cultivado em VAC. Segundo Gutkoski et al. (2008), o  $W$  está diretamente relacionado com a capacidade e qualidade de panificação das farinhas. Este parâmetro também é utilizado para determinar a classe das farinhas de trigo, conforme é demonstrado na Tabela 2. No presente estudo, obteve-se uma diversidade nos resultados de  $W$ , capaz de enquadrar amostras nas quatro classes estabelecidas pela legislação.

#### 5.2.4 Número de queda

O número de queda variou de 153,00 a 353,50s entre todas as amostras analisadas (Figura 15), ambos extremos foram encontrados em farinhas provenientes de grãos cultivados em VAC. Genótipos como Ametista, BRS 331, BRS Parrudo e CD 1303 apresentaram resultados de número de queda extremamente influenciados pelas condições ambientais, e ao contrário destes, os genótipos FPS Certero, TBIO Iguaçu e TBIO Sossego demonstraram certa estabilidade nos quatro locais de cultivo, situando seus valores sempre acima de 300s (Figura 15).

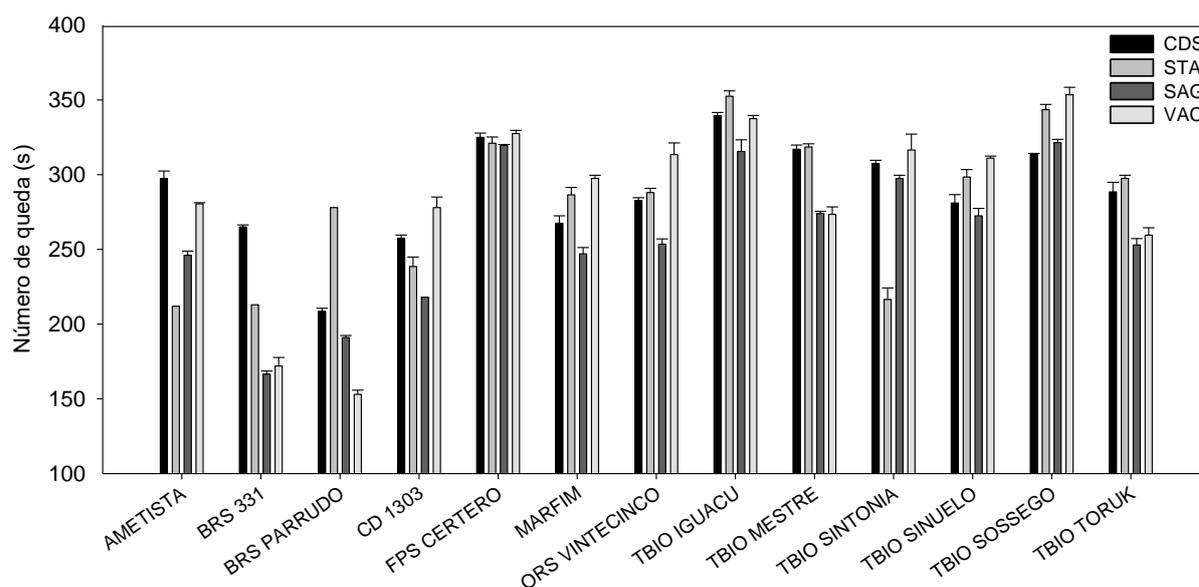


Figura 15 - Número de queda dos treze genótipos nos quatro locais de cultivo.

Segundo Gutkoski et al. (2011), valores altos de número de queda indicam que há menor atividade de enzimas amilolíticas nas farinhas de trigo. Tanto o excesso quanto a escassez de enzimas, neste caso  $\alpha$ -amilase, pode interferir significativamente no processo de panificação, alterando as propriedades tecnológicas desses produtos.

### 5.2.5 Propriedades de pasta

As propriedades viscoamilográficas das farinhas de trigo, pico de viscosidade, quebra e retrogradação, estão apresentadas na Figura 16.

O pico de viscosidade teve variações significativas entre os genótipos e também nos diferentes locais de cultivo. Enquanto o valor máximo alcançado foi de 226,42RVU, o menor pico ficou em 32,38RVU (Figura 16A). Os resultados expressaram uma forte correlação com aqueles encontrados na análise de número de queda ( $P < 0,0001$ ;  $R^2 = 0,85$ ), mostrando que quanto menor a atividade enzimática, maior é o pico de viscosidade das farinhas. O pico de viscosidade (ou viscosidade máxima) é um parâmetro que está relacionado a capacidade de absorção de água pelo amido. A redução do pico de viscosidade geralmente é associada ao menor grau de intumescimento dos grânulos de amido (COLLAR, 2003; SYMONS e BRENNAN, 2004).

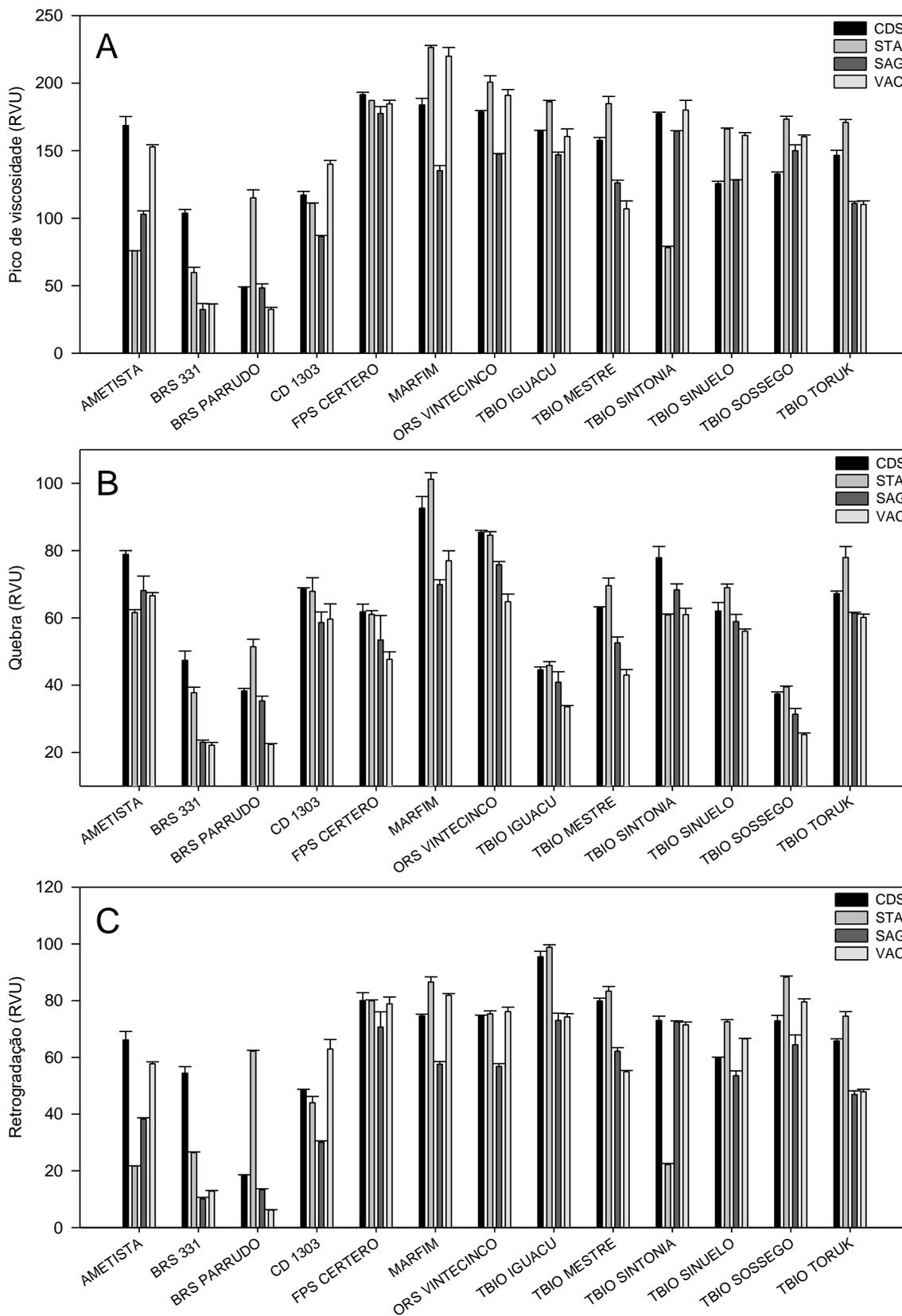


Figura 16 - Propriedades viscoamilográficas dos treze genótipos nos quatro locais de cultivo: pico de viscosidade (A), quebra (B) e retrogradação (C).

Os valores de quebra de viscosidade variaram significativamente nas amostras analisadas, conforme demonstra a Figura 16B. Os genótipos BRS 331, BRS Parrudo e TBIO Sossego apresentaram os três menores resultados encontrados para este estudo, oscilando entre 22,17 e 25,34RVU. Marfim obteve os maiores resultados de quebra, exibindo valor de 101,21RVU quando foi cultivado em STA. A quebra de viscosidade é causada devido a ruptura dos grânulos de amido intumescidos, por isso este parâmetro, geralmente, é associado à estabilidade ao aquecimento do amido (ROJAS et al., 1999; LEON et al., 2010). Singh et al. (2011) relataram que valores menores de quebra de viscosidade indicam melhor resistência ao cisalhamento.

A tendência à retrogradação é medida durante o resfriamento da amostra, onde ocorre a reorganização das moléculas de amilose e amilopectina (RAGAE e ABDEL-AAL, 2006). No presente estudo, foram observadas variações significativas quanto a retrogradação do amido (Figura 16C), inclusive alguns genótipos apresentaram comportamentos completamente diferentes em função do local de cultivo. A tendência a retrogradação também foi correlacionada positivamente com o número de queda das amostras ( $P < 0,0001$ ;  $R^2 = 0,94$ ).

Os parâmetros viscosidade mínima (VM) e viscosidade final (VF) não foram demonstrados no estudo devido à alta correlação que tiveram com o parâmetro pico de viscosidade (VM:  $R^2=0,93$  e VF:  $R^2=0,95$ ), desta forma apresentaram resultados que seguiram a mesma tendência, porém estes dados foram utilizados na análise multivariada. Em ambos parâmetros os menores valores foram observados no genótipo BRS 331 e os maiores no genótipo Marfim. Os menores valores de VM e VF, foram 9,34 e 19,50RVU e os mais altos foram 142,96 e 224,88RVU, respectivamente.

### **5.3 Discriminação da qualidade de trigo em função dos genótipos e dos locais de cultivo**

Os treze genótipos de trigo foram analisados por análise de componentes principais (PCA) para discriminar sua qualidade nos quatro diferentes locais de cultivo. Os dados utilizados para realizar a análise de componentes principais foram obtidos a partir de análises da composição proximal dos grãos e análises relacionadas à qualidade da farinha.

Em relação às análises de qualidade da farinha, foram considerados: rendimento de extração de farinha, teor de glúten úmido, índice de glúten,

propriedades viscoelásticas por alveografia, teor de amido danificado, número de queda e propriedades de pasta (RVA).

Nas Figuras 17 e 18, são apresentados um gráfico bidimensional para cada um dos genótipos estudados, a fim de discriminá-los de acordo com as características acima mencionadas.

Dependendo dos genótipos, as somas dos componentes principais 1 e 2 (PC1 e PC2) foram responsáveis por explicar entre 88,3% (Figura 18A) e 99% (Figura 17E) de variação nos quatro locais de cultivo. Entretanto, não foi possível visualizar nenhum padrão na distribuição das localidades em relação às variáveis discriminantes nos diferentes genótipos. Como exemplo, para os genótipos BRS Parrudo (Figura 17C) e Marfim (Figura 17F) os valores de força do glúten (W) foram o principal motivo para a separação dos locais.

A determinação das variáveis responsáveis pela discriminação de localidades foi obtida por meio de valores de importância da variável na projeção (VIP) superiores a 1,0 (dados não apresentados). Em geral, a viscosidade final, W, número de queda e extensibilidade da massa foram as principais variáveis que influenciaram a discriminação mostrada nas Figuras 17 e 18.

Enquanto BRS Parrudo alcançou um valor de W de  $264,67 \times 10^{-4} \text{J}$  e  $127,64 \times 10^{-4} \text{J}$  quando cultivados em STA e VAC, respectivamente, o genótipo Marfim apresentou  $162,67 \times 10^{-4} \text{J}$  e  $356,33 \times 10^{-4} \text{J}$  quando cultivados em STA e VAC (Tabela 13). Vázquez et al. (2012) investigaram os efeitos do genótipo, ambiente e interação genótipo-ambiente na qualidade de 23 genótipos de trigo latino-americanos. Os autores relataram uma grande variabilidade nos parâmetros avaliados, que foram muito influenciados pelo ambiente. O teor de glúten úmido, a força de glúten e a extensibilidade da massa foram relatados como as principais variáveis discriminantes, o que está de acordo com os resultados apresentados no presente estudo.

Os mesmos atributos de qualidade citados acima para a discriminação de genótipos em função da localidade foram submetidos a outra análise multivariada para diferenciar os genótipos dentro de cada um dos quatro locais de cultivo. As plotagens do PCA e a pontuação VIP do PLS-DA são apresentadas nas Figuras 19 e 20.

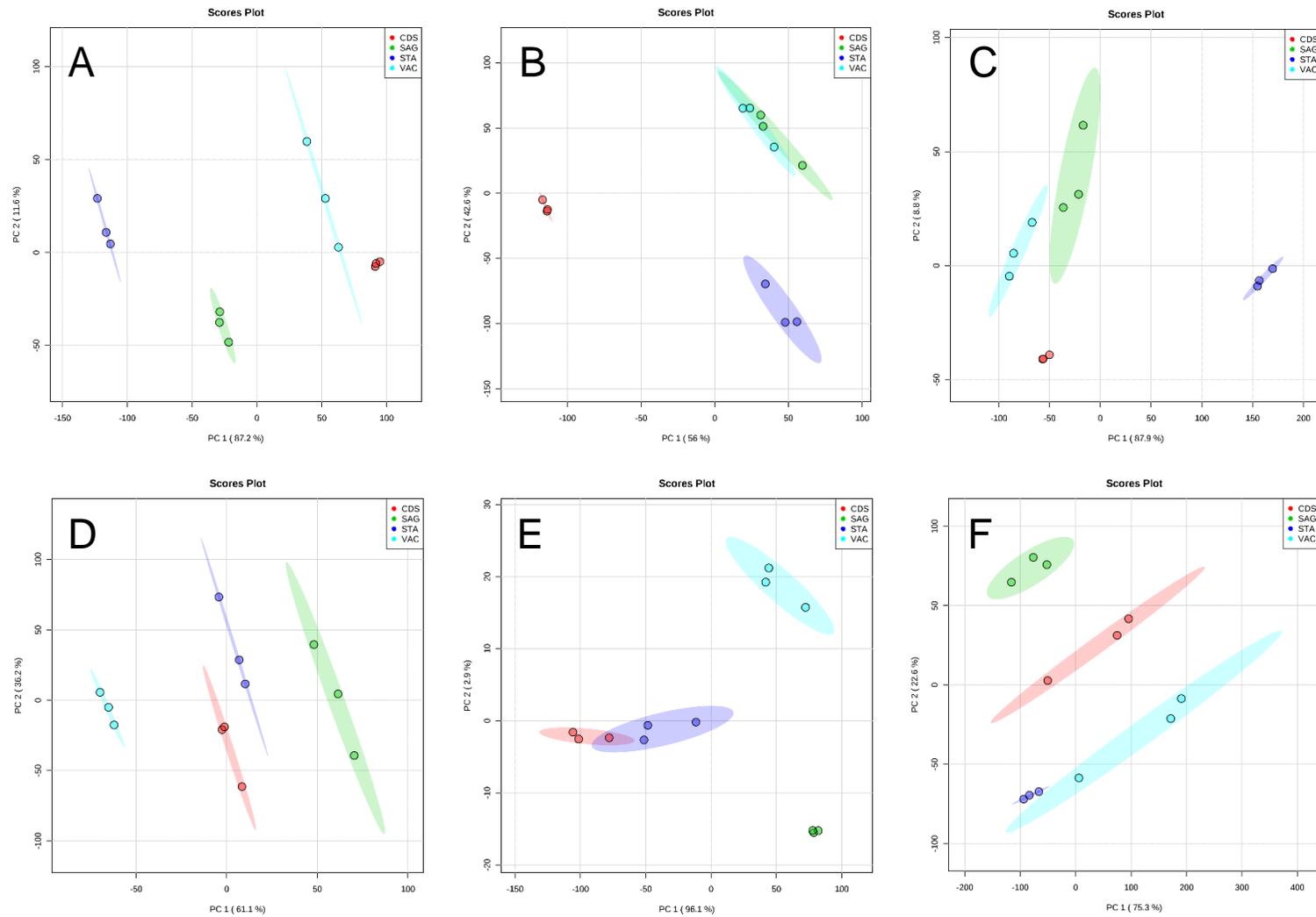


Figura 17 - PCA das análises de qualidade de grãos e farinhas dos genótipos de trigo cultivados em diferentes localidades: Cachoeira do Sul (CDS), Santo Augusto (STA), São Gabriel (SAG) e Vacaria (VAC). Os seguintes genótipos são apresentados: Ametista (A), BRS 331 (B), BRS Parrudo (C), CD 1303 (D), FPS Certero (E) e Marfim (F).

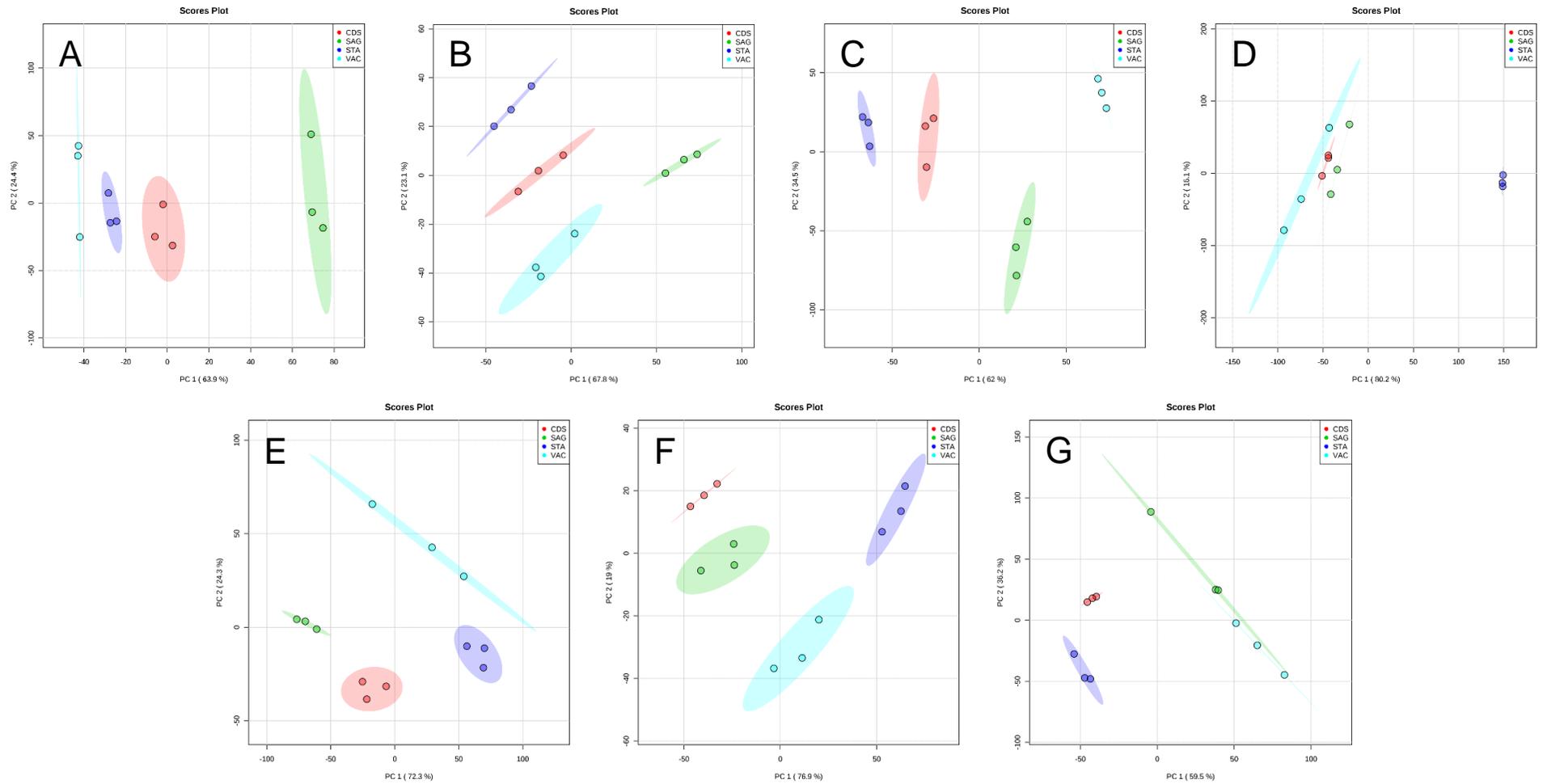


Figura 18 - PCA das análises de qualidade de grãos e farinhas dos genótipos de trigo cultivados em diferentes localidades: Cachoeira do Sul (CDS), Santo Augusto (STA), São Gabriel (SAG) e Vacaria (VAC). Os seguintes genótipos são apresentados: ORS Vintecincin (A), TBIO Iguazu (B), TBIO Mestre (C), TBIO Sintonia (D), TBIO Sinuelo (E), TBIO Sossego (F) e TBIO Toruk (G).

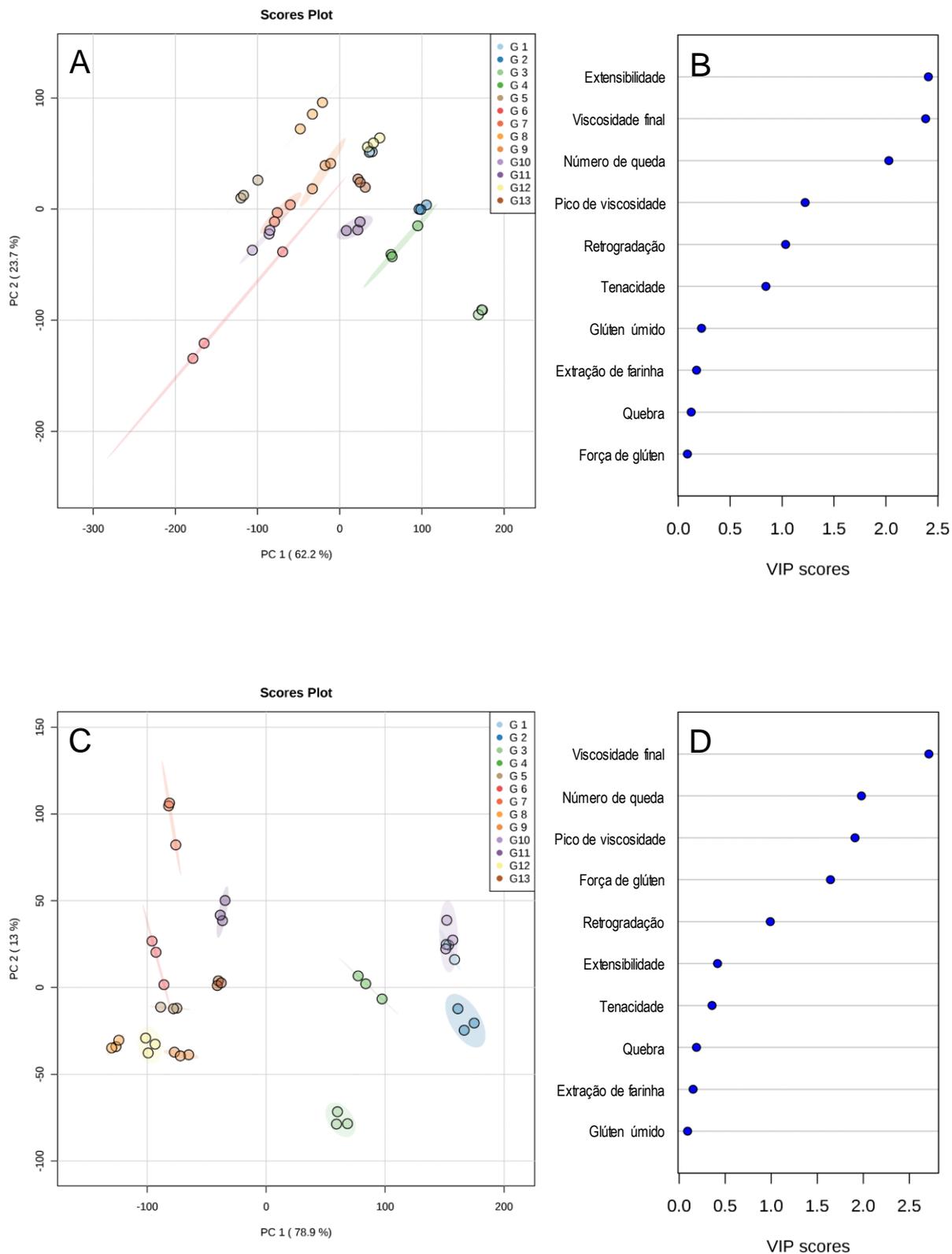


Figura 19 - PCA e score VIP da análise de PLS-DA. Cachoeira do Sul (A, B) e Santo Augusto (C, D). G1 = Ametista; G2 = BRS 331; G3 = BRS Parrudo; G4 = CD 1303; G5 = FPS Certo; G6 = Marfim; G7 = ORS Vintecinco; G8 = TBIO Iguaçú; G9 = TBIO Mestre; G10 = TBIO Sintonia; G11 = TBIO Sinuelo; G12 = TBIO Sossego; G13 = TBIO Toruk.

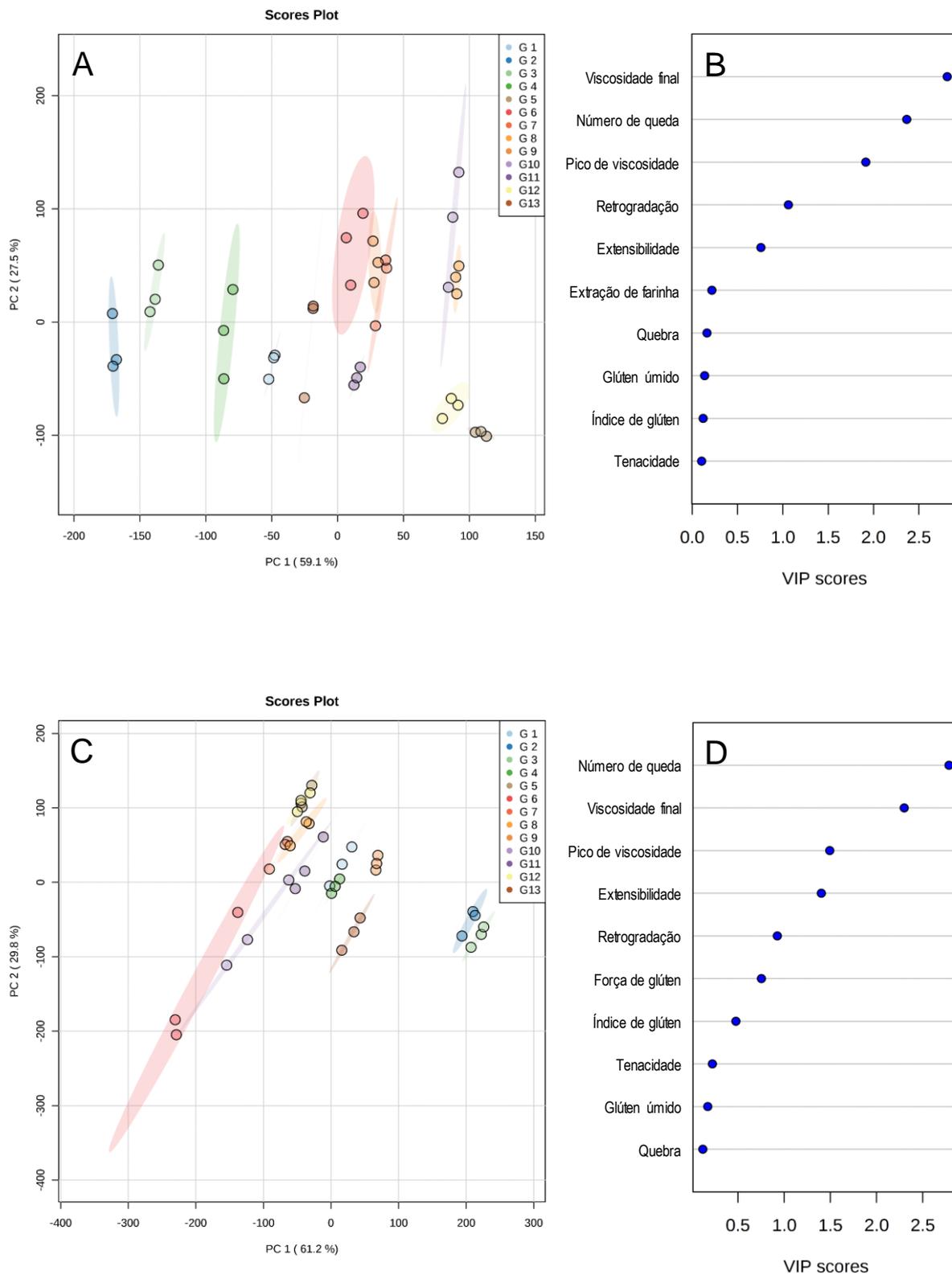


Figura 20 - PCA e score VIP da análise de PLS-DA. São Gabriel (A, B) e Vacaria (C, D).  
 G1 = Ametista; G2 = BRS 331; G3 = BRS Parrudo; G4 = CD 1303; G5 = FPS Certero; G6 = Marfim;  
 G7 = ORS Vintecinco; G8 = TBIO Iguçu; G9 = TBIO Mestre; G10 = TBIO Sintonia; G11 = TBIO  
 Sinuelo; G12 = TBIO Sossego; G13 = TBIO Toruk.

O trigo de CDS apresentou a extensibilidade como principal variável responsável por discriminar as amostras (Figura 19A-B), enquanto que STA e SAG exibiram a viscosidade final como a principal variável responsável por discriminar as amostras (Figuras 19C-D e 20A-B). Por fim, a discriminação de genótipos na localização de VAC foi influenciada principalmente pelo número de queda (Figura 20C-D).

As maiores diferenças entre os 13 genótipos no PCA foram observadas para os grãos cultivados em STA, o que pode ser verificado pela separação espacial dos genótipos na plotagem, além da explicação de 91,9% da variabilidade através dos componentes principais (PC1 e PC2) (Figura 19C). As variabilidades totais de PC1 e PC2 observadas nas Figuras 19 e 20 são muito superiores às observadas por Mutwali et al. (2015). Esses autores discriminaram os atributos de qualidade de vinte genótipos de trigo cultivados em três locais do Sudão, relatando 63,23% da variabilidade total para a análise biplot de PCA.

Considerando as maiores diferenças qualitativas do trigo colhido em STA em relação a CDS, SAG e VAC, as amostras de STA foram selecionadas para a próxima etapa do presente estudo, visando avaliar a qualidade dos grãos quando destinados ao consumo humano na forma de grãos íntegros cozidos.

## **5.4 Caracterização da qualidade dos grãos para o processo de cocção**

### **5.4.1 Peso de mil grãos**

O peso de mil grãos (PMG) de todos os genótipos variou de 29,40 a 35,61g, sendo BRS Parrudo e TBIO Toruk os genótipos que apresentaram os maiores resultados (Figura 21). Nenhuma diferença estatística ( $P \leq 0,05$ ) foi observada entre BRS Parrudo e TBIO Toruk em relação ao peso de mil grãos.

O peso de mil grãos é comumente utilizado para classificar o trigo de acordo com o seu tamanho (GUTKOSKI et al., 2008). Ortolan (2006) observou que o peso de mil grãos é influenciado tanto por fatores genéticos como por condições de cultivo.

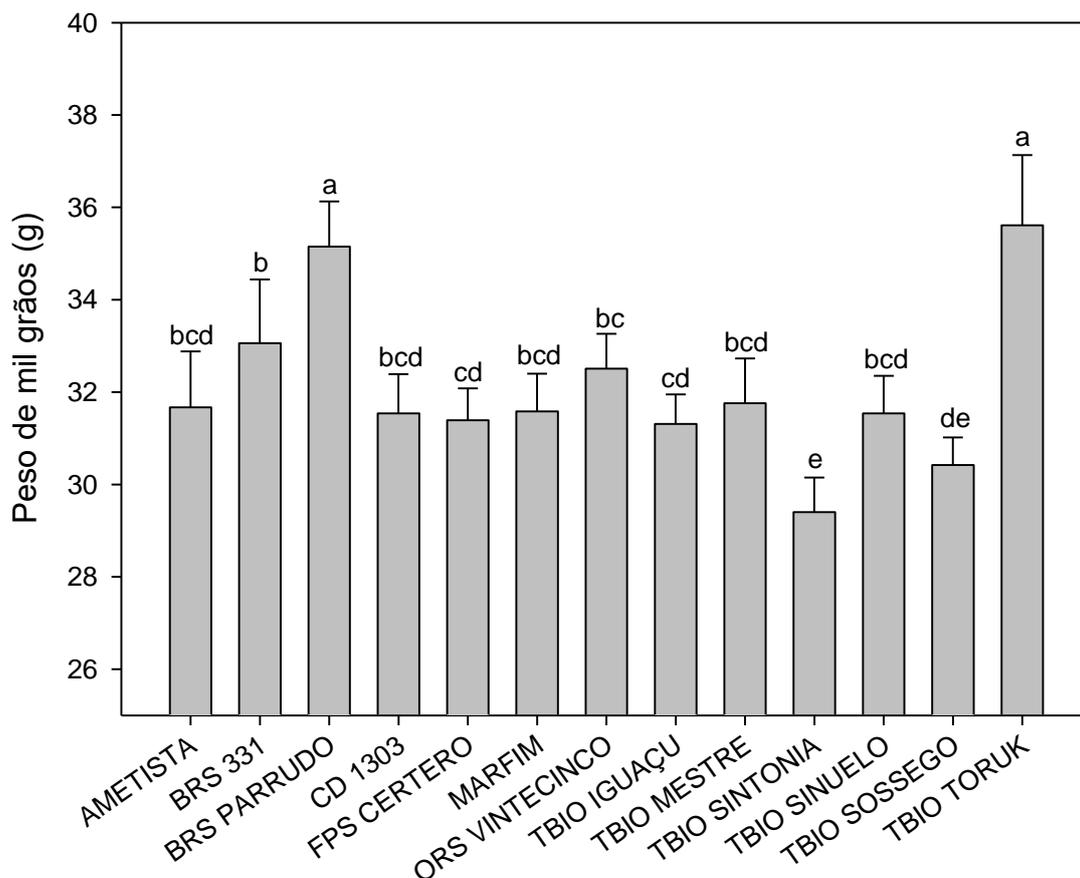


Figura 21 - Peso de mil grãos dos treze genótipos cultivados em Santo Augusto.

#### 5.4.2 Tempo de cocção

Grãos de trigo do genótipo TBIO Toruk apresentaram o maior tempo de cocção (36,92min). O menor valor de tempo de cocção (26,96min) foi apresentado por TBIO Sossego; entretanto, não houve diferença significativa ( $P > 0,05$ ) entre este genótipo e Ametista, BRS 331, BRS Parrudo, TBIO Iguaçu, TBIO Mestre, TBIO Sintonia e TBIO Sinuelo (Figura 22). O tempo de cocção estabelecido para TBIO Toruk pode estar associado ao alto teor de amido de 59,97% (Tabela 8) e ao alto PMG de 35,61g observado para esse genótipo (Figura 21), o que indica que TBIO Toruk apresentou grãos com maior tamanho e maior acúmulo de massa seca.

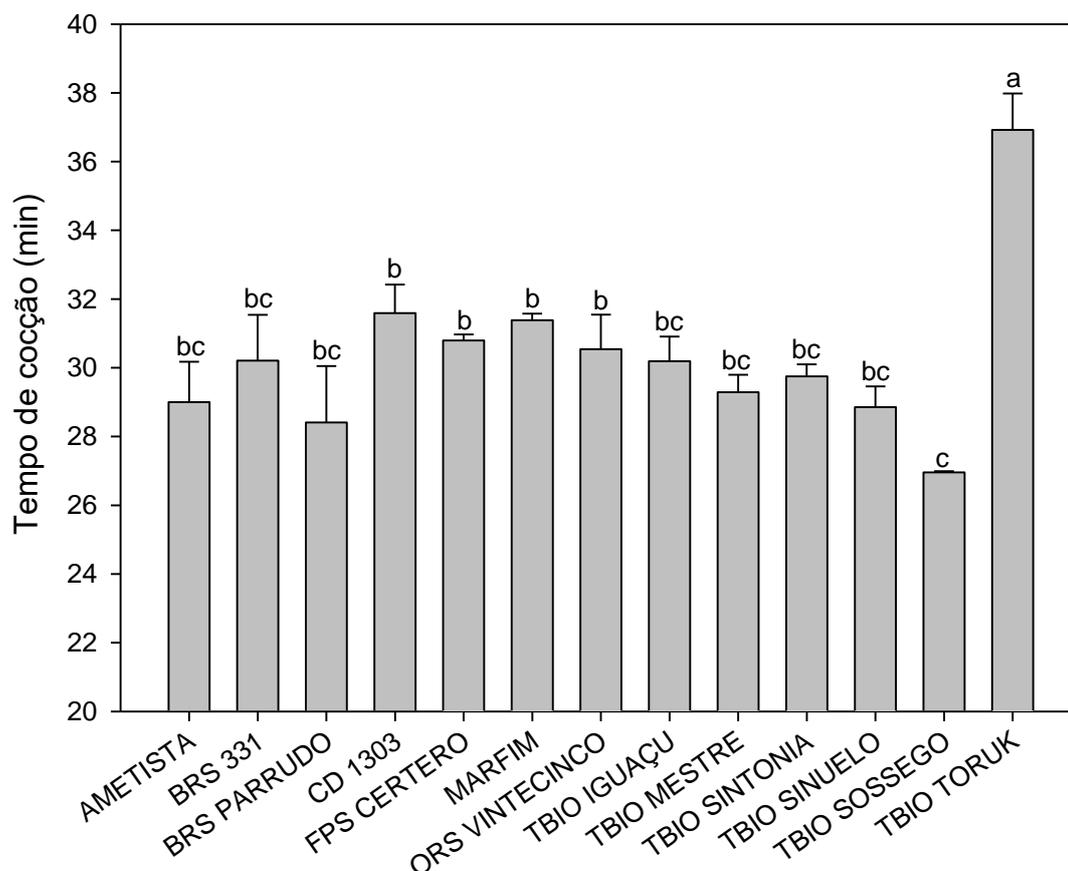


Figura 22 - Tempo de cocção dos treze genótipos cultivados em Santo Augusto.

Dittgen et al. (2019) avaliaram o tempo de cocção de genótipos de arroz preto cultivados em diferentes locais e observaram que quanto maior o teor de amilose dos genótipos de arroz, maior foi o tempo de cocção. Essa informação coincide com os resultados encontrados no presente estudo, uma vez que TBIO Toruk apresentou 28,11% de amilose, que é maior ( $P \leq 0,05$ ) em relação ao TBIO Sossego, por exemplo, com 25,25% (Tabela 9). Além disso, é importante destacar que o tempo de cozimento não é afetado por um único fator, mas sim por aspectos multivariados que incluem teor de amido, o peso do hectolitro (PH), o PMG, o teor de amilose, o teor de proteína, o teor de fibras e o índice de glúten.

### 5.4.3 Grãos danificados

Após o cozimento, o pericarpo dos grãos de trigo pode apresentar uma ruptura longitudinal que prejudica a superfície do grão. Estes tipos de grãos danificados foram separados e quantificados (Figura 23). BRS 331 destaca-se apresentando 25,29% de grãos danificados, enquanto os genótipos CD 1303, TBIO Mestre, TBIO Sintonia e TBIO Sossego apresentaram apenas 4,60, 5,59, 5,71 e 3,62% de grãos com pericarpo danificado.

As razões para as diferenças observadas nos grãos danificados ainda são desconhecidas, mas é provável que os consumidores de cereais integrais sejam seletivos para esses grãos danificados, o que pode depreciar determinados lotes.

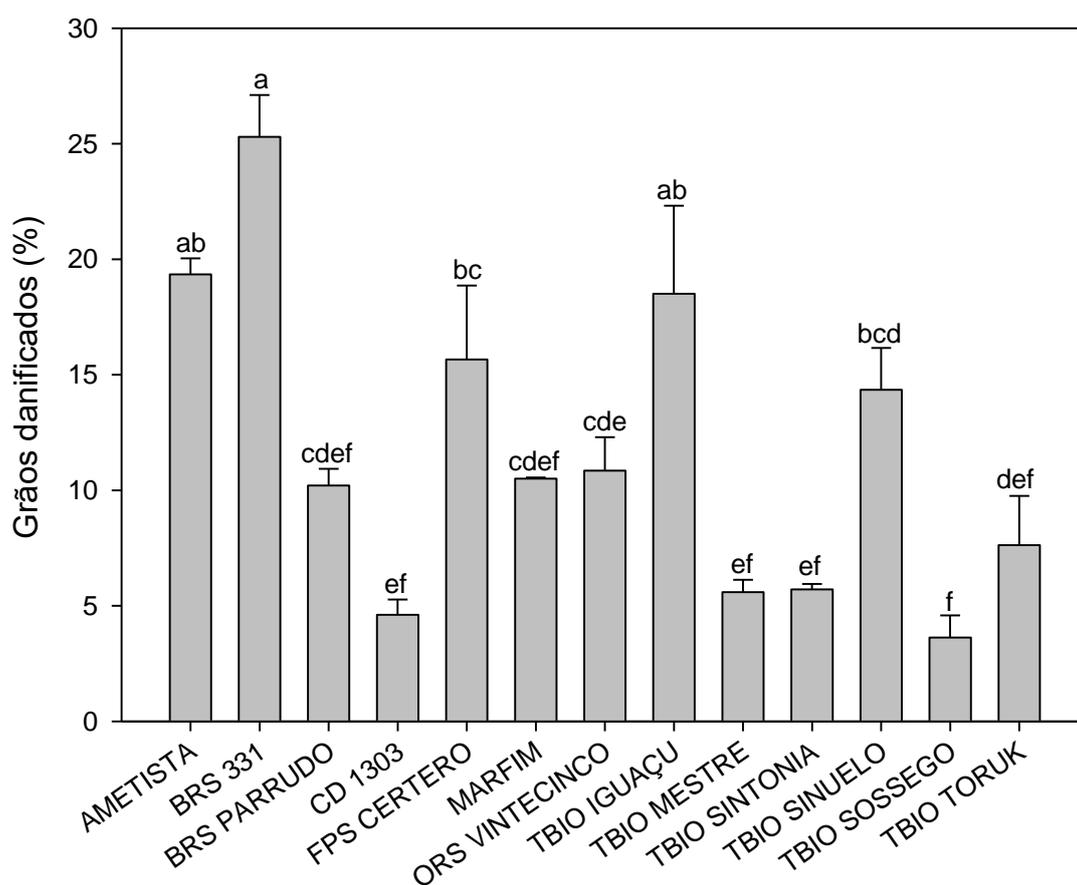


Figura 23 - Percentual de grãos danificados após a cocção dos treze genótipos cultivados em Santo Augusto.

#### 5.4.4 Dureza

A dureza do trigo cozido variou de 145,00 a 193,37N (Figura 24). No presente estudo, os resultados de dureza não mostraram uma correlação positiva ( $P = 0,08$ ,  $R^2 = -0,49$ ) com o teor de fibras (Tabela 6). TBIO Sintonia apresentou o menor valor de dureza de 145,00N, bem como o menor peso do hectolitro (PH) (73,75 kg/hL) e PMG (29,40g), em comparação aos demais genótipos estudados.

A dureza apresentou correlação positiva com PH ( $P = 0,02$ ,  $R^2 = 0,62$ ) e PMG ( $P = 0,003$ ,  $R^2 = 0,75$ ) (dados não apresentados). O genótipo BRS Parrudo mostrou ser um genótipo mais duro, atingindo 193,37N de dureza após o cozimento.

Ao observar os resultados para a qualidade da farinha dos genótipos de trigo estudados, um alto W foi observado para BRS Parrudo ( $264,67 \times 10^{-4} J$ ) (Tabela 13), o que indica a presença de um endosperma com matriz proteica mais forte e insolúvel, o que conseqüentemente pode tornar esses grãos mais duros, mesmo após a cocção. A dureza do trigo cozido e o W apresentaram correlação positiva ( $P = 0,003$ ,  $R^2 = 0,58$ ).

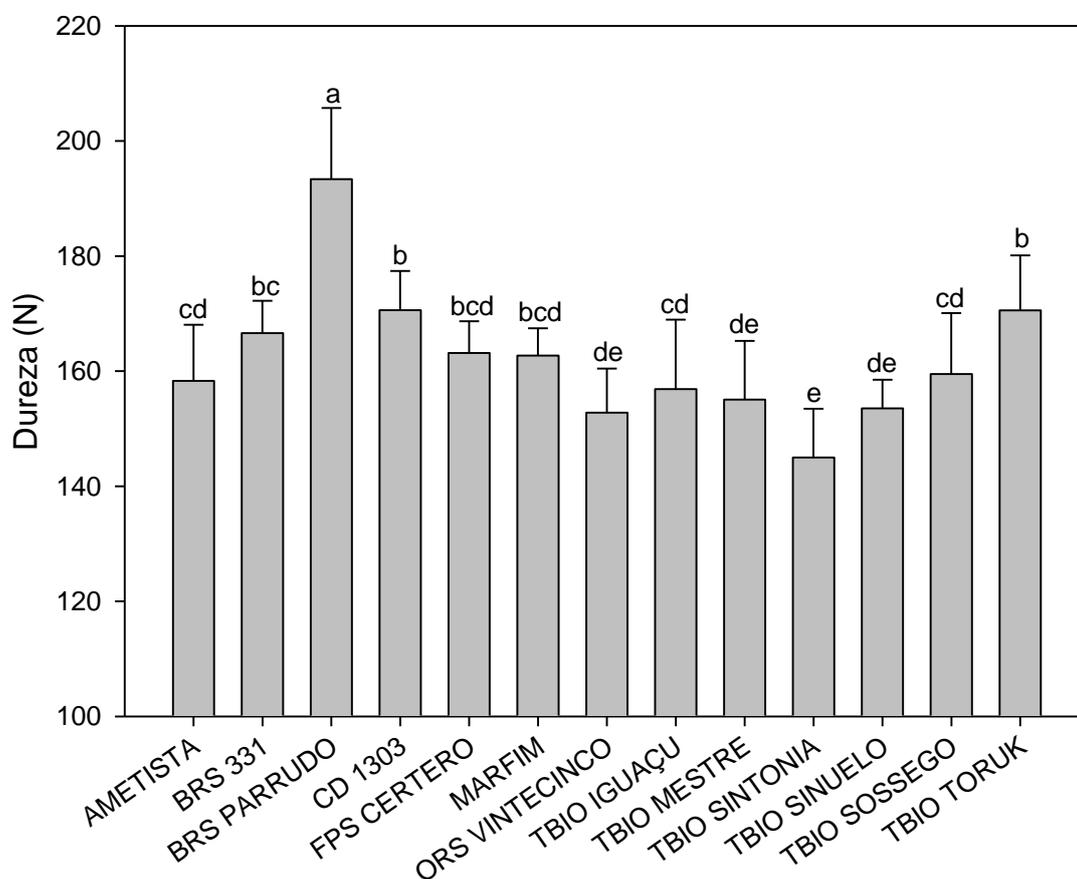


Figura 24 - Dureza dos treze genótipos cultivados em Santo Augusto.

Segundo Pasha, Anjum e Morris (2010), o tamanho de grão é um fator físico que pode afetar a dureza dos grãos, enquanto o teor de proteína e as propriedades proteicas são os principais fatores químicos que influenciam na dureza do trigo. Segundo os autores, o arranjo da matriz proteica pode interferir na dureza dos grãos, influenciando no grau de adesão entre os grânulos de amido e a proteína. Em resumo, como relata-se os fatores que influenciam no tempo de cozimento do trigo, é importante destacar que a dureza do trigo cozido é altamente impactada por aspectos multivariados que incluem PH, PMG, teor de proteínas e W.

#### **5.4.5 Perfil colorimétrico**

Os valores de luminosidade (L),  $a^*$  e  $b^*$  dos grãos de trigo avaliados como grãos crus ou cozidos estão apresentados na Tabela 14.

O escurecimento que ocorre após o cozimento do trigo é resultado da reação de Maillard (CLAWSON e TAYLOR, 1993). O valor de L foi reduzido após o cozimento ( $P \leq 0,05$ ), variando de 45,02-55,97 a 36,35-39,85, dependendo do genótipo (Tabela 14). Em geral, não houve grandes variações nos resultados do valor  $a^*$ . Valores maiores indicam amostras mais avermelhadas. Para a maior parte dos genótipos estudados, o valor  $b^*$  reduziu significativamente ( $P \leq 0,05$ ) após o cozimento, exceto para os genótipos BRS 331, BRS Parrudo e TBIO Sintonia. A redução observada (19,13-23,30 a 18,00-20,46) indica que esses grãos tenderam a amarelar após o processo de cocção.

Tabela 14 - Perfil colorimétrico dos grãos de trigo, antes e após a cocção, dos treze genótipos cultivados em Santo Augusto.

Genótipos	L*		a*		b*	
	Cru	Cozido	Cru	Cozido	Cru	Cozido
Ametista	55,01 ± 2,06 a*	37,03 ± 2,17 bc	5,76 ± 0,40 c*	6,24 ± 0,39 abcd	21,30 ± 1,02 cd*	19,49 ± 1,63 ab
BRS 331	47,25 ± 3,38 efg*	36,89 ± 1,78 bc	5,46 ± 0,40 c <sup>ns</sup>	5,38 ± 0,34 e	19,13 ± 1,38 f <sup>ns</sup>	18,90 ± 1,26 bc
BRS Parrudo	45,02 ± 2,23 g*	36,98 ± 2,25 bc	6,49 ± 0,51 ab*	6,11 ± 0,48 bcd	19,74 ± 1,16 ef <sup>ns</sup>	19,70 ± 1,35 ab
CD 1303	48,54 ± 2,75 def*	36,35 ± 2,01 c	6,65 ± 0,50 ab <sup>ns</sup>	6,61 ± 0,49 a	21,19 ± 1,24 cd*	19,71 ± 1,44 ab
FPS Certero	53,66 ± 2,80 ab*	36,99 ± 2,76 bc	5,65 ± 0,39 c*	6,37 ± 0,50 abc	20,93 ± 0,90 cde*	18,67 ± 1,62 bc
Marfim	50,54 ± 2,36 cd*	36,55 ± 1,47 bc	6,65 ± 0,50 ab <sup>ns</sup>	6,46 ± 0,44 ab	22,17 ± 1,25 abc*	19,30 ± 1,41 abc
ORS Vintecinco	55,97 ± 2,21 a*	39,84 ± 1,24 a	6,38 ± 0,39 b <sup>ns</sup>	6,21 ± 0,43 abcd	22,82 ± 1,29 ab*	19,83 ± 1,38 ab
TBIO Iguaçu	54,08 ± 2,95 ab*	37,49 ± 1,61 bc	5,89 ± 0,37 c <sup>ns</sup>	5,99 ± 0,44 bcd	22,16 ± 1,02 abc*	18,83 ± 1,36 bc
TBIO Mestre	46,20 ± 2,49 fg*	38,06 ± 1,76 abc	6,86 ± 0,47 a*	6,09 ± 0,44 bcd	20,47 ± 0,72 de*	19,60 ± 0,98 ab
TBIO Sintonia	54,36 ± 2,29 ab*	38,63 ± 1,81 ab	5,45 ± 0,35 c*	5,97 ± 0,49 cd	21,18 ± 0,98 cd <sup>ns</sup>	20,46 ± 1,43 a
TBIO Sinuelo	52,24 ± 3,06 bc*	36,88 ± 1,73 bc	5,85 ± 0,40 c <sup>ns</sup>	5,92 ± 0,45 cd	21,81 ± 1,51 bc*	19,23 ± 1,29 abc
TBIO Sossego	54,23 ± 2,29 ab*	36,60 ± 1,93 bc	5,74 ± 0,40 c <sup>ns</sup>	5,99 ± 0,47 bcd	20,90 ± 1,12 cde*	18,00 ± 1,39 c
TBIO Toruk	49,35 ± 2,33 de*	36,51 ± 2,66 c	6,70 ± 0,51 ab*	5,84 ± 0,43 de	23,30 ± 1,94 a*	19,15 ± 1,52 abc

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 os grãos crus e cozidos, enquanto a abreviação "ns" significa não significativo.

#### 5.4.6 Digestibilidade *in vitro*

A digestibilidade *in vitro* do amido foi determinada após o cozimento das amostras e a simulação da mastigação usando um processador de lâminas. As amostras de trigo estudadas foram agrupadas em duas categorias baseadas nas similaridades do comportamento de hidrólise do amido ao longo do procedimento de digestão: a primeira categoria consistiu em genótipos com menos de 60% de hidrólise de amido e a segunda categoria de genótipos com mais de 70% de hidrólise de amido ao final dos 120 minutos de digestão intestinal (Figuras 25A e 25B, respectivamente).

A digestibilidade gastrointestinal teve uma duração total de 150 minutos. Os três primeiros estágios, simulando a fase gástrica, apresentaram valores próximos a zero de hidrólise do amido para todos os genótipos de trigo. Isso está associado à ação exclusiva de uma enzima proteolítica nessa etapa (pepsina), onde seu principal objetivo é romper a matriz proteica para deixar os grânulos de amido mais expostos à digestão amilácea (BERG et al., 2012).

No início da fase intestinal simulada (I0), houve aumento na porcentagem de amido hidrolisado, uma vez que essa coleta foi realizada logo após a adição do fluido intestinal, que contém enzimas amilolíticas. Quando a fase intestinal começou (I0), houve um aumento para cerca de 6,42-26,54% em I0, dependendo do genótipo (Figura 25).

A digestibilidade aumentou exponencialmente ao longo do tempo para todos os genótipos, mas a partir do tempo I30 este aumento foi mais acentuado até atingir um patamar em 120min. No final do processo de digestão, dois grupos distintos de genótipos com curvas de digestão semelhantes foram observados. Os genótipos codificados como G1, G2, G3, G6 e G13 apresentaram hidrólise de amido variando de 51,93% a 58,13% (Figura 25A) enquanto os demais genótipos apresentaram valores variando entre 72,74% e 84,54% (Figura 25B).

Alsaffar (2010) avaliou a digestibilidade do amido do grão integral após o cozimento total ou parcial dos mesmos. Os autores relataram 57,6% e 66,8% de hidrólise de amido no final do processo de digestão para os grãos cozidos por 12 e 32min, respectivamente. No presente estudo, alguns genótipos ficaram abaixo e outros acima da digestão do amido de 66,8% relatada por Alsaffar (2010).

Este fato permite que as indústrias de trigo segreguem as cultivares de trigo, dependendo das taxas desejadas de digestão do trigo. Existem nichos de mercado

que buscam baixa e alta digestibilidade de alimentos ricos em amido. A mistura de grãos de trigo integral com saladas e arroz, ou mesmo a oferta de trigo cozido sozinho, tem se tornado usual em algumas regiões do mundo, e o conhecimento sobre as diferenças entre cultivares pode ser útil para indústrias e consumidores.

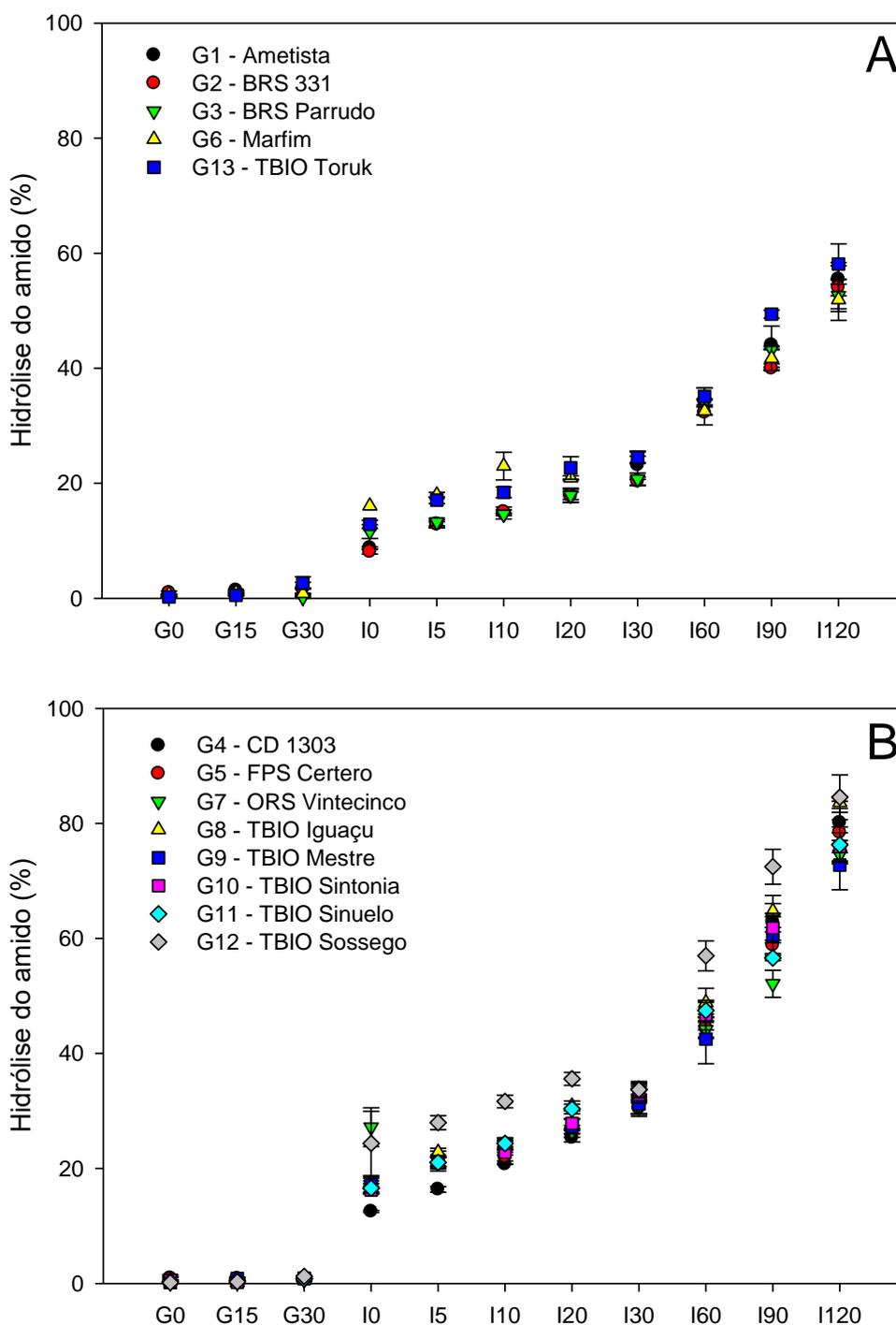


Figura 25 - Digestibilidade *in vitro* dos treze genótipos cultivados em Santo Augusto: genótipos com digestibilidade menor que 60% (A) e genótipos com digestibilidade maior que 70% (B).

## 6 Considerações finais

Os grãos produzidos em Vacaria expressaram os maiores teores de proteínas e menores de amido total. De modo geral, as propriedades tecnológicas da maioria dos genótipos foram muito dependentes dos locais de cultivo.

O presente estudo elucidou as diferenças de qualidade de farinhas e de grãos de genótipos de trigo brasileiros cultivados com manejo agrônômico igual em quatro regiões representativas da produção de trigo do Rio Grande do Sul, utilizando os recursos estatísticos de PCA, de PLS-DA e de pontuação VIP.

Os resultados das análises de qualidade de grãos cozidos revelaram as principais características do trigo que podem afetar o tempo de cozimento, o percentual de grãos danificados, a dureza do trigo cozido, as mudanças de cor durante o cozimento e a digestibilidade *in vitro* do amido.

O teor de amido, o PH, o PMG, o teor de amilose, o teor de proteínas, o teor de fibra e o índice de glúten apresentaram impacto sobre a qualidade do trigo cozido.

Com relação à digestibilidade *in vitro* do amido, os genótipos estudados foram categorizados em dois grupos: o primeiro composto por aqueles com menos de 60% de hidrólise de amido e o segundo composto por aqueles com mais de 70% de hidrólise de amido.

Em suma, os resultados podem ajudar as indústrias de trigo a segregar as cultivares de trigo com base nas oportunidades de mercado, especialmente aquelas relacionadas aos produtos de trigo integral e às exigências de digestibilidade do amido.

## Referências

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

AACC INTERNATIONAL. Total Carotenoid content of Cereal Grains and Flours. In **Approved Methods of the AACC International**; St. Paul, MN, USA: AACC International, 2012.

ABDEL-AAL, E. S. M.; YOUNG, J. C. Carotenoids. In P. R. Shewry & J. L. Ward (Eds.), **Analysis of bioactives components in small grain cereals**. St Paul, Minnesota, USA: AACC International. 2009, p. 69–94.

ABITRIGO. Associação brasileira das indústrias de trigo. **Sobre o trigo**. Disponível em: <http://www.abitrigo.com.br>. Acesso em: julho de 2019.

ADOM, K. K.; SORRELLS, M. E.; LIU, R. H. Phytochemical profiles and antioxidant activity of wheat varieties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, p. 7825–7834, 2003.

ALSAFFAR, A. A. Effect of thermal processing and storage on digestibility of starch in whole wheat grains. **Journal of Cereal Science**, v. 52, n. 3, p. 480–485, 2010.

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.

ATWELL, W. A. **Wheat Flour**. Eagen Press Handbook Series. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, 2001.

BASSOI, M. C. Aspectos Gerais da germinação pré-colheita e seu controle genético. In: Cunha, G. R.; Pires, J. L. F. (Eds) **Germinação pré-colheita em trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, c. 2, p. 21-136, 2004.

BATISTA, C. D. S.; POZZADA, J.; DITTGEN, C. L.; COLUSSI, R.; ZACZUK, P.; ELIAS, M. C.; VANIER, N. L. Impact of cooking temperature on the quality of quick cooking brown rice. **Food Chemistry**, v. 286, p. 98–105, 2019.

BERG, T.; SINGH, J.; HARDACRE, A.; BOLAND, M. J. The role of cotyledon cell structure during in vitro digestion of starch in navy beans. **Carbohydrate Polymers**, v. 87, p. 1678-1688, 2012.

BRANDÃO, S. S.; LIRA, H. L. **Tecnologia de Panificação e Confeitaria**. Recife: EDUFRPE, 2011, 148p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Serviço Nacional de Proteção de Cultivares. Instrução Normativa nº35. **Descrição de cultivares de trigo**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 9 de jun. 2008.

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

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.

CHO, S.; KANG, C.; KO, H. S.; BAIK, B.; CHO, K.; SOO, C. 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.

CHOPIN. Manual de instruções Alveógrafo NG Consistógrafo. France, p. 122, 2006.

CLAWSON, A. R.; TAYLOR, A. J. Chemical changes during cooking of wheat. **Food Chemistry**, v. 47, n. 4, p. 337–343, 1993.

COLLAR, C. Significance of viscosity profile of pasted and gelled formulated wheat doughs on bread staling. **European Food Research and Technology**, v. 216, p. 505–513, 2003.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, 2019. Disponível em [www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br). Acesso em junho de 2019.

CUNHA, G. R.; PASINATO, A.; PIRES, J. L. F.; DALMAGO, G. A.; SANTI, A.; GOUVÊA, J. A. Bioclimatologia e Zoneamento Agrícola. In: **Trigo: o produtor pergunta, a Embrapa responde** / Claudia De Mori ... [et al.], editores técnicos – Brasília, DF: Embrapa, 2016.

DARTOIS, A.; SINGH, J.; KAUR, L.; SINGH, H. Influence of guar gum on the in vitro starch digestibility-rheological and Microstructural characteristics. **Food Biophysics**, v. 5, p. 149-160, 2010.

DELCOUR, J. A.; JOYE, I. J.; PAREYT, B.; WILDERJANS, E.; BRIJS, K.; LAGRAIN, B. 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, Minnessota (EUA): AACC, 2010.

DITTMER, C. L.; HOFFMANN, J. F.; CHAVES, F. C.; ROMBALDI, C. V.; COLOMBARI FILHO, J. M.; VANIER, N. L. Discrimination of genotype and geographical origin of black rice grown in Brazil by LC-MS analysis of phenolics. **Food Chemistry**, v. 288, p. 297–305, 2019.

DONG, K.; HAO, C. Y.; WANG, A. L.; CAI, M. H.; YAN, Y. M. Characterization of HMW glutenin subunits in bread and tetraploid wheats by reserved-phase high-performance liquid chromatography. **Cereal Research Communications**, v. 37, p. 65-72, 2009.

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.

ENGLYST, H. N.; KINGMAN, S. M.; CUMMINGS, J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 46, p. S33–S50, 1992.

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.

GABRIEL, D.; PFITZNER, C.; HAASE, N. U.; HÜSKEN, A.; PRÜFER, H.; GREEF, J. M.; RÜHL, G. New strategies for a reliable assessment of baking quality of wheat – Rethinking the current indicator protein content. **Journal of Cereal Science**, v. 77, p. 126–134, 2017.

GARCIA-ALONSO, A.; SAURA-CALIXTO, F.; DELCOUR, J. A. Influence of botanical source and processing on formation of resistant starch type III. **Cereal Chemistry**, v. 75, n. 6, p. 802-804, 1998.

GERMANI, Rogério. **Características dos grãos e farinhas de trigo e avaliações de suas qualidades**. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos e Faculdade Assis Gurgaz, 2008. 129 p. (Apostila).

GOÑI, I.; GARCIA-ALONSO, A.; SAURA-CALIXTO, F. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. **Nutrition Research**, v. 17, p. 427-437, 1997.

GUARIENTI, E. M.; CIACCO, C. F.; CUNHA, G. R.; DEL DUCA, L. J. A.; CAMARGO, C. M. O. Influência das temperaturas mínima e máxima em características de qualidade industrial e em rendimento de grãos de trigo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.24, n.4, p.505-515, 2004.

GUTKOSKI, L. C.; LENZI NODARI, M.; NETO, R. J. Avaliação De Farinhas De Trigos Cultivados No Rio Grande Do Sul Na Produção De Biscoitos. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 23, p. 91–97, 2003.

GUTKOSKI, L. C.; DURIGON, A.; MAZZATTI, S.; SILVA, C. T.; ELIAS, M. C. 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.

GUTKOSKI, Luiz Carlos. **Trigo: Segregação, tipificação e controle de qualidade**. Passo Fundo: Ed. Passografic, 2011. 151 p.

HAZARD, B.; ZHANG, X.; COLASUONNO, P.; UAUY, C.; BECKLES, D. M.; DUBCOVSKY, J. Induced mutations in the Starch Branching Enzyme II (SBEII) genes increase amylose and resistant starch content in durum wheat. **Crop Science**, v. 52 n. 4, p. 1754–1766, 2012.

HU, Y.; WANG, L.; ZHU, H.; LI, Z. Modification of physicochemical properties and in vitro digestibility of wheat flour through superheated steam processing. **Journal of Cereal Science**, v. 74, p. 231-237, 2017.

JANE, J.; CHEN, Y. Y.; LEE, L. F.; MCPHERSON, A. E.; WONG, K. S.; RADOSAVLJEVIC, M. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. **Cereal Chemistry**, v. 76, p. 629-637, 1999

JONES J. M.; PEÑA R. J.; KORCZAK R.; BRAUN H. J. Carbohydrates, grains, and wheat in nutrition and health. An overview Part I. Role of carbohydrates in health. **Cereal Foods World**, v. 60, p. 224-233, 2015.

JUNGES, Amanda Heemann. **Modelo agrometeorológico-espectral de estimativa de rendimento de grãos de trigo no rio grande do sul**. 2008. 137f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

KARAOĞLU, M. M.; AYDENIZ, M.; KOTANCILAR, H. G.; GERÇELASLAN, K. E. A comparison of the functional characteristics of wheat stored as grain with wheat stored in spike form. **International Journal of Food Science Technology**, v. 45, p. 38-47, 2010.

KEHL, Kassiana. **Potencial de rendimento, qualidade industrial e fisiológica de sementes de trigo cultivado em diferentes regiões tritícolas**. 2013. 81f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2013.

LACHMAN, J.; MARTINEK, P.; KOTÍKOVÁ, Z.; ORSÁK, M.; ŠULC, M. Genetics and chemistry of pigments in wheat grain – A review. **Journal of Cereal Science**, v. 74, p. 145–154, 2017.

LAMANNA, R.; CATTIVELLI, L.; MIGLIETTA, M. L.; TROCCOLI, A. Geographical origin of durum wheat studied by 1H-NMR profiling. **Magnetic Resonance in Chemistry**, v. 49, n. 1, p. 1-5, 2011.

LÉON, A. E. **De tales harinas, tales panes: granos, harinas y productos de panificación em Iberoamérica**. Córdoba: Hugo Báez, 2007. 480p.

LEON, E.; PISTON, F.; AOUNI, R.; SHEWRY, P. R.; ROSELL, C. M.; MARTIN, A.; BARRO, F. 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.; WU, Y.; HERNANDEZ-ESPINOSA, N.; PEÑA, R. J. The influence of drought and heat stress on the expression of end-use quality parameters of common wheat. **Journal of Cereal Science**, v. 57, p. 73-78, 2013.

LIU, R. H. Whole grain phytochemicals and health. **Journal of Cereal Science**, v. 46, p. 207–219, 2007.

LIU, H.; GUO, B.; ZHANG, B.; ZHANG, Y.; WEI, S.; LI, M.; WEI, Y. Characterizations of stable carbon and nitrogen isotopic ratios in wheat fractions and their feasibility for geographical traceability: A preliminary study. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 69, p. 149–155, 2018.

LU, Y.; LV, J.; HAO, J.; NIU, Y.; WHENT, M.; COSTA, J.; YU, L. L. Genotype, environment, and their interactions on the phytochemical compositions and radical scavenging properties of soft winter wheat bran. **LWT - Food Science and Technology**, v. 60, n.1, p. 277–283, 2015.

MAI, T. **Avaliação de cultivares de trigo indicadas para o cultivo no estado do rio grande do sul**. 2014. 29 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Curso de Agronomia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2014.

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.

MELLADO, M. Z. **El trigo en Chile**. INIA n° 121. 684 p. Instituto de investigaciones agropecuárias. Chillá, Chile, 2006.

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.

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

MORRIS, C. F. Evaluation of Wheat-Grain Quality Attributes. **Encyclopedia of Food Grains: Second Edition**, v. 3-4, p. 251-256, 2015.

MUTWALI, N. I. A.; MUSTAFA, A. I.; GORAFI, Y. S. A.; AHMED, I. A. M. Effect of environment and genotypes on the physicochemical quality of the grains of newly

developed wheat inbred lines. **Food Science & Nutrition**, v. 4, n. 4, p. 508-520, 2015.

NABIM. **Wheat structure**. Disponível em: < <http://www.nabim.org.uk/wheat-structure>> Acesso em: 05 de julho de 2019.

NDOLO, V. U.; BETA, T. Distribution of carotenoids in endosperm, germ, and aleurone fractions of cereal grain kernels. **Food Chemistry**, v. 139, n. 1-4, p. 663-671, 2013.

NEWPORT SCIENTIFIC. Instruction manual for the series 4 rapid visco analyzer. Newport Scientific Pty. Ltd., Australia. p. 1-45, 2001.

ORO, Tatiana. **Adaptação de métodos para avaliação da qualidade tecnológica de farinha de trigo integral**. 2013. 195f. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Florianópolis, 2013.

ORTOLAN, Fernanda. **Genótipos de trigo do Paraná – Safra 2004: Caracterização e fatores relacionados à alteração de cor de farinha**. 2006. 140f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos alimentos, Santa Maria, 2006.

PANFILI, G.; FRATIANNI, A.; IRANO, M. Improved normal-phase high-performance liquid chromatography procedure for the determination of carotenoids in cereals. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, p. 6373–6377, 2004.

PASHA, I.; ANJUM, F. M.; MORRIS, C. F. Grain Hardness: A Major Determinant of Wheat Quality. **Food Science and Technology International**, v. 16, n. 16, p. 511-522, 2010.

POLETTTO, V. D. **Desempenho de sete cultivares de trigo no Estado do Paraná**. 2015. 26 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

POUTANEN, K. Cereal Foods in Diet and Health. In P. R. Shewry & J. L. Ward (Eds.), **Analysis of bioactives components in small grain cereals**. St Paul, Minnesota, USA: AACC International. 2009, p. 1-5.

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.

RIBEIRO, G.; PIMENTE, A. J. B.; SOUZA, M. A.; ROCHA, J. R. A. S. C.; FONSECA, W. B. Estresse por altas temperaturas em trigo: impacto no desenvolvimento e mecanismos de tolerância. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 18, n. 2-4, p. 133-142, 2012.

ROJAS, J. A.; ROSELL, C. M.; BENEDITO, C. Pasting properties of different wheat flour-hydrocolloid systems. **Food Hydrocolloids**, v. 13, p. 27-33, 1999.

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.

SCHEUER, P. M.; FRANCISCO, A.; MIRANDA, M. Z.; LIMBERGER, V. M. Trigo: Características e Utilização Na Panificação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 13(2), p. 211-222, 2011.

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.

SHEWRY, P. R.; HAWKESFORD, M. J.; PIIRONEN, V.; LAMPI, A. M.; GEBRUERS, K.; BOROS, D.; ... WARD, J. L. Natural variation in grain composition of wheat and related cereals. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 35, p. 8295-8303, 2013.

SOUZA, M. A.; RAMALHO, M. A. P. Controle genético e tolerância ao estresse de calor em populações híbridas e em cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p.1245-1253, 2001.

SRIKAE, K.; FURST, J. E.; HOSKEN, R. W.; ASHTON, J. F. Physical Properties of Cooked Wheat Grains as Affected by Cooking Temperature and Duration, **International Journal of Food Properties**, v. 8, n. 3, p. 469-479, 2005.

STARR, G.; BREDIE, W. L. P.; HANSEN, Å. S. Sensory profiles of cooked grains from wheat species and varieties. **Journal of Cereal Science**, v. 57, n. 3, p. 295-303, 2013.

ŠTĚRBOVÁ, L.; BRADOVÁ, J.; SEDLÁČEK, T.; HOLASOVÁ, M.; FIEDLEROVÁ, V.; DVOŘÁČEK, V.; SMRČKOVÁ, P. Influence of technological processing of wheat grain on starch digestibility and resistant starch content. **Starch/Stärke**, v. 68, p. 593–602, 2016.

STUDNICKI, M.; WIJATA, M.; SOBCZY, G.; GOZDOWSKI, D.; ROZBICKI, J. 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.

SYMONS, L. J.; BRENNAN, C. S. The effect of barley beta-glucan fiber fractions on starch gelatinization and pasting characteristics. **Journal of Food Science**, v. 69, p. 257–261, 2004.

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.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **World Agricultural Production**. Foreign Agricultural Service, Circular Series, p. 1-31, 2019.

VASCONCELOS, M. C. B. M.; BENNETT, R.; CASTRO, C.; CARDOSO, P.; SAAVEDRA, M. J.; ROSA, E. A. Estudo da composição, estabilização e processamento de gérmem de trigo e milho industrial subprodutos. **Culturas e productos 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.

VÁZQUEZ, D.; BERGER, A. G.; CUNIBERTI, M.; BAINOTTI, C.; MIRANDA, M. Z.; SCHEEREN, P. L.; JOBET, C.; ZÚÑIGA, J.; CABRERA, G.; VERGES, R.; PEÑA, R. J. Influence of cultivar and environment on quality of Latin American wheats. **Journal of Cereal Science**, v. 56, n. 2, p. 196-203, 2012.

WILLIAMS, P. G. Evaluation of the evidence between consumption of refined grains and health outcomes, **Nutrition Reviews**, v. 20, p. 80-99, 2012.

XIA, J.; WISHART, D. S. Using MetaboAnalyst 3.0 for comprehensive metabolomics data analysis. **Current Protocols in Bioinformatics**, v. 55, p. 14.10.1-14.10.91, 2016.

ZHAO, Y.; ZHANG, B.; CHEN, G.; CHEN, A.L.; YANG, S.M.; YE, Z.H. Recent developments in application of stable isotope analysis on agro-product authenticity and traceability. **Food Chemistry**, v. 145, p. 300-305, 2014.

ZIMMER, Paulo Dejalma. Fundamentos da qualidade da semente. In: **Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos**. 3.ed. Pelotas: Editora Universitária/UFPel, 2012, 573p.

ZÖRB, C.; LUDEWIG, U.; HAWKESFORD, M. J. Perspective on Wheat Yield and Quality with Reduced Nitrogen Supply. **Trends in Plant Science**, v. 23, n. 11, p. 1029–1037, 2018.