



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

VANIA KAJIWARA

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E REOLÓGICAS
DE FARINHAS INTEGRAIS DE GENÓTIPOS DE TRIGOS
CULTIVADOS EM DIFERENTES AMBIENTES**

Londrina
2024

VANIA KAJIWARA

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E REOLÓGICAS
DE FARINHAS INTEGRAIS DE GENÓTIPOS DE TRIGOS
CULTIVADOS EM DIFERENTES AMBIENTES**

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação
em Agronomia da Universidade Estadual de
Londrina, como requisito à obtenção do título de
Doutora em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Claudemir Zucareli

Londrina
2024

kajiwara, Vania Kajiwara.

Características físico-químicas e reológicas de farinhas integrais de genótipos de trigos cultivados em diferentes ambientes. / Vania Kajiwara kajiwara. - Londrina, 2024.
115 f.

Orientador: Claudemir Zucareli Zucareli.

Coorientador: Klever Márcio Antunes Arruda Arruda.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2024.
Inclui bibliografia.

1. Farinha integral de trigo - Tese. 2. Reologia da farinha - Tese. 3. Compostos fenólicos - Tese. 4. Atividade antioxidante - Tese. I. Zucareli, Claudemir Zucareli. II. Arruda, Klever Márcio Antunes Arruda. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 63

VANIA KAJIWARA

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E REOLÓGICAS DE
FARINHAS INTEGRAIS DE GENÓTIPOS DE TRIGOS
CULTIVADOS EM DIFERENTES AMBIENTES

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Agronomia da Universidade Estadual de
Londrina, como requisito à obtenção do título de
Doutora em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Claudemir Zucareli
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Dra. Maria Brígida dos Santos Scholz
Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - IDR

Dra. Cíntia Sorane Good Kitzberger
Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - IDR

Dr. Carlos Roberto Riede
Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - IDR

Profa. Dra. Inês Cristina de Batista Fonseca
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 16 de dezembro de 2024.

Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais Carlos e Joana, e à minha filha, Cecilia.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que contribuíram para a realização de mais um objetivo de minha vida, em especial;

À Universidade Estadual de Londrina, pela oportunidade concedida para a realização do Doutorado e por todo conhecimento concedido.

Ao Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná, por gentilmente permitir a realização das atividades do trabalho de Doutorado e conhecimento adquirido.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Dr. Claudemir Zucareli, docente do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela orientação, disponibilidade, amizade, confiança e por ser um ser humano e profissional inspirador. Sem sua valiosa ajuda a realização deste trabalho não teria sido possível, foi um privilégio tê-lo como orientador.

Ao pesquisador Dr. Kléver Antunes Arruda, pelo apoio na coorientação, colaboração e incentivador desse trabalho de pesquisa, foi uma honra tê-lo como co-orientador.

À Dra. Cintia Sorane Good Kitzbeger, pela amizade, paciência, disponibilidade, confiança e por ser uma mulher incrível e profissional na qual eu me inspiro todos os dias. A sua contribuição foi de suma importância para o desenvolvimento desse trabalho.

Às Dras. Maria Brígida dos Santos Scholz, Cintia Sorane Good Kitzbeger, Inês Cristina de Batista Fonseca e ao Dr. Carlos Roberto Riede, pela disponibilidade de participação na banca examinadora, colaborações e sugestões para enriquecer o trabalho.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, pela mediação de conhecimento, auxílio e contribuição no conhecimento e no desenvolvimento do trabalho.

Aos meus queridos amigos e companheiros do Laboratório de Tecnologia de Alimentos do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná, Cíntia, Mara e Flávia, com os quais aprendi muito, e por tornarem o ambiente de trabalho um local agradável e de muita amizade, obrigada pela ajuda e disposição sempre.

As minhas grandes e queridas amigas, que me acompanham a anos, Luriam Aparecida Ribeiro Brandão, Luciane Gomes, Natália Carr, Nataiane Bejatto, Mariley Fonseca, Natalia Fonseca, Rhaisa Fagá, Débora Santos e ao meu querido amigo Luis Fernando Lima, por serem amáveis sempre.

Aos meus amigos do programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, em especial a Luriam Brandão, Marinara Ferneda, Vinicius Abreu, Ana Paula Couto pela amizade e companheirismo em todas as horas.

A minha tia Júlia (*in memoriam*) por ser fonte de inspiração pessoal de força, fé e determinação.

Aos meus irmãos Paulo, Thais, Fernando e Renan, que sempre estiveram presentes, formando o ambiente familiar que tanto amo.

Aos meus pais, Carlos e Joana, pelo carinho, por proporcionar uma família amada e por sempre incentivar me em minha formação pessoal e profissional.

A minha amada filha Cecília, que é fonte de amor incondicional, e grande incentivo para seguir sempre buscando por nossos sonhos e felicidade, nessa vida sempre será eu e você filha.

A Deus por me conceder o dom da vida.

Muito obrigada!

“Não é o mais forte das espécies que sobrevive, nem o mais inteligente, mas o que melhor se adapta às mudanças”

Charles Darwin

VANIA KAJIWARA

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E REOLÓGICAS
DE FARINHAS INTEGRAIS DE GENÓTIPOS DE TRIGOS
CULTIVADOS EM DIFERENTES AMBIENTES**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Agronomia da Universidade Estadual de
Londrina, como requisito à obtenção do título de
Doutora em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Claudemir Zucareli

Londrina
2024

RESUMO

KAJIWARA, Vania. Características físico-químicas e reológicas de farinhas integrais de genótipos de trigos cultivados em diferentes ambientes. 2024. 115 páginas. Tese de doutorado – Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2024.

O trigo é um cereal, fonte de proteínas, minerais, carboidratos, fibras, entre outros. O crescente consumo de alimentos saudáveis aumentou a demanda por produtos à base de farinha integral de trigo. Entretanto, como o trigo é consumido em sua maioria na forma de farinha refinada branca, há carência de cultivares desenvolvidas especificamente para atender o mercado de integrais bem como de definição de características desejáveis para atender essa demanda. O objetivo desse estudo foi avaliar a farinha de trigo integral quanto a sua composição, reologia da massa, compostos bioativos e as propriedades antioxidantes, e a influência do genótipo e do ambiente nessas características. Foram avaliados dez genótipos de trigo participantes do programa de melhoramento genético do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná, cultivados na safra de 2020 nos municípios de Londrina, Pato Branco e Ponta Grossa caracterizando as regiões de adaptação e cultivo I, II e III da cultura no Paraná. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com quatro repetições. Foram realizadas as avaliações do número de queda, farinografia, lipídios, proteínas, ácido fítico, teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante dos extratos das farinhas integrais. A composição das farinhas é afetada pela região de cultivo, sendo o ambiente de Londrina mais favorável para a produção de farinha integral de trigo, com maior qualidade e maiores teores de proteínas. Já o ambiente de Ponta Grossa foi o melhor ambiente para as características reológicas como estabilidade e desenvolvimento da massa. Na análise de componentes principais o genótipo IPR Potyporã cultivado em todos os ambientes apresentou um comportamento favorável com relação a absorção de água, teor de proteínas, maior quantidade de compostos fenólicos e atividade antioxidante. Com relação ao ambiente de cultivo, Pato Branco apresentou a maior quantidade de compostos fenólicos livres e ligados, ácido fítico, atividade antioxidante medida como DPPH e ABTS. Os genótipos apresentaram diferenças significativas na composição, reologia, conteúdo de compostos fenólicos livres e ligados e antioxidantes e, além disso, os diferentes ambientes de cultivo também apresentaram influências nas características avaliadas, sendo possível separar os genótipos e o melhor ambiente para as características avaliadas.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*, qualidade industrial; compostos fenólicos, qualidade tecnológica, atividade antioxidante.

ABSTRACT

KAJIWARA, Vania. Physicochemical and rheological characteristics of wholemeal flours from wheat genotypes grown in different environments. 2024. 115 pages. Doctoral thesis – Department of Agronomy, State University of Londrina, Londrina, 2024.

Wheat is a cereal, a source of proteins, minerals, carbohydrates, fibers, among others. The growing consumption of healthy foods has increased the demand for products based on whole wheat flour. However, since wheat is mostly consumed in the form of refined white flour, there is a lack of cultivars developed specifically to meet the whole wheat market, as well as the definition of desirable characteristics to meet this demand. The objective of this study is to evaluate the composition, dough rheology characteristics, bioactive compounds and antioxidant properties of whole wheat flour, as well the influence of genotype and environment on these characteristics. Ten wheat genotypes from the genetic improvement program of the Paraná Rural Development Institute were evaluated. They were cultivated in the 2020 season in Londrina, Pato Branco and Ponta Grossa, characterizing the adaptation and cultivation regions I, II and III of the crop in Paraná. The experimental design used was randomized blocks, with four replications. The genotypes showed significant differences in composition, rheology, content of free and bound phenolic compounds and antioxidants and, in addition, the different cultivation environments also showed influences on the characteristics evaluated, making it possible to separate the genotypes and the best environment for the characteristics evaluated. The falling number, farinograph, lipids, proteins, phytic acid, phenolic compound content and antioxidant activity of whole wheat flour extracts were evaluated. The composition of the flours is affected by the cultivation region, being Londrina environment the most favorable environment for the production of whole wheat flour with higher quality and higher protein content. The Ponta Grossa environment was the best environment for rheological characteristics stability and dough development. In the principal component analysis, the IPR Potyporã genotype cultivated in all environments showed favorable behavior regarding water absorption, protein content, higher amounts of phenolic compounds and antioxidant activity. Regarding the cultivation environment, Pato Branco showed the highest amounts of free and bound phenolic compounds, phytic acid, antioxidant activity measured as DPPH and ABTS. The genotypes showed significant differences in composition, rheology, content of free and bound phenolic compounds and antioxidants and, in addition, the different cultivation environments also showed influences on the characteristics evaluated, making it possible to separate the genotypes and the best environment for the characteristics evaluated.

Keywords: *Triticum aestivum*, industrial quality; phenolic compounds, technological quality, farinograph, falling number.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Representação esquemática das frações do grão de trigo.....21
- Artigo A: Composição e reologia de farinhas integrais de trigos cultivados em diferentes ambientes**
- Figura 2** - Regiões homogêneas de adaptação de cultivares de trigo no estado do Paraná.....43
- Figura 3** - Biplot das características de composição e reologia de farinhas integrais de diferentes genótipos de trigo63
- Figura 4** - Dendograma da análise de agrupamento hierárquico de genótipos de trigos cultivados em diferentes ambientes.....64
- Artigo B: Compostos fenólicos e atividade antioxidante de farinha de trigo integral de diferentes genótipos cultivados em diferentes ambientes.**
- Figura 2** - Regiões homogêneas de adaptação de cultivares de trigo no estado do Paraná.....71
- Figura 3** - Compostos fenólicos totais, flavonóides totais, ABTS total e DPPH total de farinhas integrais de trigos cultivadas nos ambientes de Ponta Grossa (PG), Pato Branco (PB) e Londrina (LD).....86
- Figura 4** - Biplot das características de compostos fenólicos totais, livres e ligados, flavonoides totais, livres e ligados, DPPH total, livre e ligados, ABTS total, livre e ligados e ácido fítico de farinhas integrais de diferentes genótipos de trigos cultivados em 3 ambientes.....89
- Figura 5** - Dendograma da análise de agrupamento hierárquico de genótipos de trigo cultivados em diferentes ambientes.....90

LISTA DE TABELAS

Artigo A: Composição e reologia de farinhas integrais de trigos cultivados em diferentes ambientes

Tabela 1 - Genótipos de trigo, instituição obtentora, ano de lançamento e classe comercial dos genótipos avaliados nos experimentos realizados nos municípios de Londrina, Ponta Grossa e Pato Branco na safra de 2020.....42

Tabela 2 – Resumo da análise de variância para características de composição e coloração de farinhas integrais de genótipos de trigo cultivados em diferentes ambientes.....46

Tabela 3 - Resumo da análise de variância para características de NQ (número de queda), AA (Absorção de água), consistência da massa, TD (tempo de desenvolvimento da massa), E (estabilidade da massa), ITM (índice de tolerância a mistura) e TB (tempo de queda) de farinhas integrais de genótipos de trigo cultivados em diferentes ambientes.....47

Tabela 4 - Médias de umidade (%) de farinhas integrais de trigos cultivados em diferentes ambientes48

Tabela 5 - Médias de lipídios (%) de farinhas integrais de trigos cultivados em diferentes ambientes.....49

Tabela 6 - Médias de proteína (%) de farinhas integrais de trigos cultivados em diferentes ambientes.....50

Tabela 7 - Médias do parâmetro de cor (L*) de farinhas integrais de trigos cultivados em diferentes ambientes..... 51

....

Tabela 8 - Médias do parâmetro de cor (a*) de farinhas integrais de trigos cultivados em diferentes ambientes.....52

Tabela 9 - Médias do parâmetro de cor (b*) de farinhas integrais de trigos cultivados em diferentes ambientes53

Tabela 10 - Médias de número de queda (NQ) de farinhas integrais de trigos cultivados em diferentes ambientes54

Tabela 11 - Médias de absorção de água (%) de farinhas integrais de trigos cultivados em diferentes ambientes55

Tabela 12 - Médias de consistência da massa (FU) de farinhas integrais de trigos cultivados em diferentes ambientes57

Tabela 13. Médias de tempo de desenvolvimento (Min) de farinhas integrais de trigos cultivados em diferentes ambientes58

Tabela 14 - Médias de estabilidade da massa (min) de farinhas integrais de trigos cultivados em diferentes ambientes59

Tabela 15 - Médias de índice de tolerância a mistura de farinhas integrais de trigos cultivados em diferentes ambientes60

Tabela 16 - Médias de tempo de quebra de farinhas integrais de trigos cultivados em diferentes ambientes61

Tabela 17 - Valores médios de lipídios, proteína, absorção de água (AA), estabilidade da massa (Estab), consistência da massa (Cons), tempo de desenvolvimento da massa (TD), índice de tolerância a mistura (ITM), tempo de chegada (Tb), L*, a*, b*, dos grupos de genótipos formados na análise de agrupamento hierárquico65

Artigo B: Compostos Fenólicos e atividade antioxidante de farinha de trigo integral de diferentes genótipos cultivados em diferentes ambientes.

Tabela 1 - Genótipos de trigo, instituição obtentora, ano de lançamento e classe comercial dos genótipos avaliados nos experimentos realizados nos municípios de Londrina, Ponta Grossa e Pato Branco na safra de 2020.....70

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para características de ácido fítico, compostos fenólicos livres e ligados, flavonoides livres e ligados, e atividade antioxidante de farinhas integrais de genótipos de trigo cultivados em diferentes ambientes.....76

Tabela 3 - Médias de ácido fítico (mg/g) de farinhas integrais de trigos cultivados em nos ambientes de Londrina, Pato Branco e Ponta Grossa.....77

Tabela 4 - Médias fenólicos livres ($\mu\text{g/g}$), fenólicos ligados ($\mu\text{g/g}$) de farinhas integrais de trigos cultivados em diferentes ambientes79

Tabela 5 - Médias de flavonoides livres ($\mu\text{g cat/g}$) e ligados ($\mu\text{g cat/g}$) de farinhas integrais de trigos cultivados em diferentes ambientes.....81

Tabela 6 - Médias da atividade antioxidante medida como DPPH de farinhas integrais de trigos cultivados em diferentes ambientes.....82

Tabela 7 - Médias da atividade antioxidante medida como ABTS de farinhas integrais de trigos cultivados em diferentes ambientes.....84

Tabela 8 - Valores médios de ácido fítico, fenólicos livre, fenólicos ligado, ABTS livre, ABTS ligado, flavonóides livres, flavonóides ligados, DPPH livre, DPPH ligado e totais dos grupos de genótipos formados na análise de agrupamento hierárquico.....91

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2.1 CULTURA DO TRIGO	18
2.2 PRODUÇÃO DE TRIGO.....	18
2.3 ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO DO GRÃO	19
2.4 GRÃO DE TRIGO.....	21
2.5 INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE	23
2.6 QUALIDADE DOS GRÃOS	25
2.7 FARINHA INTEGRAL DE TRIGO.....	27
2.8 COMPOSTOS BIOATIVOS	31
2.9 LEGISLAÇÃO SOBRE A QUALIDADE DA FARINHA	35
3 ARTIGO A: COMPOSIÇÃO E REOLOGIA DE FARINHAS INTEGRAIS DE GENÓTIPOS DE TRIGO CULTIVADOS EM DIFERENTES AMBIENTES	38
3.1 INTRODUÇÃO	39
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	42
3.2.1 Genótipos Avaliados	42
3.2.2 Obtenção Dos Grãos.....	43
3.2.3 Propriedades Químicas Da Farinha Integral De Trigo	43
3.2.3.1 Umidade	43
3.2.3.2 Lipídios	44
3.2.3.3 Proteína	44
3.2.3.4 Número de queda (NQ).....	44
3.2.3.5 Cor do grão.....	44
3.2.4 Propriedades Reológicas Da Farinha Integral De Trigo.....	44
3.2.4.1 Farinografia	44
3.2.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	45
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
3.4 CONCLUSÕES.....	66
4 ARTIGO B: COMPOSTOS FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE FARINHAS INTEGRAIS DE GENÓTIPOS DE TRIGOS CULTIVADOS EM DIFERENTES AMBIENTES.	67
4.1 INTRODUÇÃO	68
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	70

4.2.1 Genótipos Avaliados	70
4.2.2 Obtenção Dos Grãos E Farinha Integral De Trigo.....	71
4.2.3 Ácido Fítico	71
4.2.4 Compostos Fenólicos Livres E Ligados	72
4.2.4.1 Extração dos compostos fenólicos livres e ligados	72
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	76
4.3.1 COMPOSTOS FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE FARINHA INTEGRAIS DE TRIGO CULTIVADAS EM DIFERENTES AMBIENTES	76
4.3.2 CONTEÚDO DE COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS, FLAVONOIDES E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE.....	84
4.3.3 ANÁLISE MULTIVARIADA DE COMPOSTOS FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE FARINHAS INTEGRAIS DE TRIGO.....	87
4.4 CONCLUSÃO	92
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93

1 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é consumido pelo homem há milhares de anos e possui grande importância econômica, nutricional e cultural, sendo um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo. A farinha é o principal produto obtido do grão de trigo e que pode ser consumido e processado pela indústria na produção de pães, bolos, biscoitos, massas secas, entre outros. No Brasil o maior volume de trigo comercializada é na forma de farinha branca, refinada e destinada à indústria da panificação doméstica ou industrial.

As características das plantas e a qualidade do grão de trigo são influenciadas por fatores genéticos. Entretanto as condições ambientais como o clima, solo, fertilidade do solo, incidência de pragas e doenças, e manejo da cultura podem influenciar nas características genéticas e conseqüentemente na produção e na qualidade dos grãos do cereal. Dessa forma, o trigo apresenta uma alta interação genótipo x ambiente tanto nos componentes de rendimento quanto nas características de qualidade industrial dos grãos

A interação do genótipo x ambiente favorece as pesquisas que buscam por genótipos com altos rendimentos e com qualidade de grãos para industrialização. Por ser uma planta com exigências ambientais específicas, como clima ameno, atualmente não pode ser cultivada em todas as regiões brasileiras. Além disso, a qualidade também é influenciada por essa condição ambiental, sendo a germinação na espiga, a cor do grão e o baixo teor de proteínas algumas das principais características influenciadas pelo ambiente.

Um dos principais objetivos em estudos com trigo é melhorar as características agrônômicas juntamente com a qualidade industrial dos grãos, desenvolvendo genótipos que apresentem altos rendimentos com capacidade de produzir uma farinha de qualidade que atenda a demanda dos agricultores, moinhos, panificadores e consumidores finais.

Com consumidores cada vez mais exigentes, a busca por alimentos saudáveis tem aumentado de forma expressiva, despertando um mercado de grande interesse para a indústria de alimentos que tem identificado uma crescente preferência dos consumidores por alimentos integrais. No Brasil existem poucas informações sobre grãos de trigo que apresentem características para obtenção de farinha integral com adequada qualidade industrial. Os grãos de trigo integrais são uma excelente fonte de carboidratos, proteínas, fibras, vitaminas, minerais, antioxidantes entre outros benefícios fornecidos a alimentação humana. Dessa forma os grãos do cereal são estudados para verificar a qualidade nutricional e os benefícios fornecidos pelos grãos de trigo para compor uma alimentação funcional.

Os grãos de trigo possuem grande quantidade de compostos fenólicos totais distribuídos nos grãos, mas são encontrados em maiores quantidades na casca, estando portanto presentes em altas concentrações em produtos integrais. Os compostos fenólicos possuem elevada atividade antioxidante e estão associados a benefícios a saúde humana e prevenção de algumas doenças. Por esse motivo, estudos tem sido realizados para investigar a qualidade nutricional, os benefícios à saúde e a aceitação dos produtos derivados de grãos integrais de trigo. Entretanto são poucos os estudos que avaliam o efeito do farelo nas características reológicas da massa, compostos fenólicos e a aceitação do sabor por parte dos consumidores.

A seleção de genótipos que apresentem características de composição, reologia da massa, com quantidades de compostos bioativos e aceitação do consumidor são barreiras a serem superadas para a introdução definitiva de alimentos fabricados com grãos integrais. Portanto a identificação de genótipos de alta qualidade para os diversos usos do trigo e a seleção de materiais apropriados para produção de alimentos integrais deve atender as demandas da indústria para produção de alimentos integrais.

Dessa forma, a farinha integral de trigo comercial disponível no mercado necessita de uma exploração mais aprofundada de seus potenciais benefícios à saúde em termos de propriedades antioxidantes. Embora os aditivos possam exercer efeitos antioxidantes, eles ainda diferem das fontes naturais em um nível químico e bioquímico. Genótipos que apresentem composições químicas e físicas e reológicas apropriadas para a industrialização são desejáveis para uma maior aceitação e introdução de alimentos integrais. Ainda, a composição de compostos bioativos, com características nutricionais diferenciadas pode atrair um grupo de consumidores interessados no melhor aproveitamento dos benefícios dos alimentos integrais.

Apesar dos benefícios à saúde, o consumo de produtos integrais de cereais ainda está abaixo das recomendações dietéticas, devido aos efeitos negativos do farelo na reologia da massa e nas propriedades sensoriais dos produtos finais. No entanto, genótipos de trigo não foram ainda completamente estudados e avaliados quanto as melhores características químicas e reológicas para produção de farinha integral de trigo.

Portanto, o objetivo desse estudo é avaliar a composição, reologia da massa, compostos bioativos e as propriedades antioxidantes da farinha de trigo integral, e influência do genótipo e do ambiente de produção nessas características.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CULTURA DO TRIGO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) pertencente à família Poaceae, gênero *Triticum* e apresenta ploidia hexaplóide com genoma AABBDD, com um número cromossômico básico igual a sete. Originário de hibridações naturais entre os trigos dos gêneros *Triticum* e *Aegilops*, combinando genomas completos de espécies diplóides distintas, o trigo é cultivado e adaptado a várias regiões do mundo (LING et al., 2013).

O primeiro cultivo de trigo ocorreu há cerca de 10.000 anos, como parte da "Revolução Neolítica", que passou pela transição da caça e coleta de alimentos para o início da agricultura assentada. As primeiras variedades de trigo cultivadas foram diplóides com genoma AA e tetraplóides com genoma AABB e suas relações genéticas indicam que elas se originaram na parte sudeste da Turquia (DUBCOVSKY; DVORAK, 2007). O cultivo se espalhou para o Oriente Próximo há cerca de 9000 anos, quando o trigo hexaplóide apareceu pela primeira vez (SHEWRY, 2009).

Os trigos primitivos einkorn e o emmer se desenvolveram a partir da domesticação de populações naturais. O trigo que se cultiva comercialmente surgiu por meio da hibridação do emmer cultivado com a grama selvagem não relacionada *Triticum tauschii* e também chamada de *Aegilops tauschii*. Essa hibridação provavelmente ocorreu várias vezes de forma independentemente, com o hexaplóide (AABBDD) e foi selecionada pelos agricultores por suas propriedades superiores (SHEWRY, 2009).

2.2 PRODUÇÃO DE TRIGO

O cultivo de trigo está entre os principais cereais de maior importância para alimentação humana. Dessa forma, a produção mundial de trigo na safra de 2023/2024 foi de aproximadamente 796,6 milhões de toneladas, em uma área de 221,4 milhões de hectares. No Brasil a área cultivada por trigo em 2024 foi de aproximadamente 3.078,4 milhões hectares atingindo uma produção de aproximadamente 9.065,3 milhões de toneladas dos grãos. No que se refere às exportações, os dez maiores fornecedores de trigo do mundo respondem por 96,03% de todas as exportações mundiais, o equivalente a 211,6 milhões de toneladas de trigo. A Rússia responde por 22,44% de todas as exportações, com 47,5 milhões de toneladas.

A União Europeia (UE) contribui com 18,19% de todos os embarques mundiais, sendo o equivalente a 38,5 milhões de toneladas, o Canadá com 12,52% e fornecendo 26,5 milhões de toneladas do grão para os países importadores, a Austrália com 10,16% com 21,5 milhões de toneladas. Os Estados Unidos da América (EUA) têm uma produção de 19,7 milhões, equivalente a 9,31% de todo o fornecimento mundial do grão. No Brasil, entre os estados produtores, o Paraná produziu na safra de 2024 aproximadamente 3.035,8 milhões de toneladas do grão e possui a segunda maior produção nacional, ficando atrás apenas do estado do Rio Grande do Sul com produção de 4.187,0 milhões de toneladas (CONAB, 2024).

A cultura do trigo é predominantemente cultivada em períodos mais frios, por esse motivo no Brasil, a produção se concentra na região sul do país devido a adaptação da cultura (CAMARGO; FERREIRA FILHO; SALOMON, 2004). Os grãos produzidos no estado do Paraná possuem qualidade industrial para produção de pães, biscoitos, massas e farinha doméstica, enquanto que nas demais regiões o grão produzido tem menor qualidade industrial. Outras regiões brasileiras como Minas Gerais, São Paulo e Cerrado tem potencial para expansão da produção dos grãos por possuírem condições de clima, solo, tecnologia aplicada e desenvolvimento de cultivares adaptadas a região (OLIVEIRA NETO; SANTOS, 2017).

Um grande desafio para o cultivo do trigo no Brasil é o aumento da produtividade, e por isso tem sido um dos objetivos dos programas de melhoramento genético da cultura no país. Estudos apontam que o aumento do rendimento de grãos está relacionado ao entendimento do comportamento e da relação do número de grãos com o peso de mil grãos. Porém, pouco se sabe sobre o efeito ambiental sobre essa associação. Dessa forma, a compreensão dessa interação pode fornecer conhecimentos importantes para estratégias de melhoramento de trigo, visando diferentes tipos de ambientes de alto rendimento (QUINTERO et al., 2018).

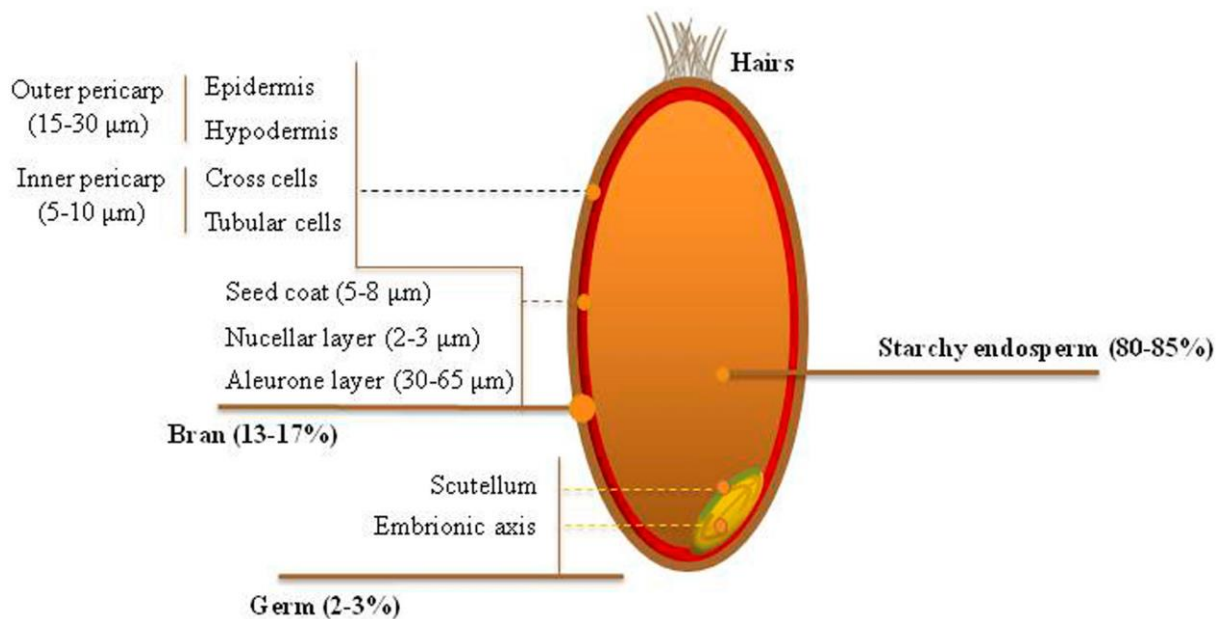
2.3 ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO DO GRÃO

O grão de trigo é constituído principalmente pelo endosperma, gérmen e pericarpo. O endosperma (80-85% do grão) é composto principalmente de grânulos de amido inseridos em uma matriz proteica. A glicose é o principal monossacarídeo (96%) do endosperma amiláceo, que contém apenas 2% de arabinoxilanos (SHEWRY et al., 2012; EVERS; BECHTEL, 1988). O gérmen (3% do grão) é composto pelo embrião e escutelo e é rico em lipídios, proteínas, açúcares neutros, bem como minerais, vitaminas e esteróis. O pericarpo é

constituído pelas camadas periféricas (13-17% do grão) que envolve o endosperma e é formado pela a camada de aleurona, camada hialina, tegumento da semente, pericarpo interno e pericarpo externo (ROSA-SIBAKOV; POUTANEN; MICARD, 2015).

O pericarpo contém células vazias, com paredes celulares formadas principalmente de arabinosilanos com um alto grau de ramificação, celulose, lignina, e também dímeros de ácido ferúlico (SHEWRY et al., 2012; PIETIÄINEN et al., 2022). A camada hialina é composta principalmente de arabinosilanos e é muito rica em ácido ferúlico monomérico (BARRON et al., 2007; LIU et al., 2020). Aleurona é uma camada de tecido unicelular representando 7-9% do grão e 45-50% da fração de farelo. O conteúdo da aleurona intracelular é caracterizada por grande número de pequenos vacúolos, proteínas, minerais, fitatos, lipídios e vitaminas do complexo B (ROSA et al., 2015; EVERS; BECHTEL, 1988).

Figura 1. Representação esquemática das frações do grão de trigo



Fonte: Laddomada; Caretto; Mita (2015)

A parede celular da aleurona é composta principalmente por arabinosilanos, β-glucanos e proteínas (BROUNS et al., 2012; SAULNIER et al., 2007). Os compostos fenólicos presentes na camada de aleurona são altamente esterificados com arabinosilanos e menores quantidades estão presentes em formas conjugadas ou livres (ROSA et al., 2013).

Um das frações mais interessantes do farelo é a camada de aleurona, pois é possível utilizá-la para enriquecer produtos à base de trigo por apresentar a maior quantidade de compostos bioativos e maior atividade antioxidante (LADDOMADA; CARETTO; MITA, 2015; LI et al., 2022; CHEN et al., 2023)

2.4 GRÃO DE TRIGO

Durante o desenvolvimento da cariopse, pigmentos se acumulam internamente no tegumento e mais tarde se tornam parte do tegumento maduro da semente (SHARMA et al., 2022 b; SHEWRY et al., 2009). Embora a planta de trigo apresente milhares de genes em suas células, apenas três determinam a cor do grão ou tegumento, assim se houver ausência dos três genes que apresentam a codificação vermelha, o grão será branco (LANG; WALKER, 1990). Dessa forma a principal diferença entre os trigos vermelho e branco é a ausência de pigmentos no pericarpo do trigo branco (GUPTA; MEGHWAL; PRABHAKAR, 2021; PIKE; MACRICTCHIE, 2004). Embora existam variações na cor do tegumento as principais variedades comerciais de trigo são o vermelho e o branco (DOBLADO-MALDONADO et al., 2012).

Entretanto, os trigos vermelho e branco diferem em sua adaptação ao ambiente de cultivo. O trigo vermelho apresenta uma maior resistência a germinação na espiga quando comparado com o trigo branco que é altamente suscetível a germinação na espiga, sendo mais adequado para condições secas no período de colheita (EKINCI; GÖKBULUT, 2020). A composição nutricional do trigo vermelho e branco apresentam poucas diferenças entre micronutrientes como ferro, zinco, fósforo e potássio e magnésio, cobre e niacina (SHARMA et al., 2021; DOBLADO-MALDONADO et al., 2012).

Além disso, estudos apontam que os trigos vermelhos possuem maiores teores de fenólicos totais devido a sua pigmentação (GRAFENAUER et al., 2020; DOBLADO-MALDONADO et al. 2012). Dessa forma, o trigo branco apresenta uma menor quantidade de ácidos fenólicos do que o trigo vermelho, e pode ter uma melhor aceitação entre consumidores que buscam por alimentos à base de farinha integral com coloração mais clara (PAZNOCHT et al., 2020; LADDOMADA; CARETTO; MITA, 2015).

A análise físico-química pode auxiliar na identificação das diferenças entre o trigo vermelho e branco encontradas em testes sensoriais e pode ser importante para compreender o que pode determinar na escolha de alimentos (SAHU et al., 2023). Além disso, pode ser uma

forma adicional na identificação de compostos que causam a rejeição ou aceitação sensorial do produto e sugerir novas direções para melhorar a aceitabilidade (LENG et al., 2017).

A qualidade dos grãos de trigo é determinada principalmente pelas propriedades de moagem, composição química, panificação e reologia da massa que são características determinantes para o uso do trigo (PIKE; MACRICTHIE, 2004). A dureza do grão refere-se à textura do endosperma do grão e pode ser definida como a força necessária para quebrar um grão maduro. A dureza é, portanto, a resistência de um material sólido à deformação quando são aplicadas forças localizadas (HOURSTON et al., 2017; IBRAHIM et al., 2018).

Uma diferença significativa entre trigo duro e mole é o limite da fragmentação do endosperma (PASHA; ANJUM; MORRIS, 2010; SHARMA et al., 2022). O endosperma duro (vítreo) está fortemente aderido às partículas de proteína, o que aumenta sua resistência à compressão. O grão com endosperma mole (farináceo) é caracterizado por um menor rendimento de moagem, pois o grão moído tende a obstruir as peneiras. Dessa forma, um melhor rendimento de moagem é obtido com o aumento da dureza do endosperma dos grãos vítreos (LAFIANDRA et al., 2022; MASTANJEVIĆ et al., 2023).

Além disso a cor do endosperma também difere conforme sua textura. Grãos moles apresentam endosperma branco e são normalmente caracterizados como grãos ricos em amido e com baixo teor de proteína. Por outro lado, os grãos duros apresentam endosperma cinza, e são ricos em proteínas, mas contêm menor teor de amido (BRANKOVIC et al., 2014; ZHYGUNOV et al., 2022). O teor de glúten também é uma das características associadas à dureza do grão e o tipo de produto produzido a partir deles (TREVISAN et al., 2023).

Os grãos de trigo mole por serem são fáceis de serem quebrados, e apresentam maior volume de grânulos de amido intactos e uma farinha mais fina e com menos amido danificado (SHARMA et al., 2021; IKEDA et al., 2005; BAASANDORJ; OHM; SIMSEK, 2016; KATYAL et al., 2017), e possuem ainda uma matriz proteica circundando esses grânulos de amido (SIMMONDS et al., 1973). Além disso, a farinha de trigo mole apresenta uma menor quantidade de proteína e é indicada para a produção de biscoitos pois este tipo de trigo possui maior capacidade de se espalhar, menor espessura e textura macia. Entretanto, como o trigo mole produz uma farinha com menor tamanho de partícula ele tem uma menor absorção de água (SHARMA et al., 2021).

Os grãos duros são mais difíceis de serem esmagados e moídos, o que resulta em uma maior quantidade de grânulos de amido quebrados produzindo uma farinha de textura mais

grossa e níveis mais altos de amido danificado (PASHA; ANJUM; IKEDA et al., 2005; BAASANDORJ; OHM; SIMSEK, 2020; KATYAL et al., 2017). O amido danificado tem maior capacidade de absorção de água e é mais facilmente hidrolisado pela alfa amilase (WANG; LI; ZHENG, 2020; SHANG et al., 2021). O trigo duro é mais adequado para os pães que são fermentados, pois os grânulos de amido danificado possuem maior capacidade em absorver água (MORRIS; ROSE, 1996; KATYAL et al., 2017). Além disso, a farinha de trigo duro é caracterizada pelo nível elevado de proteína, e são comumente usadas para fabricação de pães (KHALID; OHM; SIMSEK, 2022).

A dureza do grão é usada como fator de classificação para determinar o tipo de trigo (SHARMA et al., 2021). A dureza do grão é importante para a indústria pois tem impactos na moagem, panificação e qualidade do trigo (HOURSTON et al., 2017; IBRAHIM et al., 2018; KASRAEI et al., 2015). A textura do endosperma influencia em algumas propriedades físicas do grão como os requisitos de tâmara, tamanho das partículas da farinha, densidade da farinha, danos ao amido, absorção de água e rendimento de moagem (DELWICHE; MORRIS; KISZONAS, 2020; SHEWRY et al., 2020; KRSTANOVIĆ et al., 2023).

Na indústria de moagem e panificação, a qualidade da moagem do grão de trigo deve ser monitorada e controlada para apoiar a produção de farinha e produtos de alta qualidade. A qualidade da moagem dos grãos também é uma consideração importante para os agricultores e produtores agrícolas, pois pode afetar os preços de compra dos grãos (CAPPELLI; OLIVA; CINI, 2020; FRADGLEJR et al., 2024).

2.5 INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE

A estabilidade do rendimento dos genótipos em diferentes ambientes é de grande preocupação para os melhoristas de plantas. A conscientização sobre a interação genótipo e ambiente (GxA) é importante para determinar com precisão a estabilidade produtiva apresentada pelo genótipo e melhorar a seleção em programas de melhoramento (KUMAR et al., 2021; KRUPAL; RATHOD; KAMBLE, 2018).

A informação sobre a estabilidade fenotípica pode ser útil para a seleção de genótipos desejáveis para rendimento e características de qualidade, bem como para o programa de melhoramento (OZTURK, 2024; MULLUALEM et al., 2024; SINGH et al., 2018). Dessa maneira, a eficiência da seleção poderia ser melhorada pela utilização de características de

rendimento e qualidade com desempenho estável no programa de melhoramento de culturas (JOSHI et al., 2024). No entanto, a instabilidade é causada pelo ambiente e pelos efeitos de interação G x A (PRADO et al., 2024; LEGESSE; SHEWAYE, 2022). Dessa forma, a interação G x A é esperada, e para seleção de genótipos com rendimento superior de grãos se torna necessário o teste de desempenho em vários ambientes (KHARE et al., 2024; ROOZEMBOOM et al., 2008; ASHRAF et al., 2001). A avaliação dos genótipos em diferentes ambientes possibilita a seleção de genótipos amplamente adaptados com base no desempenho do rendimento médio em vários ambientes, a seleção de genótipos adaptados a determinados ambientes e permite ainda identificar locais ou ambientes de testes com resultados compatíveis (ROOZEMBOOM et al., 2008).

Dessa forma, a adaptabilidade diz respeito à habilidade dos genótipos de tirar proveito das condições ambientais de maneira vantajosa, enquanto a estabilidade refere-se à capacidade desses genótipos de apresentar um comportamento previsível, dependendo do estímulo ambiental. De acordo com Eberhart e Russel (1966), o ideal é que uma cultivar possua tanto uma boa adaptabilidade quanto alta previsibilidade, sendo capaz de responder adequadamente às variações ambientais e manter um bom desempenho, mesmo quando as condições forem desfavoráveis à cultura.

A estabilidade no rendimento de grãos entre os genótipos pode ser descrita como a resposta linear ao rendimento ambiental e o desvio dessa resposta (STELLA et al., 2023; KHAN et al., 2023). Um genótipo ideal geralmente mostra baixa variação de interação GxA, resposta acima da média ao potencial de rendimento ambiental e desvios mais baixos da resposta esperada dentro de um ambiente de cultivo (ARAIN et al., 2011). A interação GxA e a estabilidade de rendimento são importantes para predição da estabilidade genética e adaptação do cultivo em todas as áreas de indicação de plantio. Dessa maneira, as análises de GxA têm como objetivo a identificação de genótipos estáveis para cultivo (TERESSA; SEMAHEGN; BEJIGA, 2021).

Fatores ambientais como solo, fertilidade, umidade, temperatura, época de semeadura, duração do dia, doenças, pragas entre outros, não são consistentes ao longo dos anos e nos locais produtivos e, portanto, afetam a estabilidade de produção dos genótipos de trigo. O rendimento de grãos é extremamente influenciado pela interação genótipo, ambiente e GxA (KHARE et al., 2024; QUINTERO et al., 2018; GUZMÁN et al., 2016; HAMAM; KHALED, 2009). Os estudos de interação GxA te fornecem uma base para a seleção de genótipos adequados para o cultivo geral e outros para a área específica e em ambientes definidos. A

inconsistência de rendimento entre genótipos de um ambiente para outro pode surgir devido à expressão de diferentes conjuntos de genes em diferentes ambientes ou à diferença nas respostas do mesmo conjunto de genes a diferentes ambientes (QUINTERO et al., 2018; KUMAR et al., 2021).

A qualidade tecnológica e nutricional do trigo é, em princípio, determinada por vários compostos do grão de trigo, incluindo proteínas, polissacarídeos, lipídios, minerais, metais pesados, vitaminas e fitoquímicos, que afetam essas características (CAI et al., 2014). Além disso, o genótipo, o ambiente e a interação GxA pode desempenhar um papel significativo na determinação do conteúdo e composição desses compostos (GIULIANI et al., 2011; JOHANSSON et al., 2020). Além da qualidade, estudos anteriores indicaram que o ambiente de cultivo tem efeitos significativos nas atividades antioxidantes encontradas em grãos de trigo (PU et al, 2019).

A temperatura e a fertilidade do solo estão entre os fatores ambientais que podem causar fortes influências no conteúdo e composição do trigo (ZAHRA et al., 2023). A ocorrência de altas temperaturas encurta o período de enchimento dos grãos, muitas vezes reduzindo drasticamente o acúmulo de amido em relação ao acúmulo de proteínas, resultando no aumento da concentração de proteína nos grãos (ALTENBACH et al., 2003; TRIBOI; MARTRE; TRIBOI-BLODEL, 2003). Além disso, a fertilização com nitrogênio resulta em uma maior concentração de proteína nos grãos, que geralmente está associada a melhores propriedades da massa (JOHANSSON; PRIETO-LINDE; GISSÉN, 2008; MALIK; KUKTAITE; JOHANSSON, 2013).

2.6 QUALIDADE DOS GRÃOS

A qualidade tecnológica e nutricional do trigo é em grande parte determinada pela presença, conteúdo e composição de diferentes compostos nos grãos de trigo, incluindo proteínas, amido, lipídios, água entre outros e a interação dentro e entre estes componentes (ZINGALE et al., 2023; ZEIBIG et al., 2024; WYSOCKA et al., 2024; PERŠIĆ et al., 2023; PARENTI; GUERRINI; ZANONI, 2020).

Para a qualidade nutricional da farinha, um teor elevado dos compostos é o fator determinante de maior importância. Assim, é essencial a compreensão dos efeitos ambientais, pois a forma como o ambiente influencia no conteúdo dos compostos podem ser diferentes

(BRANLARD; DARDEVET, 1985). O conteúdo e a composição protéica são fortemente afetados por fatores ambientais que influenciam a disponibilidade de nitrogênio e o tempo de desenvolvimento da cultivar (KLIKOCCA et al., 2016). No entanto, esses dois fatores são impactados por uma variedade de componentes ambientais como temperatura, precipitação, umidade, período luminoso entre outros. Além do impacto ambiental, existe a influência agrônômica como as propriedades do solo, práticas de manejo de culturas, densidade de semeadura, tempo e quantidade de aplicação de fertilizantes nitrogenados (JOHANSSON et al., 2020).

As características de qualidade do grão de trigo dependem do genótipo, ambiente e das interações GxA (TAGHOUTI et al., 2010). De fato, muitos atributos de qualidade, como o conteúdo de proteínas nos grãos, são modificados por parâmetros climáticos, genótipo, taxa de fertilizantes nitrogenados, tempo de aplicação de nitrogênio e água disponível durante o enchimento dos grãos (KLIKOCCA et al., 2016). Trigos cultivados em terras altas do México geralmente produzem grãos com qualidade insuficiente para fins industriais como farinha e produtos de panificação. Nesse sentido, conhecer o efeito do meio ambiente e das práticas de manejo nas características da qualidade do trigo, contribuem para elevar seu potencial industrial (VALDÉS VALDÉS et al., 2013).

A época de semeadura é um dos fatores que mais afetam a produção e a qualidade dos grãos (FERRISE et al., 2010). A semeadura do trigo realizada no período do inverno-primavera possibilita a qualidade dos grãos a níveis exigidos pela indústria (VALDÉS VALDÉS et al., 2020). Assim, avaliar diferentes genótipos de trigo cultivados em diferentes ambientes pode ser útil na seleção de genótipos para fins específicos como a indústria de panificação ou biscoitos.

Características físicas como cor, peso e dureza determinam a qualidade do grão de trigo, de modo que grãos moles, duros ou muito duros estão relacionados à dureza do grão, que define o processo de moagem (TIAN et al., 2022a). A dureza dos grãos pode ser afetada por fatores ambientais como tipo de solo, irrigação, fertilizantes, práticas de manejo, precipitação e temperatura durante a maturação e pós-amadurecimento. A disponibilidade de nitrogênio no solo afeta a quantidade e a qualidade do conteúdo de proteína dos grãos (KLIKOCCA et al., 2016). As temperaturas máximas durante o enchimento dos grãos e a presença de água durante esta fase também estão associadas ao conteúdo de proteína dos grãos (LUO et al., 2000; VALDÉS VALDÉS et al., 2020). O aumento do conteúdo de proteínas de armazenamento pode ser um mecanismo compensatório para equilibrar o

conteúdo reduzido de amido (BALOCH et al., 2024; WANG et al., 2017). As temperaturas moderadamente altas de 25 a 32 °C têm um efeito positivo nas propriedades da massa, e alguns desses efeitos foram associados a um aumento na proporção de gliadinas, gluteninas e proteína total (LIU et al., 2019; ZHAO et al., 2022).

O melhoramento genético do trigo tem como um de seus objetivos a boa qualidade de panificação que envolve características como altos valores de proteínas, alta capacidade de absorção de água, boa extensibilidade de massa, tolerância a mistura e alto volume de pão (FU; WANG; DUPUIS, 2017).

Estudos sobre a qualidade tecnológica da farinha integral de trigo buscam por respostas quanto ao melhor desempenho das farinhas no processamento de pães e biscoitos (BHAT et al., 2019; MA et al., 2018; HEINIO et al., 2016; LI et al., 2014). Nesse sentido, poucos são os estudos para avaliar o efeito do farelo nas características reológicas da massa. O farelo quando é adicionado a farinha branca liga-se a uma grande quantidade de água, isso impede o desenvolvimento da massa, e o resultado de um glúten pouco hidratado são pães com menor volume (PIETIÄINEN et al., 2022). Além disso, o farelo de diferentes genótipos de trigo tem efeitos diferentes na qualidade da massa tanto em farinhas brancas como em farinhas integrais, que apresentam funcionalidades diferentes conforme suas partículas e grau de moagem (DOBLADO-MALDONADO et al., 2012).

2.7 FARINHA INTEGRAL DE TRIGO

Os cereais compõem uma importante fonte de energia para população mundial. No passado, alimentos feitos com farinha de trigo integral, porém com a industrialização nos anos 1900, ocorreu um desenvolvimento da indústria de moagem, ocasionando o aumento da produção de farinha branca refinada (HEINIO et al., 2016). O processo de refino da farinha foi impulsionado pelo processamento facilitado, segurança alimentar e preferências do consumidor pela farinha branca. Como resultado deste tipo de consumo ocorreu diminuição da ingestão de fibra alimentar e nutrientes presentes no grão integral (SLAVIN, 2000).

Entretanto, desde a década de 1970, tem havido uma crescente compreensão da importância da fibra alimentar na dieta humana. Isso tem trazido o reconhecimento da importância nutricional e dos benefícios à saúde do uso de grãos integrais quando comparados aos grãos refinados (HEINIO et al., 2016). Além de colaborar com a melhoria da saúde pública, o uso de cereais integrais na alimentação humana também contribuiria para segurança

alimentar e produção sustentável de alimentos (BHAT et al., 2019; FUNG; WANG; MENON, 2018). Dessa forma, verificou-se nos últimos anos um aumento de consumo de pão elaborado com a farinha integral, que contém frações de farelo (SAJDAKOWSKA et al., 2019). Isto tem sido importante pois os programas de melhoramento têm buscado por genótipos que atendam o mercado internacional e o mercado interno (DAPČEVIĆ-HADNAĐEV et al., 2022; LIN et al., 2019).

A farinha integral de trigo é composta pelos principais componentes do grão trigo, como o endosperma amiláceo, o gérmen e o farelo nas mesmas proporções relativas presentes na cariopse intacta (LADDOMADA; CARETTO; MITA, 2015; LI et al., 2022). Enquanto a proporção do endosperma é relativamente estável e representa aproximadamente 80% do grão inteiro, a quantidade de farelo e gérmen pode variar entre os genótipos de trigo (SHEWRY et al., 2023; SHEWRY et al., 2020). Outro fator de importância que afeta a composição dos grãos além do genótipo, são as condições ambientais de cultivos, e as interações GxA que podem afetar as proporções dos diferentes nutrientes do grão (GÓMEZ; GUTKOSKI; BRAVO-NÚÑEZ, 2020).

Embora a farinha de trigo seja usada principalmente como fonte de energia, os grãos integrais são uma excelente fonte de fibras alimentares, vitaminas, minerais e outros fitoquímicos bioativos, como os compostos antioxidantes (SANTOS et al., 2019; MARTINI et al., 2015, HEINIO et al., 2016). O trigo e os produtos à base de trigo podem perfeitamente servir de base para o desenvolvimento de alimentos funcionais. Por esse motivo, estudos tem sido realizados para investigar a qualidade nutricional e os benefícios à saúde pelo consumo dos grãos de trigo integrais (LEVÁKOVÁ; LACKO-BARTOŠOVÁ, 2017, NAVROTSKYI et al., 2019; LADDOMADA; CARETTO; MITA, 2015).

Alimentos que fornecem benefícios à saúde precisam ter alta aceitação sensorial para ser consumido, e é de grande importância identificar os fatores que interferem de forma negativa na aceitação sensorial de alimentos integrais (CHALLACOMBE et al., 2012). Além das propriedades sensoriais do produto, propriedades extrínsecas, como embalagem e, informações de rótulo, influenciam na aceitação de um produto (RUPPRECHT et al., 2020; VECCHIO; CAVALLO, 2019). As preferências de atributos sensoriais encontrados em pães fabricados com farinhas refinadas são frequentemente apontadas como a razão para a escolha por esse tipo de alimento. Por esse motivo, o consumo de pães feitos com farinha de trigo integral e outros cereais integrais possuem uma menor preferência de consumo (HEINIO et al., 2016, CHALLACOMBE et al., 2012).

Atributos de textura do pão são importantes características sensoriais para os consumidores, assim como odor e sabor, são fatores positivos para a aceitação do produto (WIJK et al., 2018). Testes de aceitação de pães feitos com farinha refinada e integral demonstram que as características sensoriais podem ser uma barreira ao consumo de pão integral, mas o uso de aditivos e adaptações de processamento podem melhorar as características sensoriais de tais produtos (HSIEH et al., 2017; WIJK et al., 2018). Uma alternativa para a maior aceitação de produtos integrais e promover o consumo de alimentos integrais seria a elaboração de maior variedade de alimentos integrais com características sensoriais comparáveis ao grão refinado (ARVOLA et al., 2007; SANDVIK et al., 2014).

Independentemente do tipo de trigo, a farinha de trigo integral é nutricionalmente superior ao grão refinado. Comparações com farinha refinada apontam para grandes diferenças em fibras e uma gama de micronutrientes quando comparadas com farinhas integrais (YU; NANGUET; BETA, 2013). Existe uma necessidade atual de desenvolver novos conceitos de produtos que sejam atraentes aos consumidores (MA; LEE; BAIK, 2018). Porém, a melhoria no sabor, textura e cor é o maior desafio a ser superado para a introdução definitiva de alimentos feitos com grãos integrais em comparação com os produtos refinados (HEINIO et al., 2016).

Estudos apontam o papel de compostos fenólicos, aminoácidos, peptídeos, ácidos graxos e açúcares, como compostos que apresentam influência em sabores mais ativos como notas de odor verde, doce e frutado, mas o sabor mais desafiador é a nota de amargor (HEINIO et al., 2008, CHALLACOMBE et al., 2012; WIJK et al., 2018). Os compostos bioativos apresentam sabor amargo ou adstringente e são pouco atrativos a grandes grupos de consumidores (ROSA et al., 2013; PIETIAINEN et al., 2022). Estudos de Kobue-Lekalake, Taylor e De Kock (2007) identificaram que o farelo de centeio, mais rico em fibras alimentares e antioxidantes, apresenta sabor intenso e amargo, que se torna mais intenso durante o armazenamento, porém sem aumento simultâneo de ranço. Além disso, produtos integrais podem apresentar uma maior oxidação de lipídios que pode levar a uma diminuição na qualidade nutricional, funcional e na aceitabilidade do consumidor de farinha e produtos à base de farinha integral de trigo (WEI; ZHU; NYSTRÖM, 2021; MARZOCCHI et al., 2022).

A adição de farelo resulta em reduções no cozimento e absorção de água em produtos de (pasta/macarrão) (FOSHIA et al., 2015). Da mesma forma, em produtos assados que foram enriquecidos com farelo de trigo observou-se uma redução de volume de pão, endurecimento do miolo, sabor amargo e cor escura (MA; LEE; BAIK, 2018; DE BONDT et al., 2021). Por

isso, apesar dos benefícios a saúde, o consumo de produtos integrais de cereais ainda está abaixo das recomendações dietéticas (D'COSTA; BORDENAVE, 2023; AGOSTONI et al., 2023), devido aos efeitos negativos do farelo na reologia da massa e nas propriedades sensoriais dos produtos finais (SIM et al., 2020; PROTONOTARIOU et al., 2020).

Doblado-Maldonado et al. (2012) observaram que o melhor desempenho de farinhas integrais de trigo para a panificação ocorria no período imediato a moagem. O estudo destes autores demonstrou que o volume do pão feito com farinha integral diminuiu gradativamente conforme aumentava o período de armazenamento da farinha, mesmo em baixas temperaturas. Dessa forma a farinha de trigo integral apresenta alguns desafios para as indústrias moageira e de panificação. Enquanto os procedimentos de moagem para farinhas refinadas são bem estabelecidos, as farinhas de grãos integrais não possuem uma técnica definida e resultam em farinhas com tamanhos de partículas e funcionalidades amplamente diferentes (KHALID; OHM; SIMSEK, 2017; LIU et al., 2015; BALA et al., 2023). Além disso, a farinha de trigo integral contém maior atividade enzimática (MARZOCCHI et al., 2022), maior conteúdo de lipídios (WEI; ZHU; NYSTRÖM, 2021) e antioxidantes (ADOM et al., 2005) do que a farinha refinada, o que pode afetar o uso final (KOKSEL et al., 2023) e as propriedades de armazenamento (WEI; ZHU; NYSTRÖM, 2021).

Um dos grandes desafios da industrialização de farinha integral é entender os efeitos da farinha integral de trigo no comportamento reológicos e nas propriedades tecnológicas da massa, além de avaliar a mobilidade e distribuição da água na massa de trigo. No geral, as propriedades dinâmicas da água e sua distribuição estão fortemente associadas à elasticidade e extensibilidade da massa e às propriedades texturais dos produtos finais. No entanto, os impactos do tamanho das partículas do farelo na mobilidade e distribuição da água na massa de trigo integral são importantes, porém ainda são pouco estudados (XIONG et al., 2017).

Um dos principais contribuintes para a má funcionalidade da farinha integral são as fibras alimentares. As fibras alimentares geralmente resultam em volume reduzido do pão e textura de baixa qualidade (FAN et al., 2024). Os efeitos negativos das fibras alimentares no volume e textura do pão podem ser explicados em muitos casos pela competição por água entre esses polímeros de carboidratos e proteínas do glúten, o que causa o enfraquecimento da massa (NAVROTSKYI et al., 2019; KOKSEL et al., 2023). Os componentes do farelo rompem a rede da matriz do glúten e reduzem a funcionalidade para reter a estrutura do pão durante a fermentação e o cozimento. Assim as fibras competem muito por água com outros

polímeros e afetam as propriedades viscoelásticas da massa e resultam em massas fracas (KHALID et al., 2017).

A massa de farinha de trigo integral tem um maior teor de fibra alimentar em comparação com as massas de farinha de trigo refinada, isso ocorre devido à incorporação de farelo de trigo na massa. Dessa maneira a fibra alimentar insolúvel interage com as proteínas do glúten para interromper a continuidade da rede de glúten (OOMS, DELCOUR, 2019; ZHOU et al., 2021) causando enfraquecimento na força das proteínas do glúten associadas às propriedades reológicas e ao desempenho de panificação. Este efeito leva a uma diminuição no volume do pão e uma distribuição desigual de células gasosas na estrutura do miolo da massa (BRESSIANI et al., 2017; SUI et al., 2018).

2.8 COMPOSTOS BIOATIVOS

A farinha integral tem maior concentração maior de compostos bioativos (BHAT et al., 2019; GÓMEZ; GUTKOSKI; BRAVO-NÚÑEZ, 2020; PERVEEN et al., 2024), como ácidos fítico e compostos fenólicos (LU et al., 2017; SANTOS et al., 2022) comparada com a farinha refinada. Os compostos bioativos são constituintes extranutricionais associados aos menores riscos de doenças crônicas, como doenças cardiovasculares e alguns tipos de câncer (ZHOU et al., 2022; GUPTA; MEGHWAL; PRABHAKAR, 2021).

Os compostos fenólicos são metabólitos secundários presentes nos grãos que realizam funções amplamente distribuídas nas plantas (MA et al., 2016). Os compostos fenólicos podem atuar como protetores da ação nociva da luz UV, insetos, fungos, vírus e bactérias. Atuam também como antioxidantes, controladores de hormônios vegetais, inibidores enzimáticos, agentes alelopáticos e estão envolvidos no processo de fixação de nitrogênio (SHAMLOO et al., 2017).

Os estudos sobre a presença de compostos fenólicos no trigo têm aumentado nos últimos anos devido a importância do consumo deste cereal e também sobre os efeitos benéficos a saúde humana (LIU; YU; WU, 2020). No grão de trigo, os compostos bioativos mais significativos com reconhecidos benefícios para a saúde são minerais, polifenóis em especial, os ácidos fenólicos, aminoácidos sulfurados, betaína, ácido fítico e vitaminas, que contribuem para as propriedades antioxidantes da farinha (FARDET, 2010; YU; NANGUET; BETA, 2013).

Entre os principais compostos bioativos no grão de trigo estão os ácidos fenólicos encontrados nas camadas externas do grão como nas camadas de aleurona, testa e pericarpo, e que compõem a fração denominada de farelo (SANTOS et al., 2019; MARTINI et al., 2014; BROUNS et al., 2012). Os compostos fenólicos totais são amplamente distribuídos nos grãos e estão presentes em altas concentrações em produtos integrais, pois estão presentes predominantemente nas frações de gérmen e farelo em comparação com o endosperma, e ambos são removidos para obter farinha refinada (LU et al., 2017). Esses compostos exercem uma ampla gama de bioatividades, mas seus efeitos benéficos à saúde humana são geralmente atribuídos à sua atividade antioxidante (SHEWRY; HEY, 2015; ADOM et al., 2005; ABDEL-AAL et al., 2001).

A ingestão de compostos bioativos depende do seu conteúdo total nos alimentos, mas sua liberação dos alimentos durante a digestão e absorção são dependentes da microestrutura da matriz alimentar (PALZER; ANJUM; MORRIS, 2009). O farelo de trigo e a camada de aleurona são matrizes com uma estrutura muito complexa. Nessas frações, a fibra dietética e os compostos bioativos estão presentes principalmente em formas ligadas, não como constituintes livres (MA et al., 2018; ROSA-SIBAKOV; POUTANEN; MICARD, 2015).

Os compostos fenólicos são encontrados em três frações diferentes em grãos de trigo: solúvel livre, solúvel conjugado e insolúvel ligado (BUENO-HERRERA; PÉREZ-MAGARIÑO, 2020). A maioria dos compostos fenólicos do trigo está presente principalmente na forma insolúvel ligada, que está ligada aos componentes da parede celular, como celulose, lignina e proteínas (TIAN et al., 2021; SIM et al., 2020). Dessa forma, aproximadamente 90% dos compostos fenólicos ocorre na forma insolúvel ligada, 9% nas formas conjugadas solúveis e menos que 1% existem nas formas livres solúveis (LUTHRIA; LU; JOHN, 2015).

Os fenólicos ligados à parede celular são lábeis em soluções alcalinas e, portanto, diferentes métodos e procedimentos de extração são necessários para obter os compostos fenólicos livres e ligados (LÓPEZ-PEREA et al., 2019; YU; NANGUET; BETA, 2013). O uso de ácido ascórbico e EDTA para a hidrólise e extração de ácidos fenólicos totais pode ser uma alternativa para melhorar a extração dos fenólicos. Este método garante uma melhor extração de ácidos fenólicos totais em uma ampla gama de matrizes alimentares, incluindo trigo (LUTHRIA; LU; JOHN, 2015).

O ácido fítico é uma forma primária de armazenamento de fósforo em muitos tecidos vegetais, e é considerado um antioxidante natural das plantas (ÖZKAYA et al., 2018; KULATHUNGA; SIMSEK, 2024). Foi demonstrado que o ácido fítico apresenta benefícios

na dieta na saúde humana quando adicionado a uma dieta pobre em fibras, incluindo propriedades anti carcinogênicas como câncer de cólon e atividade antioxidante (PU et al., 2019).

Os ácidos fenólicos podem eliminar radicais livres inibindo a peroxidação lipídica, mas sua eficiência e biodisponibilidade ao organismo dependem do conteúdo e da natureza dos compostos fenólicos (HORVAT et al., 2020; HERNANDEZ-ESPINOSA et al., 2020). Uma das vantagens dos compostos fenólicos ligados é sua capacidade de sobreviver à digestão no intestino superior, permitindo que cheguem ao cólon e, portanto, exerçam benefícios à saúde (KOKSEL et al., 2023). Além disso, os ácidos fenólicos apresentam alto poder como agentes anticâncer devido à sua atividade quimio preventiva e sua ação antioxidante (KHAN et al., 2023).

Os flavonoides são um grupo de compostos fenólicos que consistem em dois anéis aromáticos ligados por três carbonos (TIAN et al., 2022c; XU et al., 2023). O consumo regular de flavonoides em dietas protegem o sistema cardiovascular, além de apresentarem efeitos preventivos contra diabetes, obesidade e câncer. Além disso, individualmente ou em combinação, eles mostraram importantes propriedades anti inflamatórias e antioxidantes ou redução do impacto do estresse oxidativo quando a doença ocorre (BALLARD; JUNIOR, 2019; EKALU; HABILA, 2020).

Compostos fenólicos exercem importante função no crescimento e na reprodução das plantas, e contribuem para de propriedades sensoriais, como cor, sabor e aroma de frutas, vegetais, cereais e alimentos (XU; CHANG, 2009; GANESAN; XU, 2017). A elaboração de produtos à base de grãos integrais apresenta certa dificuldade, devido aos altos níveis de compostos fenólicos, que estão relacionados com o sabor amargo do produto, principalmente naqueles produtos derivados do farelo (CHALLACOMBE et al., 2012; HEINIO et al., 2008). Entretanto, estudos apontam que a contribuição dos ácidos fenólicos para as características de sabor dos produtos integrais é variável e depende da umidade do produto (GRAFENAUER et al., 2020; CHALLACOMBE et al., 2012).

Somente compostos fenólicos livres são influenciadores de sabor porque podem se aderir aos receptores gustativos. Por exemplo, o ácido ferúlico é o ácido fenólico mais abundante no trigo, mas está principalmente na forma ligada e, portanto, não interfere no sabor do grão (ROSA-SIBAKOV; POUTANEN; MICARD, 2015; HEINIO et al., 2008). Compostos fenólicos geralmente também atuam como antioxidantes em grãos de cereais e, portanto, são considerados benéficos para a saúde (BONDIA-PONS et al., 2009). Os

compostos fenólicos, como ácidos fenólicos, lignanas, alquilresorcinóis, benzoxazinoides entre outros estão localizados principalmente nas camadas externas do grão e, portanto, seu conteúdo é alto em produtos ricos em cereais integrais e farelos (LEVAKOVA et al., 2017; ANDERSSON et al., 2014).

A percepção de sabor amargo em pães, biscoitos e outras massas fabricados com trigo integral vermelho e branco está correlacionado com o teor total de ácidos fenólicos. (CHALLACOMBE et al., 2012; HSIEH et al., 2017; SIM et al., 2020). Os ácidos fenólicos livres e ligados se correlacionaram com a sabor amargo do miolo de pão, enquanto apenas os ácidos fenólicos ligados estavam correlacionados com o sabor amargo nos biscoitos. Essa diferença ocorre devido aos diferentes conteúdos de umidade dos produtos (CHALLACOMBE et al., 2012). No entanto, o motivo também pode estar na ligação diferente de compostos aos receptores gustativos. A influência dos compostos fenólicos ligados ao sabor é em geral menor do que aquela dos compostos livres (SOARES et al., 2013). Por esse motivo, numerosos estudos foram realizados para investigar a qualidade nutricional e os benefícios à saúde dos grãos de trigo integral.

Dessa forma a farinha integral de trigo pode ser formada por muitos grupos de compostos com propriedades antioxidantes, pois eles são encontrados em abundância nos grãos integrais e contribuem para as atividades antioxidantes dos cereais (JIANG et al., 2024; PERVEEN et al., 2024; ROSA-SIBAKOV; POUTANEN; MICARD, 2015). Porém, as propriedades antioxidantes da farinha de trigo integral são influenciadas pelos genótipos, ambiente de cultivo e pela interação entre os dois fatores, os quais afetam a composição de compostos antioxidantes nos grãos de trigo (BUCZEK et al., 2023; SHAMLOO et al., 2017; TIAN et al., 2022a).

Por este motivo, muitos trabalhos investigaram a composição química e quantificação dos compostos fenólicos em trigos cultivados em várias condições ambientais (ZRCKOVÁ et al., 2019; KHARE et al., 2024; QUINTERO et al., 2018; KOWALSKA et al., 2022). O ácido ferúlico foi o principal ácido fenólico presente em grãos de trigo, e foi identificado em todas as cultivares e locais (KOWALSKA et al., 2022). Segundo Laddomada et al. (2021), o ano e as condições de crescimento possuem um maior efeito nos conteúdos individuais e totais de ácidos fenólicos, seguidos pelo genótipo e sua interação. Ainda apontam que, o estresse por calor aumentou o acúmulo de ácidos fenólicos como p-cumárico, siríngico e vanílico, mas reduziu o conteúdo dos principais ácidos como ácido ferúlico, enquanto a seca severa causou um aumento no teor de ácido ferúlico e no teor total de compostos fenólicos.

Além disso, a quantificação dos teores de compostos fenólicos em diferentes amostras é influenciada pela polaridade dos solventes extratores e pela solubilidade deste composto no solvente utilizado no processo de extração (LÓPEZ-PEREA et al., 2019; ABOZED et al., 2014; VAHER et al., 2010; LADDOMADA; MITA, 2015;). Alguns estudos apontam diferenças significativas entre os diferentes solventes, no entanto a acetona recuperou o maior teor de fenólicos totais, depois do metanol e da acetona (ABOZED et al., 2014). Alternativamente, um método simples que utiliza ácido ascórbico e EDTA pode ser usado para a hidrólise e extração de ácidos fenólicos totais. Este método fornece melhoria na extração de ácidos fenólicos totais de muitas matrizes alimentares, incluindo trigo (LUTHRIA et al., 2014).

2.9 LEGISLAÇÃO SOBRE A QUALIDADE DA FARINHA

Com o crescimento da demanda por alimentos saudáveis, a indústria de alimentos tem identificado uma crescente preferência dos consumidores por alimentos integrais (WIJK et al., 2018). Dessa forma, os estudos sobre farinhas integrais tem chamado a atenção de pesquisadores.

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), publicou a instrução normativa nº711/2022 que passa a vigorar a partir de 1º de setembro de 2022. Esta normativa dispõe sobre os requisitos sanitários dos amidos, biscoitos, cereais integrais, cereais processados, farelos, farinhas, farinhas integrais, massas alimentícias e pães.

No parágrafo VII do artigo 2º, a definição das farinhas integrais menciona que “a farinha integral é um produto resultante da trituração ou moagem de cariopses intactas de alpiste, amaranto, arroz, arroz selvagem, aveia, centeio, cevada, fonio, lágrimas-de-Jó, milheto, milho, painço, quinoa, sorgo, teff, trigo, trigo sarraceno e triticale, onde os componentes anatômicos - endosperma amiláceo, farelo e gérmen - estão presentes na proporção típica que ocorre no grão intacto, sendo permitidas perdas de até 2% do grão ou 10% do farelo” (BRASIL-Ministério da Saúde, 2022).

Com relação aos requisitos de composição e rotulagem dos alimentos contendo cereais e pseudocereais para classificação e identificação como integral e para destaque da presença de ingredientes integrais a IN 712/2022 define que, “serão classificados como integral quando

os seguintes requisitos de composição forem atendidos no produto tal como exposto à venda que contiver, no mínimo, 30% de ingredientes integrais e a quantidade dos ingredientes integrais for superior à quantidade dos ingredientes refinados” (BRASIL-Ministério da Saúde, 2022).

O conhecimento da composição da farinha integral e o comportamento da massa na panificação é extremamente importante, pois ajuda a prever as características finais do produto (GUERRINI et al., 2020; NAVROTSKY et al., 2019). Dessa forma, a legislação colabora para reger o conjunto de normas adequadas para produtos específicos fabricados com cereais refinados e integrais. Portanto, testes reológicos e outros testes são realizados para simular e prever o que ocorre durante o processamento (LI et al., 2023; GAO et al., 2022). Entre os testes reológicos utilizados para determinar a qualidade de farinhas, a farinografia, a extensografia, a alveografia e a análise de propriedades de pasta são os mais importantes e realizados com maior frequência (WYSOCKA et al., 2024; SAKA et al., 2021; BOITA et al., 2016). Além disso, também são realizadas medidas indiretas do teor de α -amilase da farinha, conhecida como “falling number” e a determinação dos teores e índice de glúten (HE et al., 2019; GUAN et al., 2020).

Em geral, o alveógrafo é mais apropriado para prever a funcionalidade proteica de farinhas de trigo, enquanto o farinógrafo e o mixógrafo são comumente usados para avaliar farinhas destinadas a produção de pães (SAKA et al., 2021). Entretanto, os resultados do alveógrafo são afetados pela presença de farelo de trigo nas farinhas. Como o alveógrafo mede a massa de absorção fixa, ter farelo envolvido afetará muito a quantidade de água disponível para a formação de glúten. Além disso, as partículas de farelo podem romper fisicamente a matriz do glúten, levando à ruptura prematura das bolhas (GAO et al., 2022; LI et al., 2023a; LI et al., 2014).

Outra forma para prever as propriedades reológicas da farinha de trigo é o uso do farinógrafo. As características da farinha de trigo fornecidas pelo farinógrafo são um dos principais indicadores de referência, sendo amplamente utilizadas na indústria para controle de qualidade e como monitoramento do processamento (BARTELL; ANYIENI; GUO, 2022; BOCK; DON, 2022). Entre as principais propriedades fornecidas pelo farinógrafo estão a absorção de água, tempo de desenvolvimento da massa e estabilidade da massa. Cada uma dessas propriedades do farinógrafo possui uma informação de referência na qualidade da massa. O tempo de desenvolvimento da massa está relacionado principalmente ao teor de proteína, pois uma farinha mais forte requer um tempo de desenvolvimento mais longo. A absorção de água está intimamente relacionada a composição do glúten e do amido, e um

maior tempo de estabilidade do farinógrafo é um indicativo de farinhas fortes. Como a qualidade do produto final é afetada pelas propriedades da massa durante o processamento, muitos estudos têm se dedicado a melhorar os produtos verificando as características da farinha integral de trigo usando o farinógrafo (AĞIRBAŞ; YAVUZ-DÜZGÜN; ÖZÇELİK, 2021; BOCK; DON, 2022; AYDOĞAN et al., 2022).

3 ARTIGO A: COMPOSIÇÃO E REOLOGIA DE FARINHAS INTEGRAIS DE GENÓTIPOS DE TRIGO CULTIVADOS EM DIFERENTES AMBIENTES

RESUMO

A farinha integral de trigo possui grande importância nutricional e seus benefícios à saúde tem estimulado o consumo de grãos integrais e seus derivados. A farinha integral de trigo é composta por frações do grão, como endosperma, farelo e gérmen. Dessa forma, a composição dos grãos e a reologia podem ser variáveis entre os genótipos e entre os ambientes de cultivo. Portanto, o objetivo desse estudo foi avaliar a composição e reologia de genótipos de farinhas integrais de trigo cultivados em diferentes ambientes. Foram avaliados o teor de umidade, proteína, lipídios, número de queda, coloração L*, a* e b* e farinografia de dez genótipos de trigo (BRS Atobá, TBIO Sonic, BRS Sabiá, BRS Galha Azul, IPR Catuara, TBIO Sossego, TBIO Toruk, IPR Potyporã, BRS Sanhaço e IPR Batovi) cultivados em três ambientes de cultivo do estado do Paraná, contrastantes quanto aos aspectos edafoclimáticos (Londrina, Ponta Grossa e Pato Branco). O delineamento experimental adotado foi de blocos casualizados com quatro repetições. A composição das farinhas é afetada pela região de cultivo, sendo o ambiente de Londrina o ambiente mais favorável para a produção de farinha integral de trigo pois apresentou maiores teores de proteínas e maior absorção de água. Já o ambiente de Ponta Grossa proporcionou farinhas com elevadas características reológicas como estabilidade e desenvolvimento da massa. Os genótipos avaliados apresentaram diferenças significativas entre si, com o uso da análise de componentes principais o genótipo IPR Potyporã apresentou um comportamento favorável com relação a absorção de água e teor de proteínas, caracterizando como melhor genótipo para produção de farinhas integrais.

Palavras chave: *Triticum aestivum*, farinografia, absorção de água, número de queda.

ABSTRACT

Whole wheat flour has great nutritional importance and its health benefits have encouraged the consumption of whole grains and their derivatives. Whole wheat flour is composed of whole grain fractions, such as endosperm, bran and germ. Thus, grain composition and rheology can vary between genotypes and cultivation environments. Therefore, the objective of this study was to evaluate the composition and rheology of whole wheat flour genotypes grown in different environments. The moisture, protein, lipid, falling number, L*, a* and b* coloration and farinography of ten wheat genotypes (BRS Atobá, TBIO Sonic, BRS Sabiá, BRS Galha Azul, IPR Catuara, TBIO Sossego, TBIO Toruk, IPR Potyporã, BRS Sanhaço and IPR Batovi) cultivated in three cultivation environments of the state of Paraná, contrasting in terms of soil and climate aspects (Londrina, Ponta Grossa and Pato Branco), were evaluated. The experimental design adopted was randomized blocks with four replications. The composition of the flours is affected by the cultivation region, with the Londrina environment being the most favorable environment for the production of whole wheat flour because it presented higher protein contents and greater water absorption. The Ponta Grossa environment provided flours with high rheological characteristics such as stability and dough development. The genotypes evaluated present significant differences between them, with the use of principal component analysis the IPR Potyporã genotype presented a favorable behavior in relation to water absorption and protein content, characterizing it as the best genotype for the production of wholemeal flours.

Key words: *Triticum aestivum*, farinography, water absorption, falling number.

3.1 INTRODUÇÃO

O trigo comum (*Triticum aestivum* L.), corresponde a 95% do trigo cultivado em todo o mundo, é caracterizado por altos rendimentos e alta qualidade tecnológica (SHEWRY, 2009; DILMURODOVICH; BEKMURODOVICH; SHAKIRJONOVICH, 2022; GUERRINI et al., 2020). O trigo é consumido em grande parte na forma de farinha refinada branca, porém o reconhecimento da importância nutricional e dos benefícios à saúde tem estimulado o consumo de grãos integrais e seus derivados (SANTOS et al., 2019; MARTINI et al., 2015). A farinha de trigo integral é composta por frações inteiras do grão, como endosperma, farelo e gérmen, e é uma fonte rica de fibras alimentares, vitaminas, minerais e antioxidantes (LADDOMADA; CARETTO; MITA, 2015; LI et al., 2022). Enquanto a proporção do endosperma é relativamente estável e representa aproximadamente 80% do grão inteiro, a quantidade de farelo e gérmen pode variar entre os genótipos de trigo (SHEWRY et al., 2023; SHEWRY et al., 2020).

O sabor, a cor e a textura dos alimentos preparados com ingredientes integrais precisam ser aprimorados para melhorar a aceitação do consumidor (PROTONOTARIOU et al., 2020). A inclusão de frações de cereais em produtos alimentares geralmente impacta suas propriedades tecnológicas e sensoriais (ROSA-SIBAKOV; POUTANEN; MICARD, 2015). Produtos de panificação fabricados com farinha integral apresentam efeitos de redução no volume ou altura do pão, modificações texturais como aumento da dureza do miolo e perda de crocância, mudanças na cor e sabor (GÓMEZ; GUTKOSKI; BRAVO-NÚÑEZ, 2020; ELSAHOOKIE, CHEYED, DAWOOD; 2021).

A qualidade da farinha de trigo é determinada pela presença, conteúdo e composição de diferentes compostos nos grãos de trigo, incluindo proteínas, amido, lipídios, água entre outros e a interação dentro e entre estes componentes (ZINGALE et al., 2023; ZEIBIG et al., 2024; WYSOCKA et al., 2024). O farelo, principal componente da farinha integral, é rico em lipídios, fenólicos e fibras, e possivelmente interferem na funcionalidade da farinha causada pela interação com os outros componentes bioquímicos. Essas interações podem impactar a qualidade da massa e causar diferentes reações no processo de panificação (KHALID; OHM, SIMSEK; 2017). A ocorrência de altas temperaturas nos locais de cultivos geralmente afeta a qualidade dos grãos, pois encurtam o período de enchimento dos grãos e muitas vezes reduzindo drasticamente o acúmulo de amido em relação ao de proteínas, o que pode resultar em aumento da concentração de proteína nos grãos (ZHAO et al., 2022; CALL et al. (2020).

Como a composição do trigo influencia as características reológicas da farinha de trigo, o conhecimento da composição da farinha integral e o comportamento da massa na panificação são de extrema importância para prever as características finais do produto (GUERRINI et al., 2020; NAVROTSKY et al., 2019). Portanto, testes reológicos e outros são realizados para simular e prever o que ocorre durante o processamento da massa (LI et al., 2023a; GAO et al., 2022). Entre os testes reológicos utilizados para determinar a qualidade de farinhas, a farinografia é realizada com maior frequência (WYSOCKA et al., 2024; SAKA et al., 2021; BOITA et al., 2016). As características da farinha de trigo fornecidas pelo farinógrafo são um dos principais indicadores de referência, sendo amplamente utilizadas na indústria para controle de qualidade e como monitoramento do processamento (BARTELL; ANYIENI; GUO, 2022; BOCK; DON, 2022). Entre as principais propriedades fornecidas pelo farinógrafo estão a absorção de água, tempo de desenvolvimento da massa e estabilidade da massa e essas propriedades fornecem informações que estão relacionadas com a composição do glúten, amido e teor de proteínas (AĞIRBAŞ; YAVUZ-DÜZGÜN; ÖZCELİK, 2021; BOCK; DON, 2022; AYDOĞAN et al., 2024).

Além disso, a qualidade da farinha também é influenciada por fatores genéticos e ambientais, pois a origem dos grãos de trigo é um fator importante que afeta a qualidade dos produtos integrais de trigo (LI et al., 2023b). Em estudo realizado por Cai et al. (2014) foi demonstrado que a composição da farinha integral de trigo varia significativamente entre as cultivares e é também influenciada pelo ambiente de cultivo. Além disso, a absorção de água, estabilidade da massa e tempo de desenvolvimento da massa obtidos pelo farinógrafo de diferentes trigos apresentaram resultados significativamente diferentes (AYDOĞAN et al., 2024).

A farinha de trigo integral tem um grande impacto nas propriedades reológicas da massa e nos atributos de qualidade dos produtos finais (LI et al., 2014). Dessa forma, conhecer as características reológicas no processo de desenvolvimentos de produtos é necessário, porém pouco conhecida em farinhas integrais (CUI et al., 2023; HUSSAIN; SIMSEK, 2024). Portanto, para obtenção dos produtos de grãos integrais de qualidade, a seleção de genótipos de trigo deve ser focada em farinhas integrais que possuem propriedades funcionais favoráveis (MA; LEE; BAIK, 2018). Além disso, o conhecimento da composição e sua relação com os atributos de qualidade são importantes para a identificação de genótipos com aptidão na fabricação de farinhas integrais (KOKSEL et al., 2023; ZENG et al., 2023; SUN et al., 2023b; LI et al., 2023b). Assim para entender melhor as características das farinhas integrais foram determinadas os valores de absorção de água (AA), consistência da massa,

tempo de desenvolvimento da massa (TD), estabilidade da massa (E), índice de tolerância a mistura (ITM) e o tempo de quebra (TQ), para avaliar a reologia das farinhas integrais dos genótipos de trigo testadas.

Assim o objetivo desse estudo foi determinar as características de composição química e a reologia das farinhas integrais de diferentes genótipos de trigo cultivados em diferentes ambientes. As informações obtidas neste estudo poderão ser usadas de base para compreender o desempenho de diferentes genótipos de trigo na produção de farinhas integrais com melhor qualidade.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Genótipos Avaliados

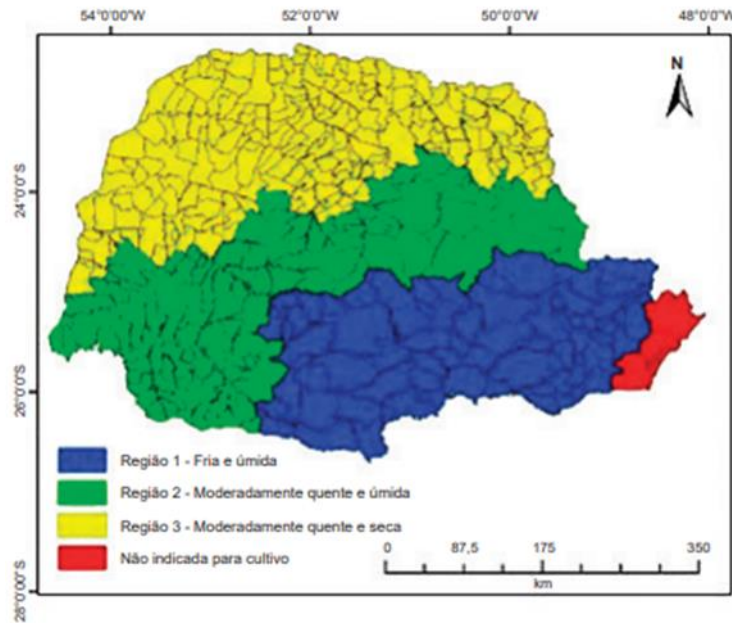
Foram avaliados 10 genótipos de trigo entre eles BRS Atobá, TBIO Sonic, BRS Sabiá, BRS Gralha Azul, IPR Catuara, TBIO Sossego, TBIO Toruk, IPR Potyporã, BRS Sanhaço e IPR Batovi (Tabela 1), participantes do programa de melhoramento genético do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IDR Paraná, cultivados na safra de 2020.

Tabela 1 – Genótipos de trigo, instituição obtentora, ano de lançamento e classe comercial dos genótipos avaliados nos experimentos realizados nos municípios de Londrina, Ponta Grossa e Pato Branco na safra de 2020.

Genótipo	Obtentor	Lançamento	Classe comercial
BRS Atobá	Embrapa	2018	Pão (PR 1; PR 3; MS 3) Melhorador (PR 2)
BRS Gralha Azul	Embrapa	2012	Melhorador (PR 3; MS 3; SC 1; SC 2) Pão (PR 1; PR 2; SP 2)
BRS Sabiá	Embrapa	2014	Doméstico (SC 1; PR 3; MS 3) Pão (SC 2; PR 1; PR 2; SP 2)
BRS Sanhaço	Embrapa	2016	Pão (PR 1; PR 2; SP 2; PR 3; MS 3)
IPR Catuara	IAPAR	2012	Melhorador
IPR Potyporã	IAPAR	2016	Pão
IPR Batovi	IDR	-	-
TBIO Sonic	Biotrigo	2017	Melhorador
TBIO Sossego	Biotrigo	2015	Pão
TBIO Toruk	Biotrigo	2014	Melhorador

O experimento foi realizado nos municípios de Ponta Grossa (região de adaptação e cultivo 1 - região fria, úmida e alta altitude), Pato Branco (região de adaptação e cultivo 2 – moderadamente quente, úmida e baixa altitude) e Londrina (região de adaptação e cultivo 3 – quente, moderadamente seca e baixa altitude). O delineamento experimental adotado foi de blocos casualizados com quatro repetições. Cada parcela foi composta por seis linhas experimentais de cinco metros de comprimento e espaçadas com 17 cm. O espaçamento entre parcelas foi de um metro e dois metros entre blocos.

Figura 2. Regiões homogêneas de adaptação de cultivares de trigo no estado do Paraná.



Fonte: Brasil (2008)

3.2.2 Obtenção Dos Grãos

A colheita dos grãos foi realizada após atingirem a maturação de colheita (estádio fenológico 11.4, escala de Feekes). Para as análises de composição e reologia da farinha integral foram coletados 500 g dos grãos de cada uma das quatro repetições, e analisados em “bulking”.

3.2.3 Propriedades Químicas Da Farinha Integral De Trigo

Os grãos de trigo de cada genótipo foram moídos em moinho de martelo (Perten Laboratory Mill 3100). A partir da farinha dessa moagem foram determinadas as análises de composição química e reologia da farinha.

3.2.3.1 Umidade

A umidade foi determinada (porcentagem) pela perda do peso original de 2 gramas da farinha integral de trigo, durante 1 hora em estufa à temperatura constante de 130 °C como descrito no Método 925.10 da AOAC (1995).

3.2.3.2 Lipídios

Os lipídios foram determinados por extração com solvente utilizando o método proposto por Onwuliri & Obu (2002) com modificações. Cerca de 2,0 g de farinha integral de trigo foram secos em estufa a 105°C por 3 horas, e após resfriamento os lipídios foram extraídos com éter de petróleo (35-60°C) por 5 horas. A redução da massa da farinha integral de trigo corresponde aos lipídios, e foi expressa em porcentagem.

3.2.3.3 Proteína

A proteína no grão de trigo foi determinada pelo método de Kjeldahl (AACC método 46-13) e usando o fator 5,7 para converter o valor de nitrogênio em proteína total.

3.2.3.4 Número de queda (NQ)

O número de queda que determina o grau de germinação do trigo foi avaliado segundo o método AACC 56-81 B. O número de queda foi obtido por meio da mensuração da capacidade da enzima alfa-amilase em liquefazer um gel de amido, sendo realizada a tomada de tempo (em segundos) requerida à mistura para permitir a queda do agitador até uma distância fixa, sob um gel aquoso da farinha de trigo integral submetida a uma temperatura constante de 100 °C (AACC, 2000).

3.2.3.5 Cor do grão

A cor dos grãos de trigo foi avaliada com o colorímetro Minolta Chroma Meter 410 C, como descrito em Kim e Flores, (1999). Os resultados foram expressos em valores L*, a* e b*, onde os valores de L* (luminosidade ou brilho) variam do preto (0) ao branco (100), os valores do croma a* variam do verde (-60) ao vermelho (+60) e os valores do croma b* variam do azul ao amarelo, ou seja, de -60 a +60, respectivamente.

3.2.4 Propriedades Reológicas Da Farinha Integral De Trigo

3.2.4.1 Farinografia

A farinografia das farinhas integrais de trigo foi realizada de acordo com o método nº 54-21 da AACC (2000), na qual é determinada a propriedade de mistura da farinha, por meio da medida da resistência de uma massa contra a ação de mistura. O modelo do farinógrafo utilizado foi o (Brabender farinograph-AT, Duisburg, Alemanha), com cuba de masseira de 50 g. Os seguintes parâmetros serão determinados pela análise: absorção de água (%), tempo de chegada, tempo de desenvolvimento, tempo de saída e estabilidade da massa (minutos) e índice de tolerância à mistura. As determinações foram ajustadas para 14 % de umidade.

3.2.5 Análises Estatísticas

Todas as análises de composição química e reologia foram realizadas em duplicata. Os dados foram submetidos a análise de variância e a comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de significância, utilizando o pacote de análise de experimentos Expdes do programa estatístico R. As análises de componentes principais, análise de agrupamento hierárquico foram realizadas no programa estatístico Xlstat (ADDINSOFT, 2010).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os genótipos comerciais de trigo apresentam características apropriadas para a indústria moageira e de panificação. Para avaliar a qualidade dos grãos e da farinha de trigo refinada, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2010) sugeriu o número de queda, força do glúten e a estabilidade da massa. No entanto, para produção de farinha integral de trigo, esses genótipos ainda não foram completamente estudados e avaliados quanto as suas características químicas e reológicas (CUI et al., 2023; HUSSAIN; SIMSEK, 2024).

A análise de variância mostrou efeitos significativos de genótipo, ambientes e genótipo x ambiente para os teores de umidade, lipídios, proteínas, e coloração L*, a* e b* de farinhas integrais de trigo avaliadas em diferentes ambientes (Tabela 2). O ambiente apresentou a maior influência em todas as características avaliadas exceto a* na qual o genótipo teve maior efeito.

Tabela 2 – Resumo da análise de variância para características de composição e coloração de farinhas integrais de genótipos de trigo cultivados em diferentes ambientes.

Fontes	Gl	Umidade	Lipídios	Proteína	L*	a*	b*
Genótipo (G)	9	0,3*	0,78 *	3,16 *	3,58 *	0,87 *	3,33 *
Ambiente (A)	2	1,13*	1,46 *	36,15 *	67,00 *	0,84 *	8,00 *
GxA	18	0,2*	0,43 *	0,66 *	1,25 *	0,16 *	0,82 *
Erro	30	0*	0,00 *	0,00 *	0,16	0	0,3

* indica significância a $p < 0.05$. Gl: graus de liberdade.

Valores dos quadrados médios apontam que o ambiente possui maior efeito em comparação aos genótipos e a interação do genótipo e ambiente. Isso indica que o ambiente é diverso e as diferenças entre as médias ambientais causaram variação no desempenho dos genótipos. Dessa forma, o fator o ambiente é de maior de impacto no desempenho dos genótipos nas características de composição do grão nesse estudo. Isso pode ser atribuído às diferenças ambientais apresentadas nos locais de cultivo, como a distribuição irregular de chuva na estação de crescimento, fertilidade do solo, faixa de altitude, pragas e doenças entre outros (SHUNBURA; RORISA; GEDEFA, 2024). A presença de significância entre GxA indica que o fenótipo de um genótipo pode ser superior a outro genótipo em um ambiente, mas inferior em outro ambiente diferente (ÖZTÜRK, 2024; MARTÍNEZ-PEÑA; 2023).

O número de queda, absorção de água, tempo de desenvolvimento da massa, estabilidade da massa, índice de tolerância à mistura e tempo de queda das farinhas testadas foram significativamente dependentes do ambiente de cultivo, genótipo e da GxA (Tabela 3). Além disso, a análise de variância para as características de número de queda, absorção de água, consistência da massa e índice de tolerância à mistura tiveram maiores efeitos para os genótipos, enquanto que o tempo de desenvolvimento da massa, estabilidade da massa e tempo de chegada tiveram maiores efeitos para o ambiente.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância para características de NQ (número de queda), AA (Absorção de água), consistência da massa, TD (tempo de desenvolvimento da massa), E (estabilidade da massa), ITM (índice de tolerância a mistura) e TB (tempo de queda) de farinhas integrais de genótipos de trigo cultivados em diferentes ambientes.

Fontes	Gl	NQ	AA	Consistência	TD	E	ITM	TB
Genótipo (G)	9	39674,33 *	25,14 *	3949,30 ns	14,57 *	69,78 *	2206,00 *	107,25 *
Ambiente (A)	2	13439,27 *	13,35 *	4917,37 ns	45,83 *	128,95 *	2082,72 *	12971 *
GxA	18	4277,64 *	2,16 *	4830,62 ns	5,80 *	24,77 *	240,62 *	39,62 *
Erro	30	212,8	0,02	4261,65	0,18	1,69	13,18	1,55

* indica significância a $p < 0.05$ Gl: graus de liberdade.

No presente estudo, os genótipos avaliados em diferentes ambientes de cultivo apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) no teor de umidade (Tabela 4), lipídios (Tabela 5), proteínas (Tabela 6), número de queda (Tabela 10) e coloração medida como L^* , a^* e b^* (Tabelas 7, 8 e 9).

A umidade da farinha integral dos trigos avaliados apresentou diferença significativa nos ambientes estudados. O menor teor de umidade foi encontrado no genótipo TBIO Sonic cultivado em Ponta Grossa (9,56 %) e a maior umidade encontrada foi com o genótipo BRS Sabiá cultivado em Londrina (11,01%). Todos os genótipos apresentaram diferenças estatisticamente significativas nos ambientes avaliados, exceto BRS Sanhaço. Entre os ambientes avaliados, Ponta Grossa apresentou farinhas com os menores teores de umidade e Londrina com os maiores teores.

Tabela 4 - Médias de umidade (%) de farinhas integrais de genótipos de trigos cultivados em diferentes ambientes

Genótipo	Umidade (%)		
	Londrina	Pato Branco	Ponta Grossa

BRS Atobá	10,12 a A	10,71 d B	10,99 f C
BRS Gralha Azul	10,32 a B	10,34 a B	9,73 a A
BRS Sabiá	11,01 d C	10,54 abcd B	10,1 b A
BRS Sanhaço	10,58 b A	10,53 abcd A	10,56 e A
IPR Catuara	11,42 e C	10,5 abc B	10,16 b A
IPR Potyporã	10,69 bc B	10,38 ab A	10,29 bcd A
IPR Batovi	10,05 d B	10,55 bcd A	10,42 cde A
TBIO Sonic	10,22 a B	10,39 ab C	9,56 a A
TBIO Sossego	10,96 d B	10,47 abc A	10,44 de A
TBIO Toruk	10,85 cd C	10,65 cd B	10,22 bcd A
Médias	10,62 C	10,51 B	10,25 A

*Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si $p < 0.05$ pelo teste de Tukey.

O teor de lipídios também apresentou diferença significativa entre os genótipos avaliados e entre os diferentes ambientes de cultivo (Tabela 5). O menor teor encontrado foi de 1,26 % com o genótipo TBIO Toruk e a maior teor foi de 3,43 % com o genótipo BRS Sábida cultivados em Ponta Grossa. O maior teor de lipídios foi encontrado em Londrina (2,04 %) e o maior em Ponta Grossa (2,57 %). Gómez, Gutkoski e Bravo-Núñez (2020) realizaram um estudo com a finalidade de entender os efeitos da farinha integral na fabricação de pães e relatam composições de lipídios de 0,98 g/100g em farinhas refinadas e 2,73 g/100g em farinhas integrais.

Farinhas integrais possuem vantagens quando comparadas com farinhas refinadas, porém teores de lipídios elevados podem causar ranço devido aos níveis de atividade da lipase (YADAV et al., 2021; MARZOCCHI et al., 2022). Os lipídios presentes no trigo desempenham um papel importante na panificação, em particular para a estabilização das células gasosas na massa durante o processo de panificação (KHALID et al., 2017). Porém, um dos principais problemas da farinha integral de trigo é a baixa estabilidade lipídica. Assim, os grãos integrais são muito mais suscetíveis à oxidação lipídica do que a farinha refinada (DOBLADO-MALDONADO et al., 2012). Grande parte dos ácidos graxos em grãos integrais são insaturados, e são facilmente oxidados sob condições normais de armazenamento de farinha (WEI; ZHU; NYSTRÖM, 2021; POUDEL; ROSE, 2018). A maioria das enzimas de degradação lipídica como a lipase e lipoxigenase estão concentradas no farelo e no gérmen, que são as camadas mais externas do grão. Dessa forma, uma alternativa para o controle da ação dessas enzimas seria um eventual desgaste desses tecidos por perolização antes da moagem para aumentar a estabilidade do armazenamento (DE BRIER; DELCOUR, 2017). Além disso, tratamentos térmicos secos das camadas externas do

grão também foram propostos para inativar as enzimas que causam ranço (JACOBS et al., 2016). Entretanto, os genótipos TBIO Toruk e IPR Batovi teriam os teores mais desejáveis de lipídios para fabricação de farinhas integrais, pois apresentam teor mais baixo quando comparado com os demais genótipos estudados, e não necessitariam de tratamentos externos de controle da lipase para seu uso e armazenamento.

Um estudo realizado por Melis, Morales, Delcour (2019) sobre a composição lipídica de farinhas de trigo apontaram um conteúdo médio de lipídios de 3,0% presentes em grãos de trigo. De modo geral, os genótipos estudados no presente estudo apresentaram um baixo teor de lipídios para produção de farinha integral. O melhoramento genético do trigo tem feito grandes progressos na melhoria do desempenho de genótipos de trigo para atender o mercado consumidor (WEI; ZHU; NYSTRÖM, 2021).

Tabela 5 - Médias de lipídios (%) de farinhas integrais de genótipos de trigos cultivados em diferentes ambientes

Genótipo	Lipídios (%)		
	Londrina	Pato Branco	Ponta Grossa
BRS Atobá	1,64 a A	2,01 b B	2,75 de C
BRS Gralha Azul	2,08 bc A	2,84 fg B	2,75 de B
BRS Sabiá	2,17 c A	2,89 g B	3,43 f C
BRS Sanhaço	2,3 c A	2,34 cde A	2,3 e B
IPR Catuara	1,85 ab A	2,59 ef C	2,16 bc B
IPR Potyporã	2,12 bc A	2,81 fg B	2,7 de B
IPR Batovi	1,69 a B	1,35 a A	2,37 c C
TBIO Sonic	1,75 a A	2,22 bcd B	3,37 f C
TBIO Sossego	2,69 d C	2,47 de B	1,9 bc A
TBIO Toruk	2,06 bc B	2,08 bc B	1,26 a A
Médias	2,04 A	2,36 B	2,57 C

*Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si $p < 0.05$ pelo teste de Tukey.

Entre as farinhas integrais dos diferentes genótipos avaliados, o menor teor de proteína encontrado foi 13,15 % no genótipo TBIO Toruk cultivado em Ponta Grossa, e o maior 18,18 % no genótipo BRS Sanhaço cultivado em Londrina (Tabela 6). Entre os locais avaliados, o menor teor foi encontrado em farinhas integrais de genótipos produzidos em Pato Branco (14,67 %) e o maior em Londrina (17,04 %). Em geral a ocorrência de altas temperaturas encurtam o período de enchimento dos grãos, muitas vezes reduzindo drasticamente o acúmulo de amido em relação ao acúmulo de proteínas, o que pode resultar em aumento da concentração de proteína nos grãos (ZHAO et al., 2022; CALL et al. 2020).

Tabela 6 - Médias de proteína (%) de farinhas integrais de genótipos de trigos cultivados em diferentes ambientes

Genótipo	Proteína (%)					
	Londrina		Pato Branco		Ponta Grossa	
BRS Atobá	17,49	f A	15,86	g B	15,85	f B
BRS Gralha Azul	16,25	b C	14,39	cd A	14,99	cd B
BRS Sabiá	16,54	c C	14,83	e B	13,76	a A
BRS Sanhaço	18,18	h C	15,28	f B	15,09	de A
IPR Catuara	18,1	h C	16,23	h B	15,19	e A
IPR Potyporã	17,67	g C	14,52	d A	15,96	f B
IPR Batovi	16,31	b C	14,29	cd A	14,89	cd B
TBIO Sonic	15,75	a C	14,41	cd B	14,04	b A
TBIO Sossego	17,18	e C	13,77	b A	14,08	b B
TBIO Toruk	16,89	d C	13,15	a A	13,6	a B
Médias	17,04	C	14,67	A	14,75	B

*Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si $p < 0.05$ pelo teste de Tukey.

Genótipos com altos teores de proteína geralmente apresentam propriedades funcionais elevadas em comparação com aqueles com baixos teores de proteína (PUNIA; SANDHU; SIROHA, 2019). Em um trabalho realizado por Navrotsky, et al (2019) sobre farinhas de trigo integral reconstituídas com farelo de tamanho de partículas finas e grossas, foram encontrados valores médios de teor de proteínas de 20,4% independentemente do tamanho de partícula da farinha. Estudos baseados em diferentes teores de proteínas em trigo, indicaram que a quantidade de proteína afetou positivamente as propriedades funcionais e bioativas (CALL et al., 2020; PUNIA; SANDHU; SIROHA; 2019).

Em um estudo de comparação de ambientes de cultivo o teor de proteínas variou de 10,1 % a 13,4 %, no qual o ambiente de cultivo apresentou o maior efeito sobre a quantidade de proteínas seguido da interação do genótipo X ambiente e com menor influencia o genótipo (PANDINO et al., 2020). Um estudo sobre a estabilidade das características de qualidade de farinha, o ambiente de cultivo também teve maior efeito no teor de proteínas em estudo realizado por Singh et al. (2018), no qual os teores médios de proteína variaram de 11.86 a 12.61 % em três ambientes distintos.

Uma maior concentração de proteína foi observada em genótipos de trigo durum cultivados em ambiente caracterizado por temperaturas altas durante o enchimento de grãos (GAGLIARDI et al., 2020). Temperatura moderadamente alta durante o enchimento de grãos, entre 25 °C e 35 °C, e curtos períodos de temperatura muito alta (>35 °C) no final da fase de enchimento de grãos, são frequentemente associados à uma diminuição no rendimento de grãos e um aumento na concentração de proteína nos grãos (FERREIRA et al., 2012).

Em geral, a composição do farelo varia entre diferentes genótipos de trigo e ambientes de cultivo (GU et al., 2023, CAI et al., 2014). Além disso, devido à distribuição diferente de componentes químicos entre as camadas do farelo, o tamanho da moagem pode influenciar significativamente a composição química do farelo (NAVROTSKYI et al., 2019).

O conteúdo de proteína do trigo tem sido mais associado a efeitos ambientais, como precipitação e temperatura, fertilidade do solo e regimes de manejo de fertilizantes, do que ao controle genético (CROSBIE; FISHER, 1987; SIMMONDS 1989). Alguns trabalhos relatam efeitos significativos do genótipo, do ambiente e efeito significativo do GxA, corroborando para os resultados encontrados nesse estudo (SALEEM et al. 2015; KONDIĆ-ŠPIKA et al., 2019; GUPTA et al., 2022).

Entre todos os genótipos de trigo testadas, as cores foram medidas com três parâmetros (L^* , a^* e b^*) e todas apresentaram diferença significativa entre os genótipos estudados (Tabelas 7,8 e 9). A cor dos grãos, uma importante característica para produção de farinhas integrais, é considerada uma característica determinante na qualidade e responsável pela aceitabilidade e consumo do produto (KOKSEL et al., 2023; PERVEEN et al., 2024).

A medida de L^* apresentou de 41,36 a 47,62 nos genótipos BRS Sanhaço e TBIO Toruk nos locais de Londrina e Ponta Grossa, respectivamente. A localidade que apresentou o menor valor de L^* foi Londrina (42,85) e o maior valor foi Ponta Grossa (46,1). Os genótipos TBIO Sossego e TBIO Toruk foram os únicos que apresentaram diferenças significativas nos três ambientes avaliados.

Tabela 7 - Médias do parâmetro de cor (L^*) de farinhas integrais de genótipos de trigo cultivados em diferentes ambientes

Genótipo	L^*		
	Londrina	Pato Branco	Ponta Grossa
BRS Atobá	43,44 cd A	42,44 ab A	45,48 ab B
BRS Gralha Azul	43,44 cd A	42,8 ab A	46,05 bc B
BRS Sabiá	44,14 d A	44,29 c A	45,52 ab B
BRS Sanhaço	41,36 a A	41,8 a A	44,89 ab B
IPR Catuara	43,54 cd A	44,51 c A	46,24 bc B
IPR Potyporã	42,3 abc A	42,78 ab A	46,11 bc B
IPR Batovi	41,85 ab A	41,79 a A	44,62 a B
TBIO Sonic	43,45 cd A	43,73 bc A	47,12 cd B
TBIO Sossego	42,96 bcd B	41,9 a A	47,38 cd C
TBIO Toruk	41,98 ab A	44,21 c B	47,62 e C
Médias	42,85 A	43,03 A	46,1 B

*Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si $p < 0.05$ pelo teste de Tukey.

Os valores médios de cor a^* avaliados em diferentes ambientes apresentaram variação de 6,31 com o genótipo TBIO Sonic cultivado em Ponta Grossa, a 7,96 para o genótipo BRS Atobá cultivado em Pato Branco. O genótipo IPR Catuara não apresentou diferença estatisticamente diferente entre os três ambientes avaliados para essa característica. Entre os locais avaliados a variação foi de 7,08 a 7,48 nos municípios de Ponta Grossa e Pato Branco, respectivamente.

Tabela 8 - Médias do parâmetro de cor (a^*) de farinhas integrais de genótipos de trigos cultivados em diferentes ambientes

Genótipo	a^*		
	Londrina	Pato Branco	Ponta Grossa
BRS Atobá	7,87 d B	7,96 e B	7,21 cde A
BRS Gralha Azul	7,51 c B	7,97 e C	6,9 b A
BRS Sabiá	7,7 cd B	7,45 cd A	7,37 ef A
BRS Sanhaço	6,95 b A	7,7 de B	7,00 bcd A
IPR Catuara	7,16 b A	7,23 c A	7,24 de A
IPR Potyporã	6,34 a A	6,85 b B	6,93 bc B
IPR Batovi	7,53 c A	7,97 e B	7,65 f A
TBIO Sonic	6,91 b B	6,47 a A	6,31 a A
TBIO Sossego	7,12 b B	7,54 d C	6,77 b A
TBIO Toruk	7,04 b A	7,66 d C	7,39 ef B
Médias	7,21 B	7,48 C	7,08 A

*Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si $p < 0.05$ pelo teste de Tukey.

A comparação dos genótipos entre os ambientes avaliados para coloração b^* apresentou variação de 16,01 do genótipo IPR Potyporã cultivado em Londrina e 20,74 do genótipo TBIO Toruk cultivado em Ponta Grossa. Além disso o genótipo BRS Gralha Azul não apresentou diferença significativa entre os ambientes avaliados. Entre os locais a variação foi de 17,79 cultivados em Londrina a 18,97 cultivados em Ponta Grossa.

Tabela 9 - Médias do parâmetro de cor (b*) de farinhas integrais de trigos cultivados em diferentes ambientes

Genótipo	b*		
	Londrina	Pato Branco	Ponta Grossa
BRS Atobá	19,21 e B	18,62 f A	18,47 ab A
BRS Gralha Azul	18,32 d A	18,42 f A	18,48 ab A
BRS Sabiá	19,21 e B	18,29 ef A	19,64 e C
BRS Sanhaço	16,65 b A	17,29 bc B	18,05 a C
IPR Catuara	17,89 cd A	18,08 def A	19,37 de B
IPR Potyporã	16,01 a A	16,56 a B	18,91 bcd C
IPR Batovi	17,42 c A	17,80 cde A	19,07 cde B
TBIO Sonic	17,82 cd B	17,20 b A	18,34 ab C
TBIO Sossego	17,44 c A	17,70 bcd A	18,66 bc B
TBIO Toruk	17,95 cd A	19,92 g B	20,74 f C
Médias	17,79 A	17,99 B	18,97 C

*Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si $p < 0.05$ pelo teste de Tukey.

No estudo realizado por Zhang, Kim e Kweon (2024) para avaliar o impacto da dureza dos grãos de trigo nas características de qualidade, encontrou valores de L*, a* e b* nos intervalos de 29,2 a 37,9, 6,8 a 11,5 e 9,2 a 15,8, respectivamente. Outro estudo sobre grãos e farinhas de trigo e sua influência com o teor de proteínas, identificaram valores de coloração L* de 71.2 a 79.4, a* de 1.55 a 2.45 e de b* de 8.49 a 12.00 (PUNIA et al., 2019).

A cor é uma característica de grande importância para produção de produtos integrais (GÓMEZ; GUTKOSKI; BRAVO-NÚÑEZ, 2020). Em geral, pães integrais ou pães elaborados com farinhas reconstituídas apresentam coloração mais escura, um sabor específico, um volume menor e uma textura mais densa (HEINIÖ et al., 2016; KIHLEBERG et al., 2004).

A farinha integral de trigo possui em geral cor mais escura (redução do valor L*), menos amarelada (redução do valor b*) e mais avermelhada (aumento de a*) (VIGNOLA et al., 2018). A cor escura dos produtos integrais é pouco atraente para os consumidores que preferem por produtos refinados. Assim, uma estratégia seria o uso de genótipos de trigo de grãos brancos, pois além de possuir cor mais clara, apresentam sabor mais suave (HEINIÖ et al., 2016). Entretanto, Camire et al. (2006), em um estudo sobre aceitabilidade de produtos integrais, observaram que embora não tenham sido encontradas diferenças na aceitabilidade dos produtos feitos com farinhas de trigo de grãos vermelhos e brancos integral, os consumidores interpretaram os produtos feitos com trigo de grãos vermelho como mais saudáveis.

Os valores do número de queda (NQ) dependeram significativamente do genótipo, do ambiente de cultivo e da interação GxA (Tabela 10). Além disso, a característica também diferiu entre os diferentes ambientes avaliados, exceto nos genótipos BRS Atobá, BRS Sabiá, TBIO Sonic e TBIO Toruk que não diferiram nos ambientes avaliados, apresentando comportamento estável. A atividade enzimática amilolítica significativamente mais baixa (530,2 segundos) foi encontrada em farinhas de grãos cultivados em Londrina e mais alta em Ponta Grossa (478,5 segundos).

Tabela 10 - Médias de número de queda (NQ) de farinhas integrais de genótipos de trigos cultivados em diferentes ambientes

Genótipo	Número de queda		
	Londrina	Pato Branco	Ponta Grossa
BRS Atobá	527,5 c A	523,5 bc A	544,5 f A
BRS Gralha Azul	610,5 ef B	487,5 bc A	452 cd A
BRS Sabiá	556 cd A	582 d A	547,5 f A
BRS Sanhaço	578,5 de B	559,5 cd B	512,5 ef A
IPR Catuara	645,5 fg B	555,5 cd A	624 g B
IPR Potyporã	668 g C	563 cd B	469,5 cde A
IPR Batovi	293 a A	411,5 a B	327,5 a A
TBIO Sonic	449 b A	437,5 a A	428,5 bc A
TBIO Sossego	548,5 cd B	538,5 cd B	480 de A
TBIO Toruk	425,5 a A	418,5 a A	399 a A
Médias	530,2 C	507,7 B	478,5 A

*Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si $p < 0.05$ pelo teste de Tukey.

Uma das formas de avaliar da qualidade da farinha é medindo a atividade enzimática amilolítica e, é geralmente analisado usando o método do número de queda (NQ) desenvolvida por Hagberg (1960) e Perten (1964) que consiste em um teste padrão para determinar o grau de funcionalidade/qualidade do grão. A farinha de trigo com um NQ igual ou superior a 300 segundos é considerada sólida e de boa qualidade enquanto NQ igual ou inferior a 160 segundos é considerada inutilizável na fabricação de pães (JOHNSTON et al., 2019). Entre os genótipos avaliados, todos apresentaram um número de queda apropriados para a panificação e desenvolvimento de produtos derivados da farinha integral de trigo. A influência das condições meteorológicas no NQ também é indicada por outros autores (WYSOCKA et al., 2024; RAKITA et al., 2023). Além da influência do ambiente, o genótipo também apresentou efeito significativo. O valor mais alto de NQ foi caracterizado por

farinhas integrais do genótipo IPR Potyporã (668 segundos) e o menor do genótipo IPR Batovi (293 segundos) ambos cultivados em Londrina (Tabela 9).

A atividade das enzimas amilolíticas indicadas para panificação deve estar em um nível médio (NQ de 220 - 280 s). O uso de farinha com alta atividade enzimática (NQ abaixo de 160 s) para panificação resulta em um pequeno volume e uma crosta escamosa, enquanto o pão assado com farinha com atividade enzimática muito baixa (NQ acima de 300 s) irá apresentar um miolo compacto, com tendência a esfarelar e um formato esférico (WYSOCKA et al., 2024). Nesse estudo, todas as farinhas testadas atenderam aos requisitos de qualidade para a característica NQ.

A absorção de água (AA), uma das características reológicas de maior importância para a qualidade da farinha e de grande importância para a indústria moageira, apresentou variação significativa entre os ambientes estudados, a farinha integral do genótipo TBIO Toruk cultivado em Pato Branco tiveram a AA significativamente menor (66.60 %), enquanto a maior absorção de água registrada foi do genótipo IPR Potyporã (75.60 %) cultivado em Londrina (Tabela 11). Entre os ambientes avaliados a menor média foi de 70.07% em Ponta Grossa e a maior média de 71.49% em Londrina. Todos os genótipos estudados nesse trabalho apresentaram diferenças significativas entre si e entre os ambientes avaliados, demonstrando variabilidade para característica, e que ela é responsiva ao ambiente e existe forte interação do genótipo com o ambiente.

Tabela 11 - Médias de absorção de água (%) de farinhas integrais de genótipos de trigos cultivados em diferentes ambientes

Genótipo	Absorção de água (%)		
	Londrina	Pato Branco	Ponta Grossa
BRS Atobá	74.20 f C	70.10 d A	71.00 e B
BRS Gralha Azul	72.10 e C	71.60 e B	71.00 e A
BRS Sabiá	70.90 d B	69.10 c A	69.00 c A
BRS Sanhaço	74.00 f C	71.40 e A	72.60 f B
IPR Catuara	70.10 bc A	72.60 f C	71.00 e B
IPR Potyporã	75.60 g C	73.30 g B	72.80 f A
IPR Batovi	69.80 b B	69.50 c B	68.30 b A
TBIO Sonic	69.00 a B	67.30 b A	69.60 d C
TBIO Sossego	70.40 cd B	69.30 c A	69.60 d A
TBIO Toruk	68.80 a C	66.60 a B	65.80 a A
Médias	71.49 B	70.08 a B	70.07 A

*Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si $p < 0.05$ pelo teste de Tukey.

A absorção de água da farinha de trigo, especialmente a farinha de trigo integral, pode afetar significativamente as propriedades reológicas da massa e a qualidade do produto final (SAPIRSTEIN et al., 2018; CAI et al., 2023; HUSSAIN et al., 2024). No sistema de massa integral, a formação de glúten pode ser restringida pela farinha de trigo integral que possui uma alta capacidade de absorção de água (BOCK, 2019). Possivelmente, polissacarídeos não amiláceos no farelo de trigo, como os arabinoxilanos, competem por água com os principais polímeros da massa, glúten e amido no sistema de massa de trigo integral, e interrompem o comportamento de agregação de proteínas (LI et al., 2014; HUSSAIN et al., 2024).

A presença das camadas externas do grão de trigo na composição da farinha integral de trigo promove mecanismos diferenciados de hidratação (CETINER et al., 2024). O farelo pode se ligar à água por meio de ligações de hidrogênio ou através dos nanoporos da matriz do farelo, como também pode se ligar à água de forma relativamente mais fraca através de fenômenos de empilhamento (BRESSIANI et al., 2017).

O aumento da absorção de água por farinhas integrais pode ser atribuído ao alto teor de arabinose e xilose presentes no farelo, que absorvem maior quantidade de água devido à sua estrutura química (CETINER et al., 2024). Essa absorção de água elevada pode ser atribuída à natureza higroscópica dos arabinoxilanos, que se integram bem à matriz da massa, elevando sua capacidade de retenção de água (HUSSAIN et al., 2024). Independente do genótipo, farinhas integrais de trigo com menor tamanho de partícula, classificadas como fina, apresentam uma maior absorção de água, seguidas por farinhas de partículas de tamanho médio e grossa (BRESSIANI et al., 2017; XIONG et al., 2017).

A influência significativa das condições ambientais no parâmetro AA também foi indicada no estudo realizado com farinha de trigo integral (Sobolewska et al. 2020). A variação de AA entre genótipos também foi indicada em estudos sobre os efeitos das frações do farelo na qualidade da massa e no pão integral e identificaram absorções de água de 70% quando a farinha de trigo permaneceu com todos os componentes do grão Khalid, Ohm e Simsek (2017). A AA da farinha é influenciada por muitos fatores, incluindo teor de proteínas, quantidade e qualidade de proteínas do glúten, atividade da enzima amilolítica (NQ) e teor de cinzas (SAPIRSTEIN et al., 2018).

Alguns estudos sobre a reologia de massas de farinha de trigo integral apontam que a reologia da massa pode ser diferente entre genótipos de trigo, que está associada ao conteúdo e composição das proteínas do glúten (DE BONDT et al., 2021; SUN 2023).

A consistência da massa variou de 492.50 unidades farinográficas (FU) para os genótipos TBIO Sossego cultivado em Pato Branco e BRS Sabiá cultivado em Ponta Grossa, a 517.00 FU para o genótipo BRS Gralha Azul. Porém, todas as farinhas de trigo integrais estudadas nesse trabalho atingiram o teor ótimo de absorção de água com base na consistência da massa a 500 FU (Tabela 12).

Tabela 12 - Médias de consistência da massa (FU) de farinhas integrais de genótipos de trigo cultivados em diferentes ambientes

Genótipo	Consistência (FU)		
	Londrina	Pato Branco	Ponta Grossa
BRS Atobá	516.00 a A	514.00 a A	498.50 a A
BRS Gralha Azul	503.50 a A	517.00 a A	514.50 a A
BRS Sabiá	498.00 a A	499.00 a A	492.50 a A
BRS Sanhaço	499.00 a A	515.00 a A	506.50 a B
IPR Catuara	502.00 a A	516.50 a A	500.50 a A
IPR Potiporã	501.50 a A	511.50 a A	509.50 a A
IPR Batovi	507.00 a A	496.00 a A	500.00 a A
TBIO Sonic	505.00 a A	496.00 a A	499.00 a A
TBIO Sossego	509.50 a A	492.50 a A	506.50 a A
TBIO Toruk	510.50 a A	504.50 a A	506.00 a A
Médias	505.20 A	506.20 A	508.35 A

*Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si $p < 0.05$ pelo teste de Tukey.

O TD da massa apresentou variação mínima de 4.40 minutos com o genótipo IPR Batovi cultivado em Londrina, e de 14.75 minutos com o genótipo BRS Gralha Azul cultivado em Ponta Grossa que exigiu mais tempo para hidratar e obter a consistência máxima de massa especificada (Tabela 13). O tempo de desenvolvimento refere-se ao tempo necessário para que a massa atinja seu pico máximo, medido em minutos. Esse tempo está relacionado à qualidade e ao conteúdo de proteína da farinha e sua capacidade de ligação de água, além das condições aplicadas durante o teste (BIEL et al., 2021; NAUMENKO et al., 2021). Em um estudo realizado por Huang et al. (2021) com farinhas integrais reconstituídas, a variação do TD foi de 4.2 minutos a 6.0 minutos.

Além da influência dos genótipos já mencionados, as condições ambientais de crescimento também afetam os parâmetros obtidos pelo farinógrafo. Entre os ambientes estudados, Pato Branco apresentou os menores médias de tempo de desenvolvimento da

massa (6.14 min) e Ponta Grossa a maior média de tempo (9 min). Os genótipos BRS Sanhaço e TBIO Toruk não apresentaram diferenças entre os ambientes estudados, sendo estáveis quanto a essa característica em diferentes ambientes de cultivo. A alta variabilidade das características reológicas de farinhas de trigo influenciadas pela localização e ano de produção foi relatada por Tomić et al. (2015).

Tabela 13 - Médias de tempo de desenvolvimento (Min) de farinhas integrais de genótipos de trigos cultivados em diferentes ambientes.

Genótipo	Tempo de desenvolvimento (Min)		
	Londrina	Pato Branco	Ponta Grossa
BRS Atobá	8.95 de B	7.00 cde A	10.35 c C
BRS Gralha Azul	6.25 bc A	6.55 bcde A	14.75 e B
BRS Sabiá	5.10 ab A	5.10 a A	7.00 b B
BRS Sanhaço	6.15 bc A	5.75 abc A	6.60 ab A
IPR Catuara	8.55 de B	6.20 abcd A	11.95 d C
IPR Potyporã	4.85 ab A	5.15 ab A	7.75 b B
IPR Batovi	4.40 ab A	5.00 a AB	5.50 ab B
TBIO Sonic	10.05 e B	5.40 ab A	11.15 cd C
TBIO Sossego	6.20 bc A	7.65 e B	7.80 b B
TBIO Toruk	6.60 c A	7.60 de A	7.15 b A
Médias	6.71 B	6.14 A	9.00 C

*Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si $p < 0.05$ pelo teste de Tukey.

A E da massa dos genótipos avaliados individualmente nos diferentes ambientes variou de 2.70 minutos com o genótipo IPR Potyporã e um tempo máximo de 19.40 com o genótipo TBIO Sonic cultivados em Londrina (Tabela 14). As farinhas integrais dos genótipos BRS Atobá, BRS Sanhaço, IPR Potyporã e IPR Batovi apresentaram os menores tempos de estabilidade de massa em todos os ambientes avaliados. Entre os ambientes estudados, as menores médias de estabilidade da massa foram encontradas em Pato Branco e Londrina (6.03 e 6.92 minutos) e a maior média foi em Ponta Grossa (10.81 minutos).

Entre os genótipos avaliados, apenas os genótipos IPR Catuara e TBIO Sonic apresentaram estabilidade superior a 12 minutos. Boita et al., (2016) encontrou valores de estabilidade da massa de 13.8 minutos em farinha refinadas e de 8.9 em farinhas integrais reconstituídas com farelo, sugerindo que a E é influenciada pela quantidade de farelo presente nas farinhas integrais.

Tabela 14 - Médias de estabilidade da massa (min) de farinhas integrais de genótipos de trigos cultivados em diferentes ambientes

Genótipo	Estabilidade da massa (min)		
	Londrina	Pato Branco	Ponta Grossa
BRS Atobá	5.70 a A	5.40 a A	7.95 ab A
BRS Gralha Azul	6.25 a A	6.00 a A	16.75 c B
BRS Sabiá	4.75 a A	7.05 ab A	15.80 c B
BRS Sanhaço	4.30 a A	4.05 a A	5.50 ab A
IPR Catuara	11.90 b B	5.85 a A	19.05 c C
IPR Potyporã	2.70 a A	3.50 a A	5.25 ab A
IPR Batovi	3.05 a A	3.90 a A	5.05 ab A
TBIO Sonic	19.40 c C	6.50 ab A	15.70 c B
TBIO Sossego	4.85 a A	10.55 b B	7.25 ab A
TBIO Toruk	6.30 a A	7.50 ab AB	9.75 b B
Médias	6.92 A	6.03 A	10.81 B

*Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si $p < 0.05$ pelo teste de Tukey.

A estabilidade (E) indica a capacidade da massa de manter sua consistência e estabilidade durante o batimento, ou seja, ela representa a quantidade de tempo pela qual se tem a consistência adequada. Isto contribui para a formação de uma estrutura estável e com volume. A massa de boa qualidade tem estabilidade de 4 a 12 minutos e indica o tempo em que a massa mantém a consistência máxima. Dessa maneira, um valor de estabilidade elevado indica que a massa mantém sua consistência por um período mais longo. Por outro lado, um fator de estabilidade baixo indica que a massa pode se tornar menos consistente e instável mais rapidamente (HUSSAIN; SIMSEK, 2024; KALNINA et al., 2015).

A estabilidade da massa medida pelo farinógrafo é um indicador importante da resistência da massa, com valores mais altos indicando uma massa mais forte. Boita et al. (2016) sugeriram que a redução na estabilidade de farinhas integrais ou reconstituídas com farelo pode ser causado pela presença de uma quantidade maior de fibras no sistema. Isso pode reduzir a formação de pontes dissulfeto intermoleculares responsáveis pela maior estabilidade da massa durante a mistura (BOCK; 2019; KHALID; OHM, SIMSEK; 2017).

O ITM apresentou diferença significativa entre todos os genótipos e entre todos os ambientes avaliados. O menor valor encontrado foi para o genótipo IPR Catuara e a maior para IPR Potyporã (13.00 e 110.00 UF) ambos cultivados em Londrina (Tabela 15). Entre os ambientes avaliados, as menores médias apresentadas foram em Ponta Grossa (28.50 UF), e as maiores foram encontradas em Londrina e Pato Branco (46.20 e 46.15 UF). Entre os genótipos estudados, o genótipo IPR Potyporã apresentou os maiores valores de índice de

tolerância em todos os ambientes avaliados. Como os valores são superiores aos indicados para massas de maior qualidade industrial, isso indica que ele apresenta tolerância reduzida, o que pode dificultar o processamento da massa.

O índice de tolerância a mistura expressa a diferença em unidades farinográficas (UF) entre o pico e o topo da curva após cinco minutos. As farinhas com um ITM de 30 UF ou menos são classificadas como muito boa a excelente em tolerância à mistura, enquanto um ITM acima de 50 UF sugere tolerância reduzida e desafios durante o processamento mecânico (HUSSAIN; SIMSEK, 2024). Os genótipos BRS Sanhaço, IPR Potyporã e IPR Batovi apresentaram ITM superiores a 50 UF o que pode indicar dificuldade no processamento dessas farinhas. Já os genótipos TBIO Sonic, IPR Catuara, BRS Sabiá e BRS Gralha Azul apresentaram ITM inferiores a 30 UF, indicando que essas farinhas apresentam alta tolerância a mistura mecânica.

Tabela 15 - Médias de índice de tolerância a mistura de farinhas integrais de trigos cultivados em diferentes ambientes.

Genótipo	Índice de tolerância a mistura (UF)		
	Londrina	Pato Branco	Ponta Grossa
BRS Atobá	50.50 d C	41.50 bc B	26.00 bc A
BRS Gralha Azul	29.00 b B	39.00 bc C	13.50 a A
BRS Sabiá	36.00 bc B	22.00 a A	20.50 ab A
BRS Sanhaço	57.00 de B	68.00 d C	44.50 de A
IPR Catuara	13.00 a A	40.00 bc B	16.50 ab A
IPR Potyporã	110.00 f C	90.00 e B	51.00 e A
IPR Batovi	69.00 e C	48.50 c B	37.50 cd A
TBIO Sonic	16.50 a A	36.00 b B	14.50 ab A
TBIO Sossego	46.00 cd B	37.00 bc A	35.00 cd A
TBIO Toruk	35.00 bc B	39.50 bc B	26.00 bc A
Médias	46.20 B	46.15 B	28.50 A

*Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si $p < 0.05$ pelo teste de Tukey.

O tempo de quebra da massa (TQ) apresentou variação os genótipos avaliados nos três ambientes de 5.34 (min) para o genótipo BRS Sanhaço cultivado em Ponta Grossa e 28.15 (min) com o genótipo TBIO Sonic cultivado em Londrina (Tabela 16). Entre os ambientes avaliados, Pato Branco apresentou as menores médias de 9.86 (min) de TQ, e Ponta Grossa a maiores médias 15.99 (min) de TQ. Os genótipos IPR Catuara e TBIO Sonic apresentaram diferenças significativas em todos os ambientes avaliados. Já os genótipos IPR Batovi, TBIO Sossego e TBIO Toruk não diferiram nos ambientes avaliados. Entre os ambientes, Pato

Branco apresentou a menor média e Ponta a maior média (9.86 e 15.99 minutos respectivamente).

Tabela 16 - Médias de tempo de quebra de farinhas integrais de genótipos de trigo cultivados em diferentes ambientes

Genótipo	Tempo de quebra (Min.)		
	Londrina	Pato Branco	Ponta Grossa
BRS Atobá	12.55 b A	11.05 ab A	16.20 c B
BRS Gralha Azul	11.40 b A	10.70 ab A	24.15 d B
BRS Sabiá	9.00 ab A	11.70 b A	22.80 d B
BRS Sanhaço	9.15 ab B	8.10 ab AB	5.34 a A
IPR Catuara	17.90 c B	9.95 ab A	25.00 d C
IPR Potyporã	6.60 a A	7.20 a A	11.05 b B
IPR Batovi	6.45 a A	7.90 ab A	9.30 ab A
TBIO Sonic	28.15 d C	9.90 ab A	21.40 d B
TBIO Sossego	9.15 ab A	10.85 ab A	11.75 b A
TBIO Toruk	10.60 ab A	11.25 ab A	12.95 bc A
Médias	12.10 B	9.86 A	15.99 C

*Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si $p < 0.05$ pelo teste de Tukey.

3.3.1 Análise Multivariada Da Composição E Reologia De Farinhas Integrais De Trigo Cultivados Em Diferentes Ambientes

Para avaliar de forma simultânea a composição, cor de grão e as características de reologia das farinhas integrais dos diferentes genótipos de trigo em diferentes ambientes, a análise multivariada (ACP) foi aplicada (Figura 3). Com a ACP é possível visualizar a existência de um padrão de comportamento das classes na distribuição espacial formado pelos dois primeiros fatores (GOUVEIA et al., 2014).

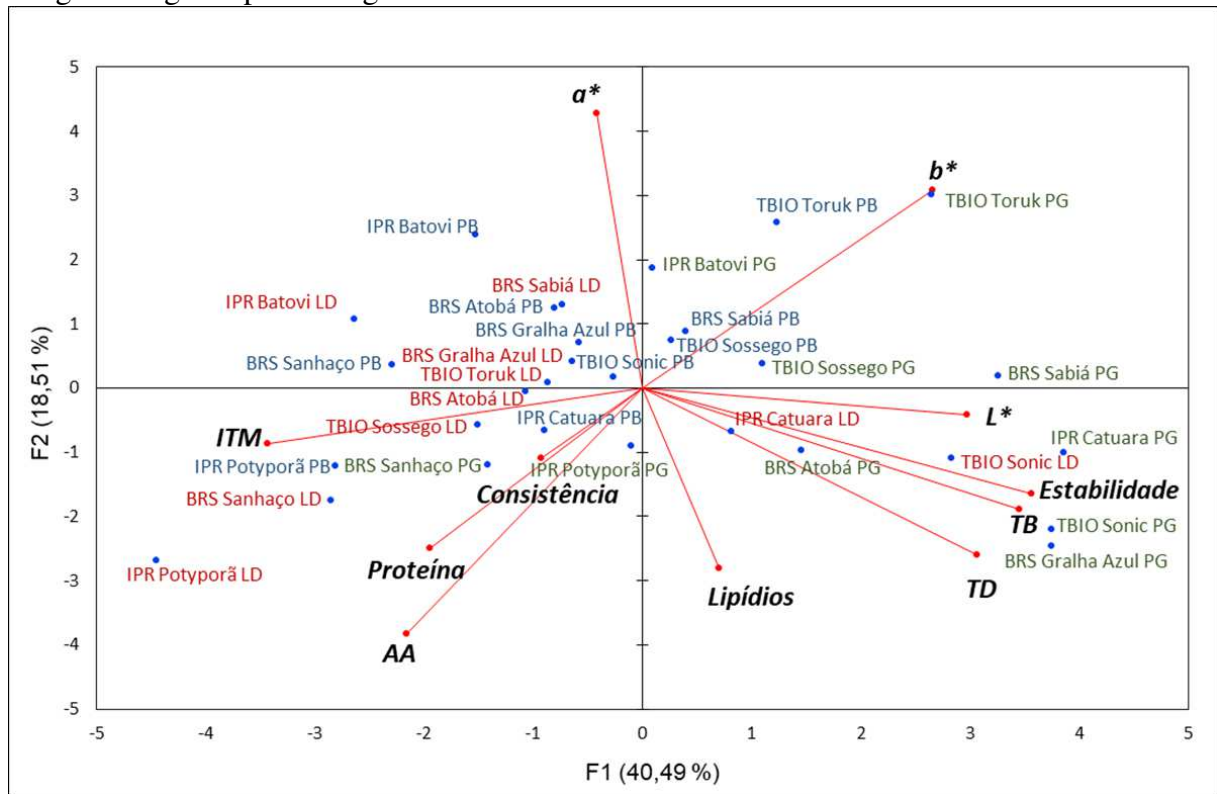
Na ACP aplicada neste estudo os dois primeiros fatores explicaram 40,49% e 18,51% da variabilidade respectivamente, totalizando 59,00% da variabilidade existente. Na projeção os valores de estabilidade da massa, tempo de desenvolvimento da massa, tempo de chegada da massa, L^* e b^* contribuíram para a formação de F1 (+). Os valores de proteína, consistência da massa e índice de tolerância a mistura contribuíram para a formação de F1 (-). Os valores de a^* formaram o F2 (+), enquanto lipídios e absorção de água contribuíram na formação de F2 (-).

Na projeção formada pelos dois primeiros fatores da ACP, os genótipos foram separados pelas características de composição e reologia da farinha. Os genótipos TBIO Sonic e IPR Catuara cultivados em Londrina, IPR Catuara, BRS Gralha Azul, TBIO Sossego, TBIO Toruk, TBIO Sonic, BRS Sabiá, BRS Atobá, IPR Batovi cultivados em Ponta Grossa e BRS Sabiá, TBIO Toruk, TBIO Sossego cultivados em Pato Branco, localizados em F1 (+) apresentaram valores altos de estabilidade de massa, tempo de desenvolvimento de massa, tempo de chegada de massa, lipídios, b* e L*.

Em contrapartida os genótipos TBIO Sossego, BRS Gralha Azul, IPR Batovi, BRS Atobá, BRS Sabiá, BRS Sanhaço e TBIO Toruk cultivados em Londrina, IPR Batovi, BRS Atobá, TBIO Sonic, IPR Potyporã, TBIO Sossego, BRS Gralha Azul e BRS Sanhaço cultivados em Pato Branco e IPR Potyporã e BRS Sanhaço cultivados em Ponta Grossa e localizados em F1 (-) apresentam os maiores teores de proteína, consistência da massa, absorção de água, índice de tolerância a mistura e a*. Das farinhas analisadas, a maior parte dos genótipos localizados em F1(-) apresentaram uma característica de alta absorção de água que pode ser atribuído à alta concentração de proteína no grão presentes nesses genótipos de trigo. A absorção de água está intimamente relacionada à quantidade de proteína. Farinhas com alto teor de proteína absorvem mais água (MAKAWI et al., 2013; BOCK; DON, 2022; AYDOĞAN et al., 2022).

Os genótipos cultivados em Ponta Grossa demonstraram melhores características reológicas da massa e características de cor do grão mais favoráveis para produção de farinha integral. Entretanto, a absorção de água que é uma importante característica reológica da farinha de trigo, apresentou pouca variabilidade entre os genótipos estudados independentemente do local de cultivo. Valores mais altos de absorção de água estão correlacionados com maior rendimento na quantidade de pão elaborado a partir da farinha, e para pães o desejável são absorções em torno de 60% (BOITA et al., 2016).

Figura 3 - Biplot das características de composição, cor do grão e reologia de farinhas integrais de genótipos de trigos cultivados em diferentes ambientes.



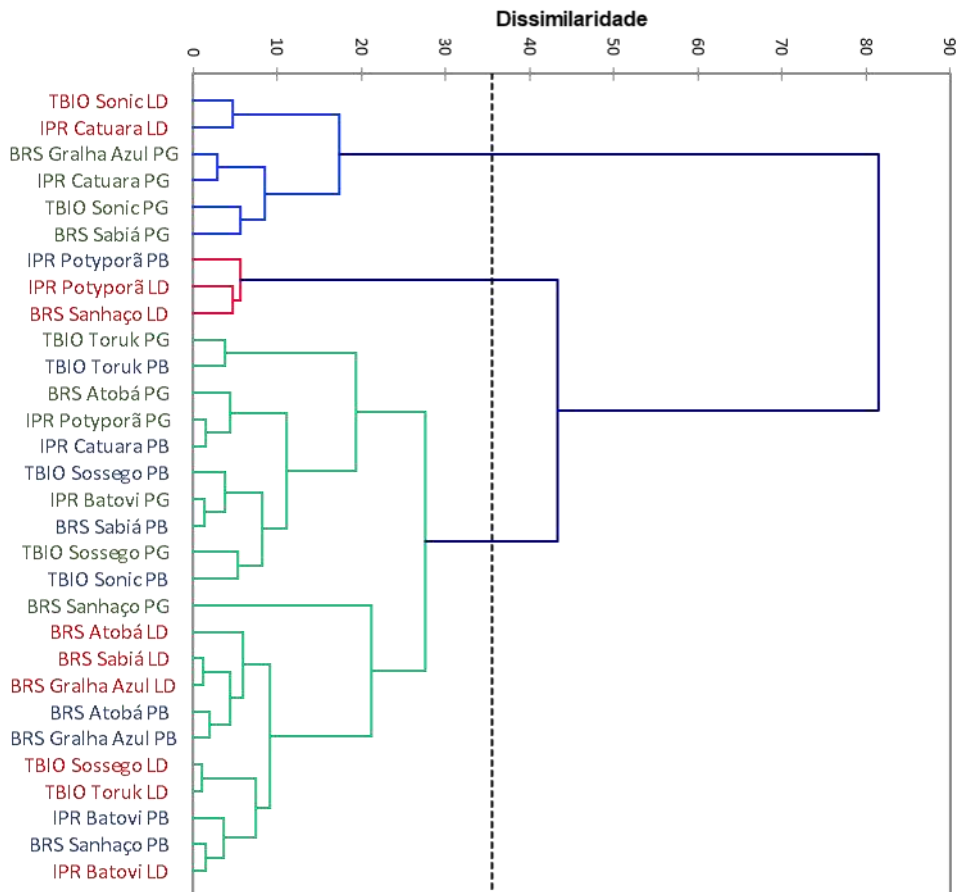
Para visualizar com maior clareza as características similares entre os genótipos a análise de agrupamento hierárquicos de aglomeração pelo método de Ward foi realizada. Os grupos formados estão apresentados na Figura 4, na qual é possível observar a formação de 3 grupos (G1, G2 e G3) considerando as características de composição, cor de grão e reologia da farinha integral de trigo.

O grupo G1 foi formado pelos genótipos BRS Atobá, BRS Sabiá, BRS Sanhaço, IPR Catuara, BRS Gralha Azul, TBIO Sossego, TBIO Toruk, TBIO Sonic e IPR Batovi cultivados em Pato Branco, BRS Sanhaço, BRS Atobá, TBIO Sossego, TBIO Toruk, IPR Potyporã e IPR Batovi cultivados em Ponta Grossa, e TBIO Toruk, TBIO sossego, BRS Atobá, BRS Sabiá, BRS Gralha Azul e IPR Batovi cultivados em Londrina. Este grupo apresentou maiores valores de consistência e a^* , e a menor quantidade de lipídios (Tabela 16).

O grupo G2 foi composto pelos genótipos TBIO Sonic, BRS Sabiá, BRS Gralha Azul e IPR Catuara cultivados em Ponta Grossa. Também pelos genótipos TBIO Sonic e IPR Catuara cultivados em Londrina. Esse grupo está caracterizado por apresentar os maiores teores de lipídios, maiores valores de estabilidade da massa, tempo de desenvolvimento da

massa, tempo de quebra da massa, L^* e b^* e os menores valores de proteína, absorção de água e índice de tolerância a mistura.

Figura 4 – Dendograma da análise de agrupamento hierárquico de genótipos de trigo cultivados em diferentes ambientes.



O grupo G3 foi composto pelos genótipos IPR Potyporã cultivado em Pato Branco e IPR Potyporã e BRS Sanhaço cultivados em Londrina. Esse grupo apresentou as maiores quantidades de proteína e a maior absorção de água e tempo de desenvolvimento da massa. Isso demonstra que os genótipos formados por esse grupo possuem maior aptidão para produção de farinhas integrais, o que pode ter sido influenciado pelo ambiente de cultivo. Em contrapartida apresentou os menores valores de estabilidade tempo de desenvolvimento da massa, tempo de quebra e L^* , a^* e b^* .

Tabela 17 - Valores médios de lipídios, proteína, absorção de água (AA), estabilidade da massa (Estab), consistência da massa (Cons), tempo de desenvolvimento da massa (TD), índice de tolerância a mistura (ITM), tempo de chegada (Tb), L*, a*, b*, dos grupos de genótipos formados na análise de agrupamento hierárquico.

	G1	G2	G3	Pr > F
Lipídios	2,25 a	2,53 a	2,4 a	0,494
Proteína (%)	15,35 a	15,27 a	16,73 a	0,265
AA (%)	70,18 b	69,95 b	74,3 a	0,005
Estabilidade (min)	6,11 b	16,43 a	3,5 b	< 0,0001
Consistência (FU)	508,19 a	502,25 a	504 a	0,533
TD (min)	6,61 b	10,58 a	5,38 b	< 0,0001
ITM (FU)	41,05 b	15,5 c	86,33 a	< 0,0001
TB (min)	10,34 b	23,23 a	7,65 b	< 0,0001
L*	43,87 ab	45,32 a	42,15 b	0,033
a*	7,41 a	6,98 ab	6,71 b	0,008
b*	18,42 a	18,59 a	16,4 b	0,002

*Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si $p < 0.05$ pelo teste de Tukey.

Assim, o ambiente apresentou a maior efeito para os teores de umidade, lipídios, proteínas, e coloração L*, e b* e as características reológicas de tempo de desenvolvimento da massa, estabilidade da massa e tempo de chegada. Entretanto a análise de variância para as características de número de queda, absorção de água, consistência da massa e índice de tolerância a mistura tiveram maiores efeitos para os genótipos.

Os genótipos estudados nos diferentes ambientes mostraram diferenças entre si e também entre os diferentes ambientes de cultivo avaliados, indicando que eles podem ser cultivados e utilizados como matéria prima para a fabricação de farinhas integrais. No entanto, existe a necessidade de estudos adicionais sobre a composição e reologia das farinhas integrais de trigo para maior compreensão do comportamento das farinhas integrais e seu uso para produção de produtos à base de farinhas integrais.

3.4 CONCLUSÕES

A diversidade de genótipos adaptados as regiões de cultivo do estado do Paraná possuem características de composição e de reologia apropriadas para o uso na fabricação de farinha integrais de trigo

A composição das farinhas é afetada pela região de cultivo, sendo o ambiente de Londrina mais favorável para a produção de farinha integral de trigo pois apresentam os maiores teores de proteína e absorção de água. Já o ambiente de Ponta Grossa resultou em farinhas valores apropriados de estabilidade e desenvolvimento da massa, tempo de quebra de massa, além de apresentarem colorações b^* e L^* próximas de coloração de grãos mais claros. Na análise de componentes principais o genótipo IPR Potyporã cultivado em todos os ambientes apresentou um comportamento favorável com relação a absorção de água e teor de proteínas, sendo boa opção de uso na produção de farinhas integrais.

4 ARTIGO B: COMPOSTOS FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE FARINHAS INTEGRAIS DE GENÓTIPOS DE TRIGOS CULTIVADOS EM DIFERENTES AMBIENTES.

RESUMO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) está entre os cereais mais cultivadas no mundo e quando consumido na forma de farinha integral possui grande importância nutricional. A farinha integral oferece uma ampla gama de fitoquímicos, incluindo diferentes antioxidantes, compostos fenólicos e flavonoides. É conhecido que genótipos de trigo podem apresentar diferentes quantidades de compostos fenólicos com propriedades antioxidantes, e que outro fator importante é o ambiente de cultivo. O objetivo desse estudo foi avaliar a quantidade de compostos fenólicos nas frações livre e ligadas e a atividade antioxidante de farinhas integrais de genótipos de trigo cultivados em ambientes contrastantes quanto as características edafoclimáticas. Foram avaliadas as quantidades de compostos fenólicos na fração livre e ligada, flavonoides livres e ligados, atividade antioxidante DPPH e ABTS nas frações livre e ligada e ácido fítico. Foram avaliados dez genótipos de trigo (BRS Atobá, TBIO Sonic, BRS Sabiá, BRS Gralha Azul, IPR Catuara, TBIO Sossego, TBIO Toruk, IPR Potyporã, BRS Sanhaço e IPR Batovi) cultivados nos municípios de Londrina, Pato Branco e Ponta Grossa. O delineamento experimental adotado foi de blocos casualizados com quatro repetições. O genótipo IPR Potyporã apresentou as maiores quantidades de compostos fenólicos e atividade antioxidantes. Com relação ao ambiente de cultivo, Pato Branco apresentou as maiores quantidades dos compostos avaliados. Os genótipos avaliados apresentaram diferenças significativas no conteúdo de compostos fenólicos livres e ligados e antioxidantes e além disso, os diferentes ambientes de cultivo também apresentaram influências nas quantidades dos compostos fenólicos.

Palavras chave: *Triticum aestivum*, DPPH, ABTS.

ABSTRACT

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most widely cultivated cereals in the world and when consumed as whole grain flour, it has greater nutritional value. Whole grain flour offers a wide range of phytochemicals, including different antioxidants, phenolic compounds and flavonoids. It is known that wheat genotypes can present different amounts of phenolic compounds with antioxidant properties, and that another important factor is the cultivation environment. The aim of this study was to evaluate the amount of phenolic compounds in the free and bound fractions and the antioxidant activity of whole grain flours from wheat genotypes grown in contrasting environments regarding soil and climate characteristics. The amounts of phenolic compounds in the free and bound fraction, free and bound flavonoids, antioxidant DPPH and ABTS in the free and bound fractions and phytic acid were evaluated. Ten wheat genotypes (BRS Atobá, TBIO Sonic, BRS Sabiá, BRS Gralha Azul, IPR Catuara, TBIO Sossego, TBIO Toruk, IPR Potyporã, BRS Sanhaço and IPR Batovi) grown in the cities of Londrina, Pato Branco and Ponta Grossa were evaluated. The experimental design adopted was randomized blocks with four replications. The IPR Potyporã genotype showed the highest amounts of phenolic compounds and antioxidant activity. Regarding the cultivation environment, Pato Branco showed the highest amounts of the evaluated compounds. The evaluated genotypes showed significant differences in the content of free and bound phenolic compounds and antioxidants. In addition, the different cultivation environments also influenced the amounts of the phenolic compounds

Keywords: *Triticum aestivum*, DPPH, ABTS.

4.1 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) está entre os cereais mais cultivados no mundo e é um alimento básico consumido por um terço da população mundial. Estudos tem demonstrado que quando consumido na forma de farinha integral possui uma maior importância nutricional (GÓMEZ; GUTKOSKI; BRAVO-NÚÑEZ, 2020; JIANG et al., 2024). Como a população mundial tem buscado cada vez mais por alimentos saudáveis, a indústria deste setor identificou uma crescente preferência dos consumidores por alimentos integrais (WIJK et al., 2018). Grande parte dos benefícios do consumo de grãos integrais está atribuído aos compostos fenólicos e sua capacidade antioxidante presentes nos pelos grãos sem refinamento (TIAN; LI, 2018; ADOM et al. 2005).

A farinha integral oferece uma ampla gama de compostos fitoquímicos, incluindo diferentes antioxidantes, ácidos fenólicos e flavonoides (BREWER et al., 2024; KHAN et al., 2024). Os compostos fenólicos são metabólitos secundários e apresentam uma maior atividade antioxidante atribuída aos cereais especialmente em grãos integrais (LADDOMADA; CARETTO; MITA, 2015; TIAN et al., 2021b; SANTOS et al., 2019; MARTINI et al., 2015)). Esses compostos são encontrados predominantemente nas camadas externas do farelo dos grãos de trigo como componente estrutural da parede celular e fornecem proteção contra elementos naturais, organismos patogênicos e radiação ultravioleta (STUPER-SZABLEWSKA et al., 2019; LI et al., 2024). Devido a sua localização nas camadas externas do grão é possível a produção de frações diferentes no processo de moagem e separação das frações dos grãos (ROSA et al., 2013; PIETIÄINEN et al., 2022).

Os compostos fenólicos existem em diferentes formas e são divididos em solúveis livres, solúveis conjugados e insolúveis ligados. Os compostos fenólicos ligados representam a fração mais abundante em grãos de trigo e permanecem no intestino humano, o que permite eles alcancem o cólon e exerçam benefícios à saúde (LEVÁKOVÁ; LACKO-BARTOŠOVÁ, 2017). Por isso, o perfil de compostos fenólicos possui grande importância para a avaliação da qualidade de farinha integral de trigo associada aos benefícios à saúde (TIAN et al., 2022b).

É conhecido que genótipos de trigo podem apresentar diferentes quantidades de compostos fenólicos com propriedades antioxidantes, e que o ambiente de cultivo tem efeito importante no teor de compostos fenólicos nos grãos (TIAN; LI, 2018; BREWER et al., 2024). Dessa forma, a diversidade genética e fatores ambientais podem interferir na quantidade de metabólitos secundários, especialmente na composição e conteúdo de compostos fenólicos e atividade antioxidante nos grãos de trigo (MARTINI et. al., 2015).

Diferenças significativas nas quantidades de compostos fenólicos foram observadas entre diferentes genótipos de trigo (MARECEK et al., 2014). Martini et al. (2015) notaram que os compostos fenólicos totais e a atividade antioxidante são influenciados pelo ambiente. Além disso, fatores ambientais afetam as quantidades de compostos fenólicos livres e fenólicos conjugados, e os genótipos possuem uma maior influência no perfil dos compostos fenólicos ligados (MARTINI et al., 2014; MELIOS et al., 2024).

É conhecido que existem muitos fatores que influenciam as propriedades antioxidantes do trigo e de outros cereais. O perfil de compostos fitoquímicos dos grãos de trigo pode ser consideravelmente influenciado pelo genótipo, ambiente, manejo e suas interações, (TIAN et al., 2022). Além disso, os métodos de extração e identificação também podem ter influência nas quantificações dos compostos bioativos e suas atividades biológicas (LUTHRIA; LU; MARIA JOHN, 2015). As propriedades de extração, solubilidade e separação dos fenólicos são influenciadas por sua estrutura complexa, distribuição não uniforme nas plantas e alto peso molecular (ALARA; ABDURAHMAN; UKAEGBU, 2021). Consequentemente, o procedimento de extração é muito sensível para a quantificação e determinação de teores de compostos fenólicos (BREWER, 2024).

Existem poucas informações sobre compostos fenólicos em diferentes cultivares de *Triticum aestivum* L., cultivadas nas principais regiões de cultivo brasileiras. Com essas informações, será possível direcionar o melhoramento para genótipos com maiores concentrações desses compostos em combinação com cultivares de maior rendimento. Os genótipos mais adequados à produção de alimentos integrais seriam aqueles contendo altos níveis de compostos fenólicos e alta atividade antioxidante, mas com pouca interação com o ambiente.

O objetivo do estudo foi determinar os teores dos compostos fenólicos nas formas livres e ligadas e a atividade antioxidante de farinhas integrais de genótipos de trigo cultivadas em diferentes ambientes.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Genótipos Avaliados

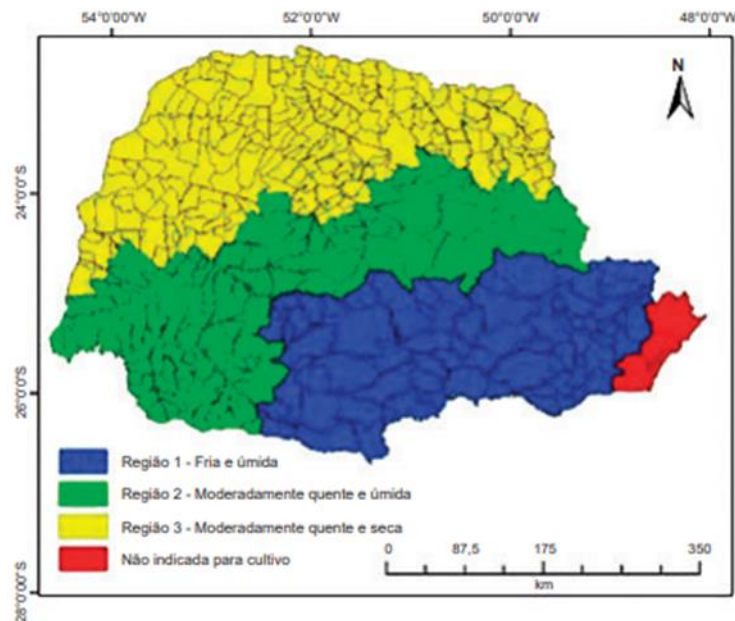
Foram avaliados 10 genótipos de trigo entre eles BRS Atobá, TBIO Sonic, BRS Sabiá, BRS Gralha Azul, IPR Catuara, TBIO Sossego, TBIO Toruk, IPR Potyporã, BRS Sanhaço e IPR Batovi participantes do programa de melhoramento genético do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IDR Paraná, cultivados na safra de 2020 (Tabela 1).

Tabela 1 – Genótipos de trigo, instituição obtentora, ano de lançamento e classe comercial dos genótipos avaliados nos experimentos realizados nos municípios de Londrina, Ponta Grossa e Pato Branco na safra de 2020.

Genótipo	Obtentor	Lançamento	Classe comercial
BRS Atobá	Embrapa	2018	Pão (PR 1; PR 3; MS 3) Melhorador (PR 2)
BRS Gralha Azul	Embrapa	2012	Melhorador (PR 3; MS 3; SC 1; SC 2) Pão (PR 1; PR 2; SP 2)
BRS Sabiá	Embrapa	2014	Doméstico (SC 1; PR 3; MS 3) Pão (SC 2; PR 1; PR 2; SP 2)
BRS Sanhaço	Embrapa	2016	Pão (PR 1; PR 2; SP 2; PR 3; MS 3)
IPR Catuara	IAPAR	2012	Melhorador
IPR Potyporã	IAPAR	2016	Pão
IPR Batovi	IDR	-	-
TBIO Sonic	Biotrigo	2017	Melhorador
TBIO Sossego	Biotrigo	2015	Pão
TBIO Toruk	Biotrigo	2014	Melhorador

O experimento foi realizado nas regiões homogêneas de adaptação de cultivares de trigo no estado do Paraná (Figura 2) nas cidades de Ponta Grossa (região de adaptação e cultivo 1 - região fria, úmida e alta altitude), Pato Branco (região de adaptação e cultivo 2 – moderadamente quente, úmida e baixa altitude) e Londrina (região de adaptação e cultivo 3 – quente, moderadamente seca e baixa altitude). O delineamento experimental adotado foi de blocos casualizados com quatro repetições. Cada parcela foi composta por seis linhas experimentais de cinco metros de comprimento e espaçadas com 17 cm. O espaçamento entre parcelas foi de um metro e dois metros entre blocos.

Figura 2. Regiões homogêneas de adaptação de cultivares de trigo no estado do Paraná.



Fonte: Brasil (2008)

4.2.2 Obtenção Dos Grãos E Farinha Integral De Trigo

A colheita das plantas foi realizada após os grãos atingirem a maturação de colheita (estádio fenológico 11.4, escala de Feekes). Para as análises de ácido fítico, compostos fenólicos, e atividade antioxidante foram coletados 500 g dos grãos de cada uma das quatro repetições, e analisados em “bulking”.

Os grãos de trigo de cada genótipo foram moídos em moinho de martelo (Perten Laboratory Mill 3100). Desse material foram realizadas as determinações de compostos fenólicos, ácido fítico e atividade antioxidante.

4.2.3 Ácido Fítico

O ácido fítico foi determinado pelo método descrito em Oomah; Blanchard; Balasubramanian, (2008) com modificações. Foram pesadas 1 g de farinha integral de trigo e adicionado 20 mL de HCl 2,4% e submetido a agitação magnética constante, durante 1 hora a 200 rpm em temperatura ambiente para a extração do ácido fítico. Após a agitação, a mistura

foi centrifugada a 3000 rpm por 10 minutos e filtrada. Cinco mililitros do sobrenadante foram diluídos em balão volumétrico de 25 mL e completando-se o volume com água destilada.

Para a filtração da diluição a coluna deve ser previamente preparada 0,5 g Dowex HCl 1x4 400 mesh e lavada com 10 mL de água e 10 mL NaCl 0,7M e novamente 10 mL água. Após esse preparo, 2 mL da diluição do sobrenadante foram passados na coluna de filtração com resina. Em seguida, foram passados 10 mL de NaCl 0,1M para remoção das substâncias interferentes e fósforo inorgânico. O fitato ligado à resina foi eluído com NaCl 0,7M (10 mL) e uma alíquota do eluato (3 mL) foi misturado em Vortex com 1 mL de reagente de Wade (solução de cloreto férrico 0,03% e ácido sulfosalicílico 0,3%). A absorvância do complexo formado foi medida em espectrofotômetro a 500 nm. A concentração de ácido fítico foi calculada a partir de curva padrão de 0-50 µg equivalente de fitato de sódio mL⁻¹.

4.2.4 Compostos Fenólicos Livres E Ligados

4.2.4.1 Extração dos compostos fenólicos livres e ligados

A farinha integral dos grãos de trigo foi analisada quanto ao conteúdo de compostos fenólicos livres e ligados, flavonóides e atividade antioxidante determinada como 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazil (DPPH) e 2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico (ABTS).

A extração dos compostos foi realizada conforme método reportado por Santos et al, (2019) com modificações. As farinhas integrais de trigo foram previamente desengorduradas em Soxhlet com éter de petróleo. Após, os compostos fenólicos livres foram extraídos de 1 g de farinha de trigo integral com 10mL de etanol 80% refrigerado. As amostras foram agitadas a 200 rpm a temperatura ambiente por 20 minutos. Após agitação, as amostras foram centrifugadas a 3.500 rpm por 10 minutos e o sobrenadante foi reservado. Esse processo foi realizado por três vezes. Os três sobrenadantes foram combinados e levados em rotavapor a 45°C até securo, após foram adicionados 10 mL de metanol e filtrados com filtros hidrofílicos analíticos de porosidade 0,22 µm.

Para a extração dos compostos fenólicos ligados, os precipitados resultantes da extração de compostos fenólicos livres foram submetidos a uma hidrólise alcalina em banho de ultrassom, seguida de hidrólise ácida. Foram adicionados aos precipitados 20 mL de

solução de NaOH 2M com EDTA 10 mM e ácido ascórbico 1% (preparada no momento da análise). Os tubos foram ligeiramente agitados e colocados em banho ultrassônico à 40°C durante 90 minutos. Após banho, o pH foi ajustado para 2 usando 4 mL de HCl, e em seguida as amostras foram centrifugadas a 3.500 rpm por 10 minutos. Os sobrenadantes foram recolhidos e foram adicionados de 10 mL de acetato de etila e homogeneizados em vórtex. A solução foi centrifugada a 3.500 rpm por 10 minutos e o sobrenadante foi reservado, esse processo foi repetido por mais duas vezes. Os sobrenadantes foram combinados e levados em rotavapor a 40°C até a secura. Após foi adicionado 10 mL de metanol e o extrato foi filtrado com filtros hidrofílicos analíticos de porosidade 0,22 µm. Os extratos foram mantidos em frascos âmbar e armazenados a -20°C até o momento das análises.

4.2.4.2 Determinação do conteúdo de compostos fenólicos livre e ligado

O teor total de ácidos fenólicos livre e ligado foi determinado com base no método de Folin Ciocalteu (SINGLETON; ORTHOFER; RAVENTÓS, 1999) com modificações. Em 0,5 mL do extrato obtido no item 2.4.1, adicionou-se 2,5 mL de solução recém preparada de Folin – Ciocalteu: água (1:10) e agitou-se imediatamente com vórtex e repouso por 5 minutos. Após repouso foram adicionados 2 mL de solução de carbonato de sódio 7,5%, homogeneizados e levados a banho-maria a 50°C por 5 minutos. As amostras foram filtradas em papel qualitativo antes da leitura. A absorbância foi lida em espectrofotômetro UV visível a 760 nm. O equipamento foi zerado com branco (água em substituição da amostra). A quantidade de fenóis totais livre e ligado foi calculada usando catequina como padrão e os fenóis foram expressos em µg de catequina/g de farinha integral. A faixa da curva de calibração foi de 5-500µg/mL.

4.2.4.3 Determinação de flavonóides livres e ligados

Os flavonóides totais foram determinados pelo método de Dewanto et al., (2002). Em 1 mL do extrato foi adicionado 0,3 mL de solução de NaNO₂ 5% e 5 mL de água destilada e a solução foi agitada e mantida em descanso por 6 minutos. Após adicionou-se 0,6 mL de solução de AlCl₃.6H₂O a 10% (preparada no momento da análise) e deixado em repouso por 5 minutos. Em seguida foi adicionado 2 mL de NaOH 1 M, e após agitação rápida foi acrescido 1,1 mL de água destilada. A absorbância foi lida em espectrofotômetro UV visível a 510 nm, empregando como branco os mesmos reagentes, porém sem o extrato da amostra. A

quantidade de flavonóides foi expressa como μg equivalente de catequina por grama de farinha integral [CE, μg (+) catequina/g de farinha integral] calculada através da curva de calibração de (+) catequina. A faixa da curva de calibração foi de 10-500 $\mu\text{g mL}^{-1}$.

4.2.4.4 Determinação da atividade antioxidante

A atividade antioxidante foi determinada pelo método de inibição de DPPH (descrito em Vignoli et al., (2014), com modificações. O método de DPPH é um método *in vitro* baseado na capacidade de compostos fenólicos reduzirem os radicais livres representados pelo composto DPPH neste teste. O desaparecimento da cor violeta do DPPH é proporcional a capacidade de inibição pelos compostos fenólicos.

Foi preparada uma solução etanólica de DPPH a 0,2 mM/L com absorvância em 517 nm de $0,900 \pm 0,050$. As determinações foram realizadas adicionando 200 μL do extrato a 2800 μL da solução de DPPH. A mistura foi homogeneizada e mantidas em repouso por 30 minutos ao abrigo da luz em temperatura ambiente. Após repouso, as leituras foram realizadas em espectrofotômetro UV visível com absorvâncias a 517 nm. A curva padrão de capacidade antioxidante equivalente ao Trolox (TEAC) em etanol nas concentrações de 10 a 500 $\mu\text{M/L}$ foram empregadas e os resultados em duplicata foram expressos como mg Trolox equivalente/g de farinha integral de trigo.

Para a determinação da atividade doadora de íons hidrogênio ao radical ABTS foi utilizada a metodologia descrita por Tian et al. (2018). Para produção do cátion ABTS, 7 mM/L ABTS com persulfato de potássio 2,45 mM/L foram misturados para iniciar a reação, após preparado o reagente foi mantido ao abrigo da luz em temperatura ambiente (25 °C) por 12 a 16 horas. A solução de ABTS foi diluída em etanol absoluto para obtenção de absorvância de $0,700 \pm 0,050$ a 730 nm. Foi utilizada a curva padrão da capacidade antioxidante equivalente ao Trolox (TEAC) em etanol nas concentrações de 10 a 500 $\mu\text{M/L}$ foram empregadas. Extrato das farinhas (240 μL) adicionados a 3760 μL da solução ABTS e as leituras a 734 nm foram realizadas após 6 minutos de reação ao abrigo da luz. Os resultados obtidos em duplicata foram expressos como mM TEAC/g de farinha integral de trigo.

4.2.5 Análises Estatísticas

Todas as análises de determinação de teores de ácido fitico, compostos fenólicos e atividade antioxidante foram realizadas em duplicata. As análises de variância e teste de médias (Tukey, $p < 0,05$) foram realizadas no programa estatístico Expdes programa estatístico R. As análises de componentes principais, análise de agrupamento hierárquico pelo método de Ward foram realizadas no programa estatístico Xlstat (ADDINSOFT, 2010).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O genótipo do trigo, o ambiente e as possíveis interações entre o genótipo e o ambiente são conhecidos por influenciar fortemente os compostos bioativos e os níveis de antioxidantes no grão (KOWALSKA et al., 2022).

A análise de variância apresentou efeitos significativos para os teores ácido fítico, compostos fenólicos livres e ligados e atividade antioxidante de farinhas integrais de trigo (Tabela 2). O teor de compostos fenólicos livres apresentou maior efeito significativo para a interação G X A. Já as demais características avaliadas como ácido fítico, compostos fenólicos ligados, flavonoides livres e ligados, e as atividades antioxidantes medidas como DPPH e ABTS apresentaram maiores efeitos significativos para o ambiente de cultivo. As formas solúveis de polifenóis são afetadas principalmente pelas condições climáticas que ocorrem durante os diferentes ambientes de experimentação. Dessa forma, a interação entre as condições climáticas e a localização pode induzir uma resposta diversa no acúmulo de compostos no grão (TIAN et al., 2022b). Observou-se que genótipos de trigo cultivados em ambientes com temperatura controlada apresentaram maiores efeitos de ambiente sobre os compostos fenólicos livres e enquanto que o genótipo influenciou os compostos fenólicos ligados e totais (SHAMLOO et al., 2017).

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para características de ácido fítico, compostos fenólicos livres e ligados, flavonoides livres e ligados, e atividade antioxidante de farinhas integrais de genótipos de trigo cultivados em diferentes ambientes.

Fonte	Gl	Ác fítico	Fenólicos Livres	Fenólicos ligados	Flav. Livres	Flav. ligados	DPPH livres	DPPH ligados	ABTS livres	ABTS ligados
Genótipo (G)	9	5,30 *	13001,46 *	80598,63 *	2928,71 *	7230,16 *	66,69 *	171,51 *	0,05 *	1,07 *
Ambiente (A)	2	17,53 *	2212,29 *	172591,79 *	6851,68 *	90242,55 *	580,83 *	617,47 *	0,48 *	4,07 *
GxA	18	2,56 *	26093,20 *	47215,63 *	3097,76 *	17545,10 *	21,59 *	208,34 *	0,12 *	0,46 *
Erro	30	0,05	93,09	481,37	259,85	1319,05	0,27	0,52	0	0

* indica significância a $p < 0.05$. Gl: graus de liberdade.

4.3.1 Compostos Fenólicos E Atividade Antioxidante De Farinha Integrais De Trigo Cultivadas Em Diferentes Ambientes

O teor de ácido fítico encontrado nas farinhas integrais dos grãos de trigo cultivados em diferentes ambientes foi significativamente diferente na maioria dos genótipos, exceto

para o TBIO Sossego (Tabela 3). Em Londrina o teor variou de 5,00 mg/g (BRS Sabiá) a 8,90 mg/g (TBIO Sossego). Já em Pato Branco a variação foi de 5,48 mg/g o (BRS Atobá) a 11,91 mg/g para o genótipo (IPR Catuara). No ambiente de Ponta Grossa, a variação do teor de ácido fítico apresentou um mínimo de 6,54 mg/g (BRS Sabiá) e um teor máximo de 9,11 mg/g (TBIO Sossego). Resultados semelhantes foram encontrados por Shitre et al. (2015) onde os teores de ácido fítico de 4,97 mg /g a 15,02 mg /g foram encontrados em farinhas de trigo de diferentes linhagens de programas de melhoramento genético. Diferenças entre as médias ambientais possuem efeito significativo no conteúdo de ácido fítico. Entre os ambientes avaliados, Londrina apresentou o menor teor de ácido fítico (7,12 mg/g) e Pato Branco o maior teor (8,93 mg/g).

Os resultados obtidos estão de acordo com Özkaya et al. (2018), que quantificaram teores de 8,18 mg /g a 10,81 mg /g de ácido fítico em farinhas integrais de grãos maduros de trigo. O ácido fítico possui papéis fisiológicos cruciais no período de maturação das plantas, atuando como fonte de fósforo e energia ou como um ativador para dormência (KULATHUNGA; SIMSEK, 2024).

Kulathunga e Simsek (2024) estudaram o teor de ácido fítico em farinha integrais, e encontraram teores de 1,87 a 2,82 mg/g. O ácido fítico pode influenciar o metabolismo de aminoácidos e carboidratos pela ligação de aminoácidos, peptídeos e enzimas de digestão, atuar como antioxidante na redução da peroxidação lipídica induzida pelo ferro e expressar propriedades anticancerígenas (BOHN; MEYER; RASMUSSEN, 2008; MAHAMOOD et al., 2010).

Tabela 3 - Médias de ácido fítico (mg/g) de farinhas integrais de genótipos de trigo cultivados em diferentes ambientes

Genótipo	Ambientes		
	Londrina	Pato Branco	Ponta Grossa
BRS Atobá	7,47 def B	5,48 a A	7,24 ab B
BRS Gralha Azul	6,36 bc A	9,23 c C	7,13 ab B
BRS Sabiá	5,00 a A	10,37 d C	6,54 ab B
BRS Sanhaço	6,76 cd A	8,58 c B	7,19 ab A
IPR Catuara	8,51 gh A	11,91 e B	8,19 c A
IPR Potyporã	7,78 fg A	10,32 d B	7,75 bc A
IPR Batovi	7,62 ef A	8,84 c C	8,21 c B
TBIO Sonic	6,96 cde A	8,78 c B	7,46 bc A
TBIO Sossego	8,9 h A	8,91 c A	9,11 d A
TBIO Toruk	5,81 b A	6,86 b B	7,36 b B
Médias	7,117 A	8,928 C	7,618 B

*Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si $p < 0.05$ pelo teste de Tukey.

O ácido fítico *in vivo* precisa ser degradado por fitases para ser absorvido, e somente dessa forma podem circular pelo organismo humano e expressar bioatividade (BROUNS, 2022). Com as crescentes recomendações para o consumo de alimentos integrais e ricos em ácido fítico, os grãos integrais são fonte potenciais deste composto (MAHMOOD et al., 2010) Além disso, as condições ambientais de cultivo, principalmente o conteúdo de minerais no solo, desempenham um papel determinante no conteúdo de ácido fítico encontrado em grãos (BROUNS, 2022).

Os compostos fenólicos livres e ligados das farinhas integrais de trigo cultivados em diferentes ambientes apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) (Tabela 4). O teor médio de compostos fenólicos livres encontrado nos genótipos variou de 525,24 $\mu\text{g/g}$ (TBIO Toruk) a 800,41 $\mu\text{g/g}$ (BRS Sabiá) no ambiente de Londrina. Em Pato Branco o menor teor encontrado foi de 537,96 $\mu\text{g/g}$ com o genótipo (BRS Sabiá) e o maior teor de 818,63 $\mu\text{g/g}$ com o genótipo TBIO Toruk. Já em Ponta Grossa o menor teor de fenólicos livres foi de 518,03 $\mu\text{g/g}$ também com o genótipo BRS Sabiá e o maior teor de 966,15 ($\mu\text{g/g}$) com o genótipo IPR Potyporã. Entre os ambientes de cultivo avaliados, a menor média encontrado foi em Pato Branco (651,60 $\mu\text{g/g}$) e a maior média foi em Londrina (672,52 $\mu\text{g/g}$). (Tabela 5).

A comparação dos resultados indica que os compostos fenólicos livres apresentaram alta variabilidade entre os genótipos e ambientes de cultivo. O maior teor encontrado em Londrina pode ser resultado do clima da região de cultivo, que é caracterizado por apresentar clima quente, moderadamente seco e de baixa altitude. Shamloo et al. (2017) constataram um aumento no teor compostos fenólicos livres nos grãos de trigo com o aumento da temperatura durante na fase de desenvolvimento da planta. Este mesmo comportamento foi observado em diferentes genótipos canadenses e australianos cultivados em ambiente controlado.

Alguns estudos apontam que a variação relacionada ao ambiente de cultivo é maior do que as diferenças genótípicas, especialmente para as frações de ácido fenólico livre (FERNANDEZ-OROZCO et al., 2010; MELIOS et al., 2024). Os compostos fenólicos livres são principais fatores significativo e atuam nos mecanismos de resistência, como a primeira linha de defesa, juntamente com sua ação antioxidante. Os ácidos fenólicos livres desempenham um papel fundamental nos mecanismos de resistência das plantas, independentemente do tipo de fatores de estresse (STUPER-SZABLEWSKA et al., 2019).

Como esperado os compostos fenólicos ligados, foram encontrados em maior quantidade entre os compostos fenólicos nas farinhas integrais de trigo avaliadas. O teor médio dos compostos fenólicos ligados em Londrina variou de 2626,17 a 2949,93 $\mu\text{g/g}$ para os genótipos IPR Catuara e BRS Gralha Azul, respectivamente. Já em Pato Branco o teor

apresentou variação de 2543,80 µg/g (IPR Catuara) a 3100,50 µg /g (IPR Potyporã). Em Ponta Grossa o teor de compostos fenólicos apresentou um teor mínimo de 2384,29 (BRS Sabiá) e um máximo de 3033,12 (BRS Sanhaço) µg /g de farinha integral de trigo. Entre os ambientes avaliados, a média do teor encontrada variou de 2666,20 em Ponta Grossa a 2851,62 em Pato Branco.

Tabela 4 - Médias de compostos fenólicos livres (µg/g) e de compostos fenólicos ligados (µg/g) de farinhas integrais de trigos cultivados em diferentes ambientes.

Genótipo	Fenólicos livres (µg/g)			Fenólicos ligados (µg/g)		
	Londrina	Pato Branco	Ponta Grossa	Londrina	Pato Branco	Ponta Grossa
BRS Atobá	651,36 c A	737,96 e C	711,07 f B	2736,17 bc A	2754,87 bc A	2816,09 e B
BRS Gralha Azul	718,18 de C	593,97 c A	638,11 c B	2949,33 e B	2795,49 cd A	2815,73 e A
BRS Sabiá	800,41 g B	537,96 a A	518,03 a A	2735,24 bc B	2844,48 d C	2384,29 a A
BRS Sanhaço	560,16 b A	605,18 c B	670,35 cde C	2776,85 cd A	3081,06 fg B	3033,12 f B
IPR Catuara	735,38 ef C	547,87 ab A	591,18 b B	2626,17 a B	2543,8 a A	2506,76 b A
IPR Potyporã	581,57 b A	747,1 e B	966,15 g C	2683,21 ab A	3100,5 g B	2736,97 d A
IPR Batovi	692,07 d C	662,54 d B	537,23 a A	2911,32 e C	2696,06 bc A	2838,94 e B
TBIO Sonic	701,09 d B	690,36 d B	645,29 cde A	2669,07 ab B	2748,93 bc C	2583,98 c A
TBIO Sossego	759,74 f C	574,4 bc A	675,09 de B	2781,64 cd B	2930,99 e C	2477,12 b A
TBIO Toruk	525,24 a A	818,63 f C	686,95 ef B	2821,84 d B	3020,03 fg C	2469,04 b A
Médias	672,52 C	651,60 A	663,95 B	2769,08 B	2851,62 C	2666,20 A

*Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si $p < 0.05$ pelo teste de Tukey.

Os teores encontrados são semelhantes aos encontrados por Martini et al. (2015). Neste estudo relataram que tanto o genótipo como ambiente de cultivo influenciam significativamente o conteúdo de compostos fenólicos totais, a atividade antioxidante e a composição de ácidos fenólicos em genótipos de trigo cultivados em safras e em ambientes diferentes. Outro estudo mostrou ainda que o genótipo do trigo é um fator importante que afeta a composição do ácido fenólico (HERNANDEZ-ESPINOSA et al., 2020).

Compostos fenólicos são alguns dos compostos com grande potencial benéficos no grão de trigo integral. Buczek et al. (2023) encontraram teores de compostos fenólicos na faixa de 589,17 a 735,59 µg /g de ácidos fenólicos totais em diferentes genótipos, cultivados em locais e manejos culturais diferenciados.

Os resultados encontrados no presente estudo reforçam que existe variabilidade nos perfis de compostos fenólicos em diferentes genótipos e que o local de cultivo assim como o sistema/manejo pode influenciar na quantidade do composto.

Os compostos fenólicos desempenham um papel significativo na proteção das plantas contra os efeitos de pragas, doenças e estresse abiótico. Conforme indicado por Ma et al.

(2021) o aumento da quantidade de ácidos fenólicos é um importante fator de defesa vegetal para plantas de trigo que crescem sob muitas condições de estresse diferentes, como temperatura, irradiação UV, deficiências de nutrientes, alta intensidade de luz, ataque de insetos, patógenos e herbívoros, bem como tratamentos com herbicidas menos seletivos.

Compostos fenólicos ligados representam a fração mais abundante em grãos de trigo e têm sido associados à maior atividade antioxidante, quando comparados a fração de compostos fenólicos livre ou flavonoides (ADOM et al., 2005; ÖZKAYA et al., 2018).

Outros estudos já tem revelado resultados semelhantes relatando que os compostos fenólicos livres apresentam valores menores que os compostos fenólicos ligados (TIAN; LI, 2018; BUENO HERRERA; PÉREZ MAGARIÑO, 2020; PAZNOCHT et al., 2020).

Ácidos fenólicos e flavonoides estão presentes em cereais em formas livres, solúveis conjugadas e insolúveis ligadas. A presença de ácidos fenólicos em grãos de trigo ocorre principalmente na forma ligada, e a maioria deles está presente na camada de aleurona e associados ao farelo e a materiais da parede celular, como polissacarídeos e lignanas (VAHER et al., 2010).

Em estudo realizado por Lu et al., (2015) foi relatado que a aproximadamente 80% dos compostos fenólicos estão na forma ligada insolúvel enquanto que o restante aparece como forma solúvel livre. Observaram ainda que altas concentrações de ácidos fenólicos em farinhas integrais (627,8 a 745,6 µg/g de peso seco) em comparação com farinhas refinadas (66,0 a 97,0 µg/g de peso seco).

Tian et al. (2021) realizaram um estudo com farinhas de trigo em fabricação de pães integrais, e encontraram teores de compostos fenólicos na fração livre de 211.55 a 470.10 µg GAE/ g e na fração ligada a variação foi de 1134.82 a 1201.64 µg GAE/ g extraído com acetona 80% (V/V).

As propriedades antioxidantes entre farinha refinada e farinha integral de trigo foram comparadas por Yu, Nanguet e Beta (2013). Neste estudo verificou se que o conteúdo de compostos fenólicos das farinhas de trigo integral apresentara um intervalo de 2100,0 a 2350,0 µg FAE/g, com um valor médio de 2200,0 µg FAE/g. Em outro estudo realizado por Navrotsky et al. (2019) sobre farinhas de trigo integral reconstituídas com farelo de tamanho de partículas finas e grossas forma encontrados valores médios de 3490,0 µg/g para farinhas finas e 3550,0 µg/g para farinhas grossas.

O teor de flavonóides livres e ligados apresentaram diferenças significativas entre os genótipos e entre os ambientes avaliados (Tabela 5). O teor de flavonoides livres das farinhas integrais de trigo avaliadas apresentou uma variação de 19,88 µg cat/ g (TBIO Toruk) a

173,38 $\mu\text{g cat/ g}$) (TBIO Sossego) cultivados em Londrina. Já em Pato Branco a variação encontrada foi de 13,15 a 138,04 $\mu\text{g cat/ g}$ nos genótipos (IPR Catuara e IPR Batovi respectivamente. Em Ponta Grossa a variação do teor mínimo de flavonoides livres encontrado foi de 5,73 $\mu\text{g cat/ g}$ e o máximo de 125,52 $\mu\text{g cat/ g}$ nos genótipos IPR Batovi e IPR Potyporã, respectivamente. Entre os ambientes avaliados, Ponta Grossa apresentou o menor teor encontrado (50,85 $\mu\text{g cat/ g}$) e Londrina o maior teor (86,29 $\mu\text{g cat/ g}$).

Os flavonoides ligados apresentaram teores mais elevados que os flavonoides livres. Nas farinhas integrais de trigo estudadas o teor variou de 611,28 a 780,87 ($\mu\text{g cat/ g}$) nos genótipos IPR Potyporã e BRS Gralha Azul, respectivamente em Londrina. Em Pato Branco a variação deste teor foi de 682,24 $\mu\text{g cat/ g}$ no genótipo IPR Catuara e 938,76 $\mu\text{g cat/ g}$ no genótipo IPR Potyporã. A variação encontrada em Ponta Grossa foi de 504,91 a 823,65 ($\mu\text{g cat/ g}$) nas farinhas integrais de trigo dos genótipos IPR Catuara e BRS Atobá, respectivamente. Entre os ambientes a variação do teor médio de flavonoides ligados foi de 630,62 a 764,91 $\mu\text{g cat/ g}$, em Ponta Grossa e Pato Branco, respectivamente.

Tabela 5 - Médias de flavonoides livres ($\mu\text{g cat/ g}$) e ligados ($\mu\text{g cat/ g}$) de farinhas integrais de trigos cultivados em diferentes ambientes.

Genótipo	Flavonoides livres ($\mu\text{g cat/ g}$)			Flavonoides ligados ($\mu\text{g cat/ g}$)		
	Londrina	Pato Branco	Ponta Grossa	Londrina	Pato Branco	Ponta Grossa
BRS Atobá	76,84 b AB	105,12 cd B	51,76 abc A	641,69 ab A	819,87 bcd B	823,65 e B
BRS Gralha Azul	60,12 ab AB	27,83 ab A	69,99 bc B	780,87 c B	771,19 abc B	583,33 abc A
BRS Sabiá	66,21 ab B	37,94 ab AB	21,42 ab A	738,88 bc B	733,64 ab B	560,65 ab A
BRS Sanhaço	68,28 ab A	35,85 ab A	35,94 abc A	643,37 ab A	702,59 ab AB	756,85 de B
IPR Catuara	100,12 b B	13,15 a A	31,82 abc A	706,58 abc B	682,24 a B	504,91 a A
IPR Potyporã	90,8 b AB	98,77 cd A	125,52 d A	611,28 a A	938,76 d B	584,56 abc A
IPR Batovi	110,97 b B	138,04 d B	5,73 a A	732,15 abc A	687,63 a A	678,57 bcd A
TBIO Sonic	96,34 b B	40,61 ab A	39,22 abc A	723,01 abc A	737,63 ab A	690,49 cd A
TBIO Sossego	173,38 c C	18,5 a A	78,18 cd B	671,36 abc A	870,15 cd B	591,14 abc A
TBIO Toruk	19,88 a A	77,41 bc C	48,92 abc B	761,32 ab B	705,36 ab B	532 a A
Médias	86,294 B	59,322 A	50,85 A	701,051 B	764,906 C	630,615 A

*Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si $p < 0.05$ pelo teste de Tukey.

Farinhas integrais são atualmente estudadas e testadas para fabricação de pães. Neste sentido Tian et al. (2021) avaliaram os compostos fenólicos e antioxidantes no processo de fabricação de pães com farinhas integrais e quantificaram os teores de flavonoides livres e ligados que apresentaram uma variação de 36.45 a 48.78 $\mu\text{g CE/ g}$ e 74.39 a 110.77 $\mu\text{g CE/ g}$, respectivamente.

Outros trabalhos que avaliaram o farelo de trigo encontraram valores de 109 $\mu\text{g CE/g}$ com extração feita com etanol 80% (LÓPEZ-PEREA et al., 2019). Isso indica que o teor de flavonoides também está fortemente concentrado nas camadas mais externas dos grãos, que correspondem ao farelo. Assim, as farinhas integrais possuem maior teor flavonoides comparado com farinhas refinadas (BREWER et al., 2024).

Além de possuir teores de compostos fenólicos mais elevados, as farinhas integrais de grãos de trigo também possuem elevada atividade antioxidante (MELIOS et al., 2024; BHAT et al., 2019; BENGUELLA et al., 2022). A atividade antioxidante das farinhas integrais de trigo avaliadas em diferentes ambientes foi medida como DPPH e ABTS (Tabelas 6 e 7).

A capacidade antioxidante de eliminar o radical estável DPPH da farinha integral de trigo na fração de compostos fenólicos livre apresentou uma variação de 33,73 a 41,98 mg/g nos genótipos BRS Gralha Azul e TBIO Sossego, respectivamente, cultivados em Londrina. Já em Pato Branco, a capacidade antioxidante encontrada foi de 22,36 mg/g, no genótipo BRS Sabiá e 36,57 mg/g para o genótipo TBIO Toruk. Em Ponta Grossa a capacidade de eliminação do radical DPPH variou de 18,37 a 34,49 mg/g nos genótipos BRS Sabiá e BRS Atobá, respectivamente. Entre os ambientes estudados a média de variação da atividade antioxidante das farinhas integrais de trigo foi de 25,64 a 36,31 mg/g, em Ponta Grossa e Londrina respectivamente.

Tabela 6 - Médias da atividade antioxidante medida como DPPH de farinhas integrais de trigo cultivados em diferentes ambientes.

Genótipo	DPPH livres (mg/g)			DPPH ligados (mg/g)		
	Londrina	Pato Branco	Ponta Grossa	Londrina	Pato Branco	Ponta Grossa
BRS Atobá	37,31 cd B	34,18 e A	34,49 g A	189,76 e A	191,63 de B	190,49 f AB
BRS Gralha Azul	33,73 a C	26,98 c B	22,46 b A	190,96 e C	185,1 c B	171,83 b A
BRS Sabiá	35,59 bc C	22,36 a B	18,37 a A	186,13 d B	187,49 c B	178,27 c A
BRS Sanhaço	34,69 ab C	25,95 bc A	27,64 d B	172,56 b A	193,75 e C	188,56 ef B
IPR Catuara	34,82 ab C	24,2 b B	21,98 b A	191,29 e C	175,79 a B	158,93 a A
IPR Potyporã	34,79 ab C	33,49 e B	26,7 d A	162,86 a A	193,08 de C	176,97 c B
IPR Batovi	37,85 d C	30,39 d B	24,47 c A	176,26 c A	181,51 b B	182,91 d B
TBIO Sonic	37,6 d C	31,37 d B	19,41 a A	196,0 f B	187,11 c A	186,13 e A
TBIO Sossego	41,98 e C	31,11 d B	29,43 e A	164,31 a A	191,12 de C	172,24 b B
TBIO Toruk	34,71 ab B	36,57 f C	31,41 f A	164,79 a A	197,74 f C	176,13 c B
Médias	36,307 C	29,66 B	25,636 A	179,492 B	188,432 C	178,246 A

*Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si $p < 0.05$ pelo teste de Tukey.

A atividade antioxidante do extrato nas frações ligadas apresentou médias superiores à da fração livre. Em Londrina a atividade antioxidante do extrato na fração ligada das farinhas

integrais de trigo foi de 162,86 a 191,29 mg/g nos genótipos IPR Potyporã e IPR Catuara respectivamente. Já em Pato Branco a atividade antioxidante variou de 175,79 (mg/g) no genótipo IPR Catuara a 197,74 mg/g no genótipo TBIO Toruk. Em Ponta Grossa a menor média da capacidade antioxidante das farinhas integrais foi de 158,93 mg/g encontrada no genótipo IPR Catuara e a maior de 190,49 mg/g no genótipo BRS Atobá. Entre os ambientes avaliados, a média de atividade antioxidante das farinhas de trigo integrais variou de 178,25 a 188,43 mg/g, em Ponta Grossa e Pato Branco, respectivamente.

Pu et al. (2019) relatam que dias longos, intensidade de radiação e alta temperatura do ar estão associados ao alto teor de substâncias bioativas e atividade antioxidante dos grãos. Nesse contexto, os antioxidantes mais abundantes em grãos integrais são os ácidos fenólicos, que são altamente concentrados no farelo e no gérmen (KOWALSKA et al., 2022).

Variações nas condições de temperatura na fase de enchimento dos grãos de trigo foram relatadas como um fator importante de influência no perfil de compostos fenólicos e atividade antioxidante (SHAMLOO et al., 2017). Di Loreto et al. (2018) avaliaram 22 genótipos de trigo duro, entre eles genótipos antigos e modernos, e encontraram atividades antioxidantes de DPPH de 1,86 mg TE/g ($7,4 \pm 0,3 \mu\text{mol/g}$) para o genótipo antigo Inglesa e 1,02 mg TE/g ($4,1 \pm 0,2 \mu\text{mol/g}$) para genótipo Claudio, o genótipo de trigo moderno.

Valores médios de atividade antioxidante foram encontradas em farinhas integrais reconstituídas com moagens de peneiras finas e grossas de 164 e 138 mmol/g, respectivamente (NAVROSTSKYI et al., 2019).

Atividades antioxidantes também foram determinadas em farinhas de trigo integrais moídas em diferentes rotações de moinho, os valores encontrados foram de 10,84 a 20,70 $\mu\text{mol/g}$ nas rotações de 400 rpm em rolo médio e 200 rpm em rolo largo, respectivamente (KULATHUNGA; SIMSEK, 2024).

As variações na distribuição dos compostos e atividades antioxidantes em farinhas integrais provavelmente têm implicações para as indústrias de moagem e panificação e sugerem benefícios à saúde dos consumidores de produtos integrais e alimentos que contêm farinha integral de trigo (YU; NANGUET; BETA, 2013; HEMALATHA; RAO, 2024).

A atividade antioxidante do extrato na fração livre foi medida como ABTS e apresentou uma variação de 1,49 a 2,31 mM) dos genótipos TBIO Toruk e TBIO Sossego, respectivamente em Londrina. Já em Pato Branco a variação encontrada foi de 1,37 mM (IPR Catuara) e 2,10 mM (TBIO Toruk). Em Ponta Grossa apresentou atividade mínima de 1,46 mM (BRS Sabiá e IPR Batovi) e máxima de 1,89 mM (IPR Potyporã). Entre os ambientes

estudados a variação da média encontrada foi de 1,65 mM em de Pato Branco e Ponta Grossa e de 1,92mM em Londrina.

Tabela 7 - Médias da atividade antioxidante medida como ABTS de farinhas integrais de trigos cultivados em diferentes ambientes.

Genótipo	ABTS livres (mM)			ABTS ligados (mM)		
	Londrina	Pato Branco	Ponta Grossa	Londrina	Pato Branco	Ponta Grossa
BRS Atobá	1,85 cd B	1,68 bcd A	1,77 cde AB	6,67 c A	6,74 a A	7 de B
BRS Gralha Azul	1,91 de B	1,52 abc A	1,59 abc A	4,91 a A	7,07 bc C	5,62 b B
BRS Sabiá	2,08 ef B	1,49 ab A	1,46 a A	6,8 cd B	7,28 cd C	6,41 c A
BRS Sanhaço	1,63 ab B	1,46 a A	1,55 ab AB	6,67 c A	7 bc B	7,19 e C
IPR Catuara	1,98 de B	1,37 a A	1,86 de B	6,31 b B	6,53 a C	4,97 a A
IPR Potyporã	1,7 bc A	1,94 ef B	1,89 e B	7,01 d B	7,34 d C	6,5 c A
IPR Batovi	2,19 fg C	1,83 de B	1,46 a A	7,41 e C	7,08 bc B	6,79 de A
TBIO Sonic	2,05 ef B	1,69 cd A	1,59 abc A	6,34 b A	6,98 b B	6,47 c A
TBIO Sossego	2,31 g C	1,44 a A	1,62 abc B	7,02 d B	7,14 bcd B	5 a A
TBIO Toruk	1,49 a A	2,1 f C	1,68 bcd B	6,91 d B	7,37 d C	5,57 b A
Médias	1,919 B	1,652 A	1,647 A	6,605 B	7,053 C	6,152 A

*Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si $p < 0.05$ pelo teste de Tukey.

A atividade antioxidante da fração do extrato compostos fenólicos ligados expressa como ABTS em genótipos cultivados em Londrina apresentou variação de 4,91 a 7,41 mM nas farinhas integrais de trigo dos genótipos BRS Gralha Azul e IPR Batovi, respectivamente. Em Pato Branco a variação encontrada foi de 6,53 mM (IPR Catuara) e 7,37 mM (TBIO Toruk). Já em Ponta Grossa a variação da atividade antioxidante foi de 4,97 a 7,19 mM (IPR Catuara e BRS Sanhaço, respectivamente). Entre os ambientes estudados, a média da atividade antioxidante das farinhas integrais variou de 6,15 mM em Ponta Grossa e 7,05 mM em Pato Branco.

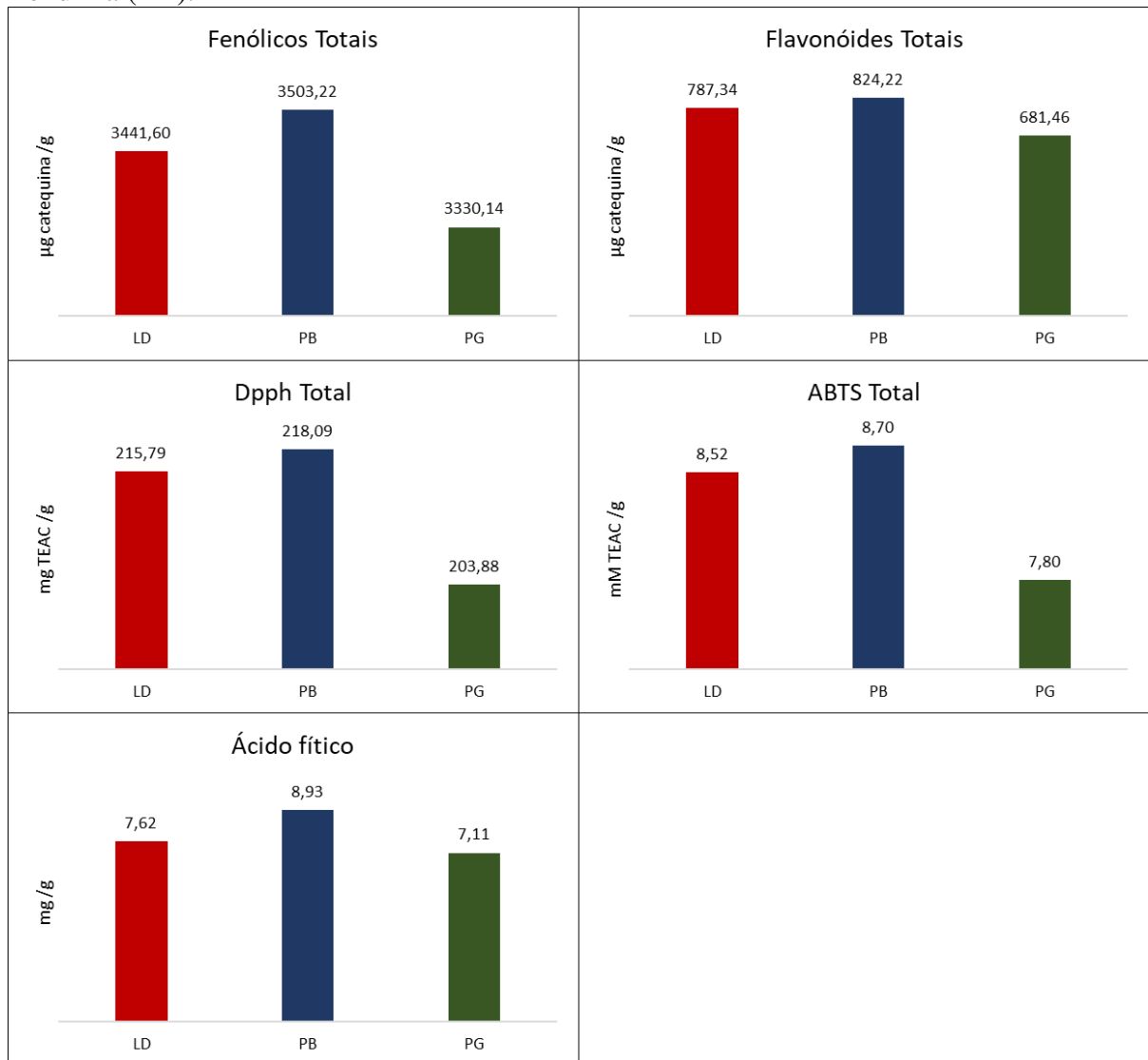
4.3.2 Conteúdo De compostos Fenólicos Totais, Flavonoides E Atividade Antioxidante

O grão de trigo integral é uma fonte de energia e um fornecedor de nutrientes insubstituíveis para o corpo humano. O teor de compostos fenólicos totais, flavonoides totais, atividade antioxidante medida com DPPH e ABTS de farinhas de trigo cultivados em diferentes ambientes foi obtida por meio da soma das frações livres e ligadas. Os teores totais podem ser observados na Figura 3.

Não foram encontradas diferenças significativas nos compostos fenólicos totais entre os ambientes de cultivo. O conteúdo médio de compostos fenólicos totais por local de cultivo apresentou um teor mínimo em Ponta Grossa (3330,14 $\mu\text{g/g}$) e um máximo teor em Pato Branco (3503,22 $\mu\text{g/g}$). Ao comparar amostras de farinha integrais de duas variedades, Lu et al. (2017) encontraram diferenças significativas no teor de compostos fenólicos totais entre os genótipos Louise (752.11 $\mu\text{g/g}$) e WB936 (808.57 $\mu\text{g/g}$). Vaher et al. (2010) encontraram teores de fenólicos totais variando de 1258 a 3157 $\mu\text{g GAE/g}$ em farelo de diferentes genótipos de trigo cultivados na primavera e no inverno. Verificaram ainda que o teor de compostos fenólicos estava relacionado à característica do genótipo pois valores destes compostos em genótipos cultivados no inverno eram mais estáveis comparados com genótipos convencionais de primavera. Os resultados destes estudos indicaram que os genótipos de trigo e a preparação da amostra podem ser inteiramente responsáveis pelas diferenças encontradas nos teores dos compostos fenólicos entre os estudos.

O ambiente com temperaturas mais amenas como aquelas de Ponta Grossa resultou em menor quantidade de compostos fenólicos presentes nas farinhas integrais de trigo cultivados. Em um estudo realizado por De Leonardis et al. (2015) mostraram que ambientes mais quentes para o cultivo de trigo, principalmente no início do desenvolvimento dos grãos, podem ter fortes efeitos no acúmulo de metabólitos nos grãos de trigo maduro e nas propriedades nutricionais e antioxidantes, porém são respostas são estritamente dependentes do genótipo.

Figura 3 - Compostos fenólicos totais, flavonóides totais, ABTS total e DPPH total de farinhas integrais de trigo cultivadas nos ambientes de Ponta Grossa (PG), Pato Branco (PB) e Londrina (LD).



As condições ambientais influenciam a composição dos compostos fenólicos, pois o ambiente tem um efeito significativo nestes compostos, e muitas vezes, estes efeitos são consideravelmente maiores os efeitos do genótipo (STUPER-SZABLEWSKA et al., 2019; MPOFU; SAPIRSTEIN; BETA, 2006).

O conteúdo total de flavonoides totais variou de 681,46 µg /g (Ponta Grossa) a 824,22 µg /g (Pato Branco). A distribuição de compostos fenólicos em diferentes partes do grão de trigo é determinada geneticamente e influenciada pelo metabolismo secundário de diferentes tecidos no trigo (BREWER et al., 2024; ZHOU et al., 2022). Na análise do trigo descascado, Zhou et al. (2022) identificaram que os flavonoides apresentam uma maior distribuição espacial entre as camadas de grãos, mas que o teor de flavonoides era maior nas camadas

externas do trigo e menor no interior do grão. Brewer et al. (2022) encontraram teores mais elevados de flavonoides totais em farinhas integrais de trigo (314,46 $\mu\text{g/g}$) quando comparados com frações separadas dos grãos como farelo, farinha e gérmen.

A atividade antioxidante total média das farinhas integrais dos genótipos nos diferentes ambientes de cultivo medida como DHHP variou de 203,88 mg / g em Ponta Grossa a 218,09 mg / g em Pato Branco. Por outro lado, a atividade antioxidante medida como ABTS variou de 7,80 mM / g em Ponta Grossa a 8,70 mM / g em Pato Branco.

A média do teor de ácido fítico nos ambientes de cultivo teve um valor mínimo de 7,11 mg / g em Ponta Grossa e máxima de 8,93 mg / g em Pato Branco.

As médias de compostos fenólicos totais, flavonoides totais, atividade antioxidante DPPH e ABTS e ácido fítico seguiram um padrão de teores considerando o ambiente de cultivo. No ambiente de Ponta Grossa que apresenta um clima frio, úmido e alta altitude os valores destes compostos foram menores. Em contrapartida, no ambiente de Pato Branco com clima moderadamente quente, úmido e baixa altitude estes valores foram mais elevados.

4.3.3 Análise Multivariada De Compostos Fenólicos E Atividade Antioxidante De Farinhas Integrais De Trigo.

Para avaliar de maneira simultânea os compostos fenólicos e a atividade antioxidante dos diferentes genótipos de trigo em diferentes ambientes foram aplicadas análise multivariada de componentes principais (ACP) (Figura 4). Com a ACP é possível visualizar a existência de um padrão de comportamento das classes na distribuição espacial formado pelos dois primeiros fatores (GOUVEIA et al., 2014).

Na ACP aplicada neste estudo os dois primeiros fatores explicaram 42,66% e 20,08% da variabilidade, respectivamente, totalizando 62,74% da variabilidade existente. Na projeção os valores de fenóis totais, ABTS total, flavonóides totais, DPPH totais, compostos fenólicos ligados, ABTS ligados, flavonóides ligados, DPPH livre e ligados contribuíram para a formação de F1 (+). Os valores de compostos fenólicos livre, ABTS livre e flavonóides livre formaram o F2 (+), enquanto ácido fítico contribuiu na formação de F2 (-).

Na projeção formada pelos dois primeiros fatores da ACP, os genótipos foram separados pelas características de compostos fenólicos livre e ligados e de atividade antioxidante. Os genótipos TBIO Sonic, TBIO Sossego, BRS Sabiá, BRS Gralha Azul, BRS Atobá, IPR Catuara e IPR Batovi cultivados em Londrina, IPR Potyporã, BRS Atobá e BRS

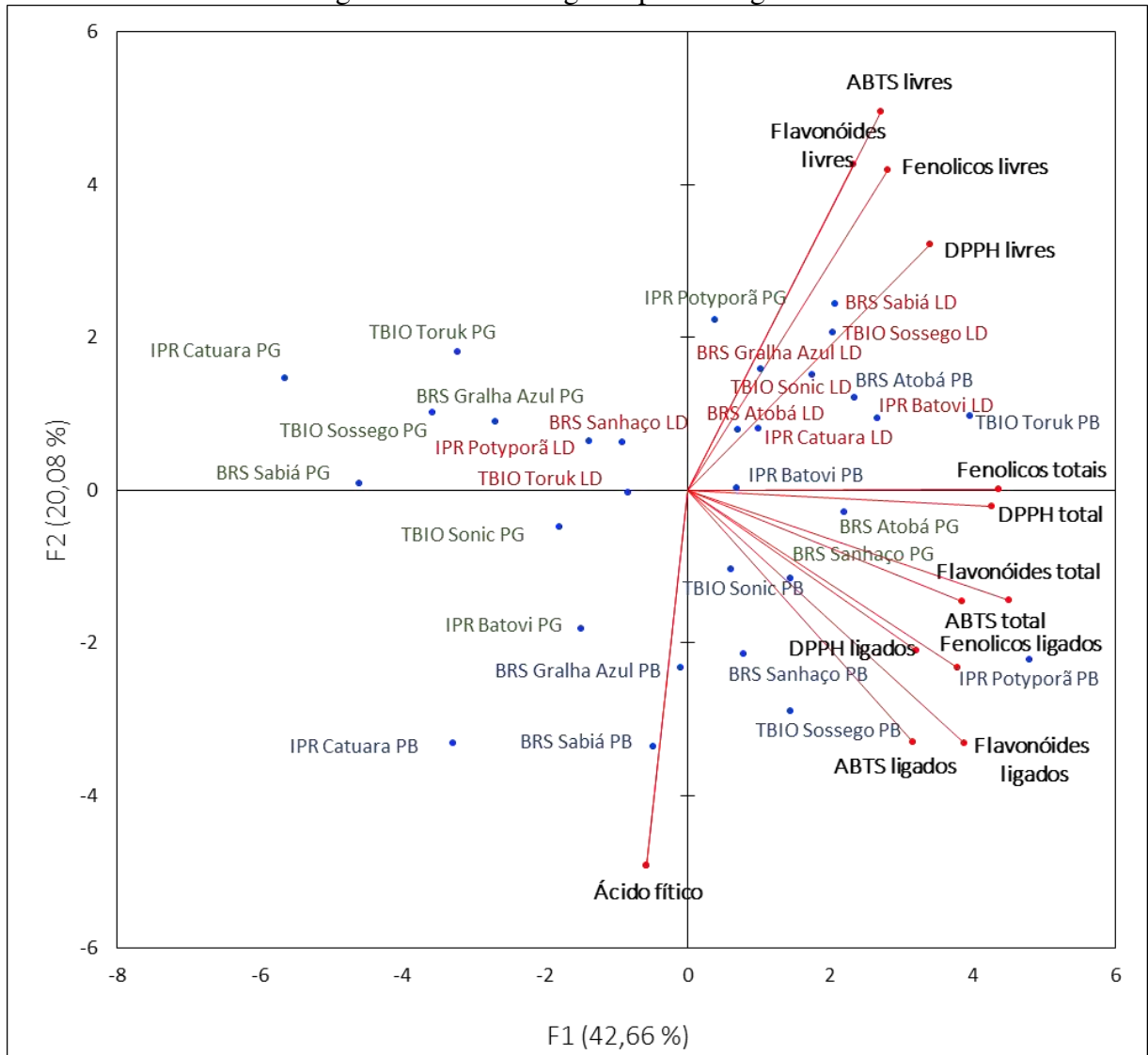
Sanhaço cultivados em Ponta Grossa e BRS Atobá, BRS Sanhaço, TBIO Toruk, TBIO Sonic, TBIO Sossego e IPR Potyporã cultivados em Pato Branco localizados em F1 (+) apresentaram valores altos de fenóis livre, fenóis ligados, fenóis totais, flavonóides livre, flavonóides ligados, flavonóides totais, DPPH livre, DPPH ligados, DPPH totais, ABTS Livre, ABTS ligados e ABTS totais.

Em contrapartida os genótipos BRS Sanhaço, TBIO Totuk e IPR Potyporã cultivados em Londrina, IPR Catuara, BRS Gralha Azul e BRS Sabiá cultivados em Pato Branco e BRS Sabiá, BRS Gralha Azul, TBIO Toruk, TBIO Sossego, TBIO Sonic, IPR Catuara e IPR Batovi cultivados em Ponta Grossa apresentam os menores teores de de fenóis livre, fenóis ligados, fenóis totais, flavonóides livre, flavonóides ligados, flavonóides totais, DPPH livre, DPPH ligados, DPPH totais, ABTS Livre, ABTS ligados e ABTS totais, e um maior teor de ácido fítico.

Os genótipos cultivados predominantemente em Londrina e Pato Branco apresentaram maiores valores nas quantidades de antioxidantes. As maiores quantidades desses fitoquímicos podem estar associados a respostas fisiológicas das plantas às condições ambientais de estresse (LEVAKOVA et al., 2017). Os genótipos de trigo que foram cultivados em Londrina exceto os genótipos TBIO Toruk, BRS Sanhaço e IPR Potyporã, apresentaram os maiores teores de compostos fenólicos livre, flavonóides livres, Atividade antioxidante DPPH e ABTS na fração livre. Os compostos fenólicos livres são mais responsivos como mecanismos de resistência como a primeira linha de defesa, juntamente com sua ação antioxidante, em conjunto com os efeitos dos ácidos fenólicos ligados (PU et al., 2019; DI LORETO et al., 2018). Além disso, seus teores estão relacionados com ambientes que apresentam estresse por calor como resposta de defesa das plantas (SHAMLOO et al., 2017).

Dessa forma, conforme os resultados da separação pela ACP para as características nos diferentes ambientes, é possível separar os genótipos pelos seus teores de compostos fenólicos.

Figura 4 - Biplot das características de compostos fenólicos totais, livres e ligados, flavonoides totais, livres e ligados, DPPH total, livre e ligados, ABTS total, livre e ligados e ácido fítico de farinhas integrais de diferentes genótipos de trigo cultivados em 3 ambientes



Para visualizar com maior clareza as características de similaridade entre os genótipos foi realizada a análise de agrupamento hierárquicos pelo método de Ward (Figura 5). Nesta análise os genótipos foram agrupados em 3 grupos (G1, G2 e G3) considerando as características de compostos fenólicos e atividade antioxidante de farinhas integrais de trigo de diferentes genótipos cultivados em diferentes ambientes (Tabela 8).

O grupo G2 foi composto pelos genótipos TBIO Sonic, BRS Sabiá, BRS Gralha Azul, IPR Catuara, TBIO Sossego, TBIO Toruk e IPR Batovi cultivados em Ponta Grossa. Também o genótipo IPR Catuara cultivado em Pato Branco e os genótipos TBIO Toruk, BRS Sanhaço e IPR Potyporã cultivados em Londrina. Esse grupo está caracterizado por apresentar os menores teores de compostos fenólicos livres, ligados e totais, menores teores de flavonoides livres, ligados e totais, e menores atividades antioxidantes medidas como DPPH e ABTS nas frações livres, ligados e totais.

O grupo G3 foi composto pelo genótipo BRS Sanhaço cultivado em Ponta Grossa, e BRS Sabiá, BRS Gralha Azul, BRS Sanhaço, TBIO Sossego e IPR Potyporã cultivados em Pato Branco. Esse grupo apresentou as maiores quantidades de ácido fítico, compostos fenólicos ligados e totais, flavonóides ligados e totais, atividade antioxidante DPPH na fração ligada, e atividade antioxidante ABTS na fração ligada e totais.

Tabela 8 - Valores médios de ácido fítico, fenólicos livre, fenólicos ligado, ABTS livre, ABTS ligado, ABTS total, flavonóides livres, flavonóides ligados, DPPH livre, DHHP ligado e totais dos grupos de genótipos formados na análise de agrupamento hierárquico.

	G1	G2	G3	Pr > F
Ác. Fítico	7,37 b	7,84 ab	9,1 a	0,056
Fenólicos livres	741,92 a	591,51 b	621,49 b	< 0,0001
Fenólicos ligado	2783,22 b	2627,41 c	2964,27 a	0,000
Fenólicos totais	3525,14 a	3218,93 b	3585,76 a	< 0,0001
Flavonoides livres	0,09 a	0,04 b	0,04 b	0,001
Flavonóides ligado	0,72 a	0,62 b	0,80 a	0,000
Flavonóides totais	0,81 a	0,67 b	0,84 a	< 0,0001
DPPH livre	34,81 a	26,90 b	27,92 b	0,001
DPPH ligado	186,16 a	172,95 b	189,85 a	0,000
DPPH totais	220,97 a	199,84 b	217,77 a	< 0,0001
ABTS livre	1,95 a	1,59 b	1,57 b	< 0,0001
ABTS ligado	6,70 ab	6,18 b	7,17 a	0,013
ABTS Totais	8,65 a	7,76 b	8,73 a	0,003

*Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si $p < 0.05$ pelo teste de Tukey.

Dessa forma as informações obtidas neste estudo constituem uma base valiosa para compreensão das variações de compostos fenólicos e atividade antioxidante de farinhas integrais de trigo cultivados em diferentes ambientes. Com base nessas informações é possível formar uma base para a seleção de grãos de trigo específicos para serem usados como integrais, produzindo farinhas mais nutritivas dependendo do ambiente de desenvolvimento e do genótipo.

4.4 CONCLUSÃO

Os resultados encontrados no presente estudo reforçam que existe variabilidade nos perfis de compostos fenólicos em diferentes genótipos e que o local de cultivo assim como o sistema/manejo pode influenciar na quantidade do composto.

Os teores e distribuição de ácido fítico, fenólicos livres e ligados, flavonoides livres e ligados e atividade antioxidante foram significativamente influenciados pelo genótipo, ambiente de crescimento e interações genótipo por ambiente.

Entre os dez genótipos estudados no presente estudo, IPR Potyporã apresentou, de modo geral, os maiores conteúdos de compostos fenólicos e atividade antioxidante. O ambiente de Pato Branco, que se caracteriza como moderadamente quente, úmida e baixa altitude apresentou as maiores quantidades de compostos fenólicos e atividade antioxidante, enquanto Ponta Grossa apresentou as menores quantidades dos mesmos compostos.

As informações obtidas neste estudo constituem uma base valiosa para compreensão das variações de compostos fenólicos e atividade antioxidante de farinhas integrais de trigo cultivados em diferentes ambientes e permitem a seleção de grãos de trigo específicos para serem usados como integrais, produzindo farinhas mais nutritivas dependendo do ambiente de desenvolvimento e do genótipo.

Alternativamente, os programas de melhoramento genético de grãos de trigo podem explorar os efeitos de genótipo e ambiente e suas interações para selecionar genótipos com maiores quantidades de compostos fenólicos e atividade antioxidante, e também locais de cultivo que resultem em maiores teores de ácidos fenólicos.

Estudos futuros devem, portanto, se concentrar em testar simultaneamente os efeitos de vários fatores ambientais para obter uma perspectiva mais realista de como os diferentes ambientes podem impactar a produção de segundos

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC. American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods**. St. Paul, MN.: American Association of Cereal Chemists. 2000.

ABDEL-AAL, E., HUCL, P., SOSULSKI, F.W., GRAF, R., GILLOTT, C., PIETRZAK, L., Screening spring wheat for midge resistance in relation to ferulic acid content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49, 3559e3566. 2001.

ADDINSOFT, S. A. R. L. XLSTAT software, 2010. **Addinsoft: Barcelona, Spain**, 2010.

ADOM, K.K., SORRELLS, M.E., LIU, R.H., Phytochemicals and antioxidant activity of milled fractions of different wheat varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53, 2297e2306. 2005

AĞIRBAŞ, HALIDE EZGI TUNA; YAVUZ-DÜZGÜN, MERVE; ÖZÇELİK, BERAAT. The effect of fruit seed flours on Farinograph characteristics of composite dough and shelf life of cake products. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 15, n. 5, p. 3973-3984, 2021.

AGOSTONI, C., BOCCIA, S., GRAFFIGNA, G., JOANNE, S., & SZAJEWSKA, H. The Evidence Behind Dietary Guidelines: Evolution, Consumers' Trust and Perceptions. 2023

ALARA, O. R., ABDURAHMAN, N. H., & UKAEGBU, C. I. Extraction of phenolic compounds: A review. **Current research in food science**, v. 4, p. 200-214, 2021.

ALTENBACH, S. B., DUPONT, F. M., KOTHARI, K. M., CHAN, R., JOHNSON, E. L., & LIEU, D. Temperature, water and fertilizer influence the timing of key events during grain development in a US spring wheat. **Journal of Cereal Science**, v. 37, n. 1, p. 9-20, 2003.

.ANDERSSON, A. A.; DIMBERG, L.; ÅMAN, P.; LANDBERG, R. Recent findings on certain bioactive components in whole grain wheat and rye. **Journal of Cereal Science**, v. 59, n. 3, p. 294-311, 2014.

ARAIN, M. A.; SIAL, M. A.; RAJPUT; M. A., MIRBAHAR, A. A. Yield stability in bread wheat genotypes. **Pakistan Journal Botany**, v. 43, n. 4, p. 2071-2074, 2011.

ARVOLA, A., LÄHTEENMÄKI, L., DEAN, M., VASSALLO, M., WINKELMANN, M., CLAUPEIN, E., SHEPHERD, R. Consumers' beliefs about whole and refined grain products in the UK, Italy and Finland. **Journal of Cereal Science**, v. 46, n. 3, p. 197-206, 2007.

ASHRAF, M., QURESHI, A. S., GHAFOR, A., & KHAN, N. A. Genotype-environment interaction in wheat. **Pak. J. Bio. Sci**, v. 1, n. 5, p. 356-357, 2001.

AYDOĞAN S., ŞAHİN M., GÖÇMEN AKÇACIK A., DEMİR B., HAMZAOĞLU S., MECİTOĞLU GÜÇBİLMEZ Ç., GÜR S. AND YAKIŞIR E. The Effect of Protein Ratio on Other Quality Parameters in Bread Wheat Genotypes, *Bozok Journal of Agriculture and Natural Sciences*, v. 3, n. 1, p. 27-36, 2024.

- BAASANDORJ, T., OHM, J. B., & SIMSEK, S. Comparison of different experimental breadmaking methods and their associations with flour quality parameters in hard red spring wheat. **Cereal Chemistry**, v. 97, n. 2, p. 515-526, 2020.
- BALA, M., TUSHIR, S., GARG, M., MEENU, M., KAUR, S., SHARMA, S., & MANN, S. Wheat Milling and Recent Processing Technologies: Effect on Nutritional Properties, Challenges, and Strategies. In: **Wheat Science**. CRC Press. p. 219-256. 2023.
- BALLARD, C. R., & JUNIOR, M. R. M. Health benefits of flavonoids. In: **Bioactive compounds**. Woodhead Publishing, 2019. p. 185-201
- BALLOCH, T. A., JATOI, W. A., MARI, S. N., SHIRAZI, U., MARRI, F. A., JATOI, I. A., LAL, K. Superior wheat hybrids development for physiological and yield related traits under adverse environmental conditions. **SABRAO J. Breed. Genet**, v. 56, n. 3, p. 1022-1036, 2024.
- BARRON, C., SURGET, A., ROUAU, X. Relative amounts of tissues in mature wheat (*Triticum aestivum* L.) grain and their carbohydrate and phenolic acid composition. **Journal of Cereal Science**, v. 45, n. 1, p. 88-96, 2007.
- BARTELL, CURTIS; ANYIENI, ANGIE; GUO, GANG. The Farinograph as a tool for wheat-milling operations: Current and potential uses. In: **The Farinograph Handbook**. Woodhead Publishing, 2022. p. 73-80.
- BENGUELLE, R., MEZIANI, S., ZOHRA, C. F., BAREK, S., AISSAOUI, M., RAHMOUN, M. N., DEMMOUCHE, A. Comparison of the nutritional and antioxidant values of the peripheral layers in two species of wheat (soft and hard) grown in Algeria. **Chilean journal of agricultural & animal sciences**, v. 38, n. 1, p. 15-25, 2022.
- BHAT, N. A., WANI, I. A., HAMDANI, A. M., GANI, A. Effect of extrusion on the physicochemical and antioxidant properties of value added snacks from whole wheat (*Triticum aestivum* L.) flour. **Food chemistry**, v. 276, p. 22-32, 2019.
- BIEL, W., JAROSZEWSKA, A., STANKOWSKI, S., SOBOLEWSKA, M., & KĘPIŃSKA-PACELIK, J. Comparison of yield, chemical composition and farinograph properties of common and ancient wheat grains. **European Food Research and Technology**, v. 247, n. 6, p. 1525-1538, 2021.
- BOCK, J. E. The structural evolution of water and gluten in refined and whole grain breads: A study of soft and hard wheat breads from postmixing to final product. **Cereal Chemistry**, v. 96, n. 3, p. 520-531, 2019.
- BOCK, JAYNE E.; DON, CLYDE (Ed.). **The Farinograph Handbook: Advances in Technology, Science, and Applications**. Elsevier, 2022.
- BOITA, E. R., ORO, T., BRESSIANI, J., SANTETTI, G. S., BERTOLIN, T. E., & GUTKOSKI, L. C. Rheological properties of wheat flour dough and pan bread with wheat bran. **Journal of Cereal Science**, v. 71, p. 177-182, 2016.

- BONDIA-PONS, I., AURA, A. M., VUORELA, S., KOLEHMAINEN, M., MYKKÄNEN, H., POUTANEN, K. Rye phenolics in nutrition and health. **Journal of cereal science**, v. 49, n. 3, p. 323-336, 2009.
- BOHN, L., MEYER, A. S., RASMUSSEN, S. K. Phytate: impact on environment and human nutrition. A challenge for molecular breeding. **Journal of Zhejiang University Science B**, v. 9, n. 3, p. 165-191, 2008
- BRAND-WILLIAMS, W., CUVELIER, M. E., & BERSET, C. L. W. T. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT Food Sci Technol* 28: 25–30. 1995
- BRANKOVIC, GR, DODIG, D., ZORIC, MZ, SURLAN-MOMIROVIC, GG, DRAGICEVIC, V., & DURIC, N. Effects of climatic factors on grain vitreousness stability and heritability in durum wheat. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 38, n. 4, p. 429-440, 2014.
- BRANLARD, G; DARDEVET, M. Diversity of grain proteins and bread wheat quality: I. Correlation between gliadin bands and flour quality characteristics. **Journal of cereal science**, v. 3, n. 4, p. 329-343, 1985.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 58, de 19 de novembro de 2008. Diário Oficial da União, 25 nov. 2008b. Seção 1, p. 3-13.
- BRASIL. Ministério da Saúde. RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA - **RDC Nº 711**, DE 1º DE JULHO DE 2022 (Publicada no DOU nº 126, de 6 de julho de 2022) a
- BRASIL. Ministério da Saúde. RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA - **RDC Nº 712**, DE 1º DE JULHO DE 2022 (Publicada no DOU nº 126, de 6 de julho de 2022) b
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010. Regulamento técnico do trigo. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1 dez. 2010. Seção 1, p. 2
- BRESSIANI, J., ORO, T., SANTETTI, G. S., ALMEIDA, J. L., BERTOLIN, T. E., GÓMEZ, M., GUTKOSKI, L. C. Properties of whole grain wheat flour and performance in bakery products as a function of particle size. **Journal of Cereal Science**, v. 75, p. 269-277, 2017.
- BREWER, L. R., KUBOLA, J., SIRIAMORNUN, S., SHI, Y. C. Distribution of antioxidants and phenolic compounds in flour milling fractions from hard red winter wheat. **Grain & Oil Science and Technology**, 2024.
- BROUNS, F., HEMERY, Y., PRICE, R., ANSON, N. M. Wheat aleurone: separation, composition, health aspects, and potential food use. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 52, n. 6, p. 553-568, 2012.
- BUENO-HERRERA, M., PÉREZ-MAGARIÑO, S. Validation of an extraction method for the quantification of soluble free and insoluble bound phenolic compounds in wheat by HPLC-DAD. **Journal of Cereal Science**, v. 93, p. 102984, 2020.

BUCZEK, J., JAŃCZAK-PIENIAŻEK, M., HARASIM, E., KWIATKOWSKI, C. A., & KAPUSTA, I. Effect of cropping systems and environment on phenolic acid profiles and yielding of hybrid winter wheat genotypes. **Agriculture**, v. 13, n. 4, p. 834, 2023.

CAI, L., CHOI, I., LEE, C. K., PARK, K. K., BAIK, B. K. Bran characteristics and bread-baking quality of whole grain wheat flour. **Cereal Chemistry**, v. 91, n. 4, p. 398-405, 2014.

CALL, L., KAPPELLER, M., GRAUSGRUBER, H., REITER, E., SCHOENLECHNER, R., D'AMICO, S. Effects of species and breeding on wheat protein composition. **Journal of Cereal Science**, v. 93, p. 102974, 2020.

CAMARGO, C. E. D. O., FERREIRA FILHO, A. W. P., SALOMON, M. V. Temperature and pH of the nutrient solution on wheat primary root growth. **Scientia Agricola**, v. 61, n. 3, p. 313-318, 2004.

CAMIRE, M. E., BOLTON, J., JORDAN, J. J., KELLEY, S., OBERHOLTZER, A., QIU, X. J., & DOUGHERTY, M. Color influences consumer opinions of wheat muffins. 274-276. 2006.

CAPPELLI, A., OLIVA, N., & CINI, E. Stone milling versus roller milling: A systematic review of the effects on wheat flour quality, dough rheology, and bread characteristics. **Trends in Food Science & Technology**, v. 97, p. 147-155, 2020.

CETINER, BUKET; KOKSEL, HAMIT. Comparison of quality, dietary fiber and glycemic index of whole wheat breads using various modern and old wheats and investigate the effect of xylanase. **Journal of Food Measurement and Characterization**, p. 1-12, 2024.

CHALLACOMBE, C. A., ABDEL-AAL, E. S. M., SEETHARAMAN, K., & DUIZER, L. M. Influence of phenolic acid content on sensory perception of bread and crackers made from red or white wheat. **Journal of cereal science**, v. 56, n. 2, p. 181-188, 2012.

CHEN, X., TANG, W., LI, X., ZHUANG, K., LYU, Q., DING, W. Effect of extrusion on phenolics from Jizi439 black wheat bran: The profile, structure, and bioactivities. **Lwt**, v. 177, p. 114369, 2023.

CONAB-Companhia Nacional de Abastecimento. **Safra Brasileira de Grãos safra 2024**.

CROSBIE, G. B., FISHER, H. Variation in wheat protein content: The effect of environment. **Journal of the Department of Agriculture, Western Australia, Series 4**, v. 28, n. 4, p. 124-127, 1987.

CUI, C., CAPORASO, N., CHEN, J., & FEARN, T. Farinograph characteristics of wheat flour predicted by near infrared spectroscopy with an ensemble modelling method. **Journal of Food Engineering**, v. 359, p. 111689, 2023.

DAPČEVIĆ-HADNAĐEV, T., TOMIĆ, J., ŠKROBOT, D., ŠARIĆ, B., & HADNAĐEV, M. Processing strategies to improve the breadmaking potential of whole-grain wheat and non-wheat flours. **Discover Food**, v. 2, n. 1, p. 11, 2022.

- D'COSTA, A. S., BORDENAVE, N. Whole grain chemistry and nutrition from a health perspective: Understanding the fibre-phenolic-starch ménage à trois. **Trends in Food Science & Technology**, p. 104196, 2023.
- DE BONDT, Y., HERMANS, W., MOLDENAERS, P., COURTIN, C. M. Selective modification of wheat bran affects its impact on gluten-starch dough rheology, microstructure and bread volume. **Food Hydrocolloids**, v. 113, p. 106348, 2021.
- DE BRIER, N., DELCOUR, J. A. Pearling affects the lipid content and composition and lipase activity levels of wheat (*Triticum aestivum* L.) roller milling fractions. **Cereal Chemistry**, v. 94, n. 3, p. 588-593, 2017.
- DE LEONARDIS, A. M., FRAGASSO, M., BELEGGIA, R., FICCO, D. B. M., DE VITA, P., MASTRANGELO, A. M. Effects of heat stress on metabolite accumulation and composition, and nutritional properties of durum wheat grain. **International journal of molecular sciences**, v. 16, n. 12, p. 30382-30404, 2015.
- DELWICHE, S. R., MORRIS, C. F., & KISZONAS, A. M. Compressive strength of super soft wheat endosperm. **Journal of Cereal Science**, v. 91, p. 102894, 2020.
- DEWANTO, V.; WU, X.; ADOM, K.K.; LIU, R.H. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 10, p. 3010-3014, 2002.
- DILMURODOVICH, D. S., BEKMURODOVICH, B. N., & SHAKIRJONOVICH, K. N. Creation of new drought-resistant, high-yielding and high-quality varieties of bread wheat for rainfed areas. **British Journal of Global Ecology and Sustainable Development**, v. 2, p. 61-73, 2022.
- DI LORETO, A., BOSI, S., MONTERO, L., BREGOLA, V., MAROTTI, I., SFERRAZZA, R. E., CIFUENTES, A. Determination of phenolic compounds in ancient and modern durum wheat genotypes. **Electrophoresis**, v. 39, n. 15, p. 2001-2010, 2018.
- DOBLADO-MALDONADO, A. F., PIKE, O. A., SWELEY, J. C., ROSE, D. J. Key issues and challenges in whole wheat flour milling and storage. **Journal of cereal science**, v. 56, n. 2, p. 119-126, 2012.
- DUBCOVSKY, J.; DVORAK, J. Genome plasticity a key factor in the success of polyploid wheat under domestication. **Science**, v. 316, n. 5833, p. 1862-1866, 2007.
- EBERHART, S.A.; RUSSEL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, Madison, v.6. p.36-40, 1966
- EKALU, A., & HABILA, J. D. Flavonoids: isolation, characterization, and health benefits. **Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 9, p. 1-14, 2020.
- EKINCI, P. D., GÖKBULUT, I. Determination of the Rheological Properties of Red and White Bread Wheat Flours with Different Methods. 2020

ELSAHOOKIE, MEDHAT M.; CHEYED, SADDAM H.; DAWOOD, A. A. Characteristics of whole wheat grain bread quality. **Systematic Reviews in Pharmacy**, v. 12, n. 1, p. 593-597, 2021.

EVERS, A. D., & BECHTEL, D. B. Microscopic structure of the wheat grain. **Wheat: chemistry and technology**. Volume I., n. Ed. 3, p. 47-95, 1988.

FAN, L., MA, S., LI, L., HUANG, J. Fermentation biotechnology applied to wheat bran for the degradation of cell wall fiber and its potential health benefits: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, p. 133529, 2024.

FARDET, A. New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: what is beyond fibre?. **Nutrition research reviews**, v. 23, n. 1, p. 65-134, 2010.

FERNANDEZ-OROZCO, R., LI, L., HARFLETT, C., SHEWRY, P. R., & WARD, J. L. Effects of environment and genotype on phenolic acids in wheat in the HEALTHGRAIN diversity screen. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 58, n. 17, p. 9341-9352, 2010.

FERRISE R, TRIOSSI A, STRATONOVITCH P, BINDI M, MARTRE P. Sowing date and nitrogen fertilisation effects on dry matter and nitrogen dynamics for durum wheat: an experimental and simulation study. **Field Crops Research** 117:245-257.2010.

FERREIRA, M. S., MARTRE, P., MANGAVEL, C., GIROUSSE, C., ROSA, N. N., SAMSON, M. F., & MOREL, M. H. Physicochemical control of durum wheat grain filling and glutenin polymer assembly under different temperature regimes. **Journal of Cereal Science**, v. 56, n. 1, p. 58-66, 2012.

FRADGLEY, N. S., GARDNER, K. A., KERTON, M., SWARBRECK, S. M., BENTLEY, A. R. Balancing quality with quantity: A case study of UK bread wheat. **Plants, People, Planet**, v. 6, n. 5, p. 1000-1013, 2024.

FOSCHIA, M.; PERESSINI, D.; SENSIDONI, A.; BRENNAN, M.A.; BRENNAN, C.S. How combinations of dietary fibres can affect physicochemical characteristics of pasta. *Food Sci. Technol.* 61, 41–46. 2015.

FU, B. X., WANG, K., DUPUIS, B. Predicting water absorption of wheat flour using high shear-based GlutoPeak test. **Journal of Cereal Science**, v. 76, p. 116-121, 2017.

FUNG, F., WANG, H. S., & MENON, S. Food safety in the 21st century. **Biomedical journal**, v. 41, n. 2, p. 88-95, 2018.

GAGLIARDI, A., CARUCCI, F., MASCI, S., FLAGELLA, Z., GATTA, G., & GIULIANI, M. M. Effects of genotype, growing season and nitrogen level on gluten protein assembly of durum wheat grown under mediterranean conditions. **Agronomy**, v. 10, n. 5, p. 755, 2020.

GANESAN, K., & XU, B. Polyphenol-rich dry common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and their health benefits. *International Journal of Molecular Sciences*, 18, 2331-2411. 2017.

- GAO, K., LIU, Y. X., TAN, B., TIAN, X. H., PING WANG, L. An insight into the rheology and texture assessment: The influence of sprouting treatment on the whole wheat flour. **Food Hydrocolloids**, v. 125, p. 107248, 2022.
- GIULIANI, M. M., GIUZIO, L., DE CARO, A., FLAGELLA, Z. Relationships between Nitrogen Utilization and Grain Technological Quality in Durum Wheat: II. Grain Yield and Qualities. **Agronomy Journal**, v. 103, n. 6, p. 1668-1675, 2011.
- GRAFENAUER, S., MIGLIORETTO, C., SOLAH, V., & CURTAIN, F. Review of the sensory and physico-chemical properties of red and white wheat: which makes the best whole grain?. **Foods**, v. 9, n. 2, p. 136, 2020.
- GU, X., YANG, X., JIANG, L., HUANG, S., ZHOU, H., ZHU, J., LIU, Y. Nitrogen Foliage Application at Anthesis Improves Grain Yield and Quality of Wheat in a Genotype-Dependent Manner. **Agronomy**, v. 13, n. 12, p. 3077, 2023
- GUAN, E., YANG, Y., PANG, J., ZHANG, T., LI, M., & BIAN, K. Ultrafine grinding of wheat flour: Effect of flour/starch granule profiles and particle size distribution on falling number and pasting properties. **Food Science & Nutrition**, v. 8, n. 6, p. 2581-2587, 2020.
- GUERRINI, L., NAPOLI, M., MANCINI, M., MASELLA, P., CAPPELLI, A., PARENTI, A., ORLANDINI, S. Wheat grain composition, dough rheology and bread quality as affected by nitrogen and sulfur fertilization and seeding density. **Agronomy**, v. 10, n. 2, p. 233, 2020.
- GUPTA, R., MEGHWAL, M., & PRABHAKAR, P. K. Bioactive compounds of pigmented wheat (*Triticum aestivum*): Potential benefits in human health. **Trends in food science & technology**, v. 110, p. 240-252, 2021.
- GUPTA, V., KUMAR, M., SINGH, V., CHAUDHARY, L., YASHVEER, S., SHEORAN, R., NAGPAL, S. Genotype by environment interaction analysis for grain yield of wheat (*Triticum aestivum* (L.) em. Thell) genotypes. **Agriculture**, v. 12, n. 7, p. 1002, 2022.
- GUZMÁN, C., MONDAL, S., GOVINDAN, V., AUTRIQUE, J. E., POSADAS-ROMANO, G., CERVANTES, F., PEÑA, R. J. Use of rapid tests to predict quality traits of CIMMYT bread wheat genotypes grown under different environments. **LWT-Food Science and Technology**, v. 69, p. 327-333, 2016.
- GÓMEZ, M., GUTKOSKI, L. C., & BRAVO-NÚÑEZ, A. Understanding whole-wheat flour and its effect in breads: A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 19, n. 6, p. 3241-3265, 2020.
- GOUVEIA, C.S.S.; FREITAS, G.; BRITO, J.H.; SLASKI, J.J.; CARVALHO, M. A.A.P. Nutritional and mineral variability in 52 accessions of common bean varieties (*Phaseolus vulgaris* L.) from Madeira Island. **Agricultural Sciences**, v. 5, n. 4, p. 317-329, 2014.
- HAGBERG, S. A rapid method for determining alpha-amylase activity. **Cereal Chem**, v. 37, n. 2, p. 218-222, 1960.
- HAMAM, K. A.; KHALED, A. G. A. Stability of wheat genotypes under different environments and their evaluation under sowing dates and nitrogen fertilizer levels. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 3, n. 1, p. 206-217, 2009.

HEINIÖ, R. L., LIUKKONEN, K. H., MYLLYMÄKI, O., PIHLAVA, J. M., ADLERCREUTZ, H., HEINONEN, S. M., POUTANEN, K. Quantities of phenolic compounds and their impacts on the perceived flavour attributes of rye grain. **Journal of Cereal Science**, v. 47, n. 3, p. 566-575, 2008.

HEINIÖ, R. L., NOORT, M. W. J., KATINA, K., ALAM, S. A., SOZER, N., DE KOCK, H. L., POUTANEN, K. Sensory characteristics of wholegrain and bran-rich cereal foods—A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 47, p. 25-38, 2016.

HE, Y., LIN, Y. L., CHEN, C., TSAI, M. H., LIN, A. H. M. Impacts of starch and the interactions between starch and other macromolecules on wheat falling number. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 18, n. 3, p. 641-654, 2019.

HEMALATHA, M. S., RAO, U. P. Effect of Peroxidase on the Physico-chemical, Rheological Properties of Whole Wheat Flour Dough, and Quality Attributes of Chapati and Its Health Benefits. **Journal of Food Engineering and Technology**, v. 13, n. 2, p. 33-40, 2024.

HERNANDEZ-ESPINOSA, N., LADDOMADA, B., PAYNE, T., HUERTA-ESPINO, J., GOVINDAN, V., AMMAR, K., GUZMAN, C. Nutritional quality characterization of a set of durum wheat landraces from Iran and Mexico. **LWT**, v. 124, p. 109198, 2020.

HOURSTON, J. E., IGNATZ, M., REITH, M., LEUBNER-METZGER, G., & STEINBRECHER, T. Biomechanical properties of wheat grains: the implications on milling. **Journal of the Royal Society Interface**, v. 14, n. 126, p. 20160828, 2017.

HORVAT, D., ŠIMIĆ, G., DREZNER, G., LALIĆ, A., LEDENČAN, T., TUCAK, M., ZDUNIĆ, Z. Phenolic acid profiles and antioxidant activity of major cereal crops. **Antioxidants**, v. 9, n. 6, p. 527, 2020.

HSIEH, P. H., WENG, Y. M., YU, Z. R., WANG, B. J. Substitution of wheat flour with wholegrain flours affects physical properties, sensory acceptance, and starch digestion of Chinese steam bread (Mantou). **LWT**, v. 86, p. 571-576, 2017.

HUANG, Y., MENSE, A. L., DENG, L., SU, M., SHIH, K., BOCK, J. E. The characteristics of steamed bread from reconstituted whole wheat flour (WWF) of different hard wheat classes with different bran particle size distributions. **Foods**, v. 10, n. 10, p. 2413, 2021.

HUSSAIN, M., SIMSEK, S. Impact of Ferulated Arabinoxylans from Maize Bran on Farinograph and Pasting Properties of Wheat Flour Blends. **Foods**, v. 13, n. 21, p. 3414, 2024.

IBRAHIM, A., VARGA, A. C., JOLANKAI, M., SAFRANYIK, F. Applying infrared technique as a nondestructive method to assess wheat grain hardness. **International Journal of Science and Qualitative Analysis (2018)**, p. 100-107, 2018.

IKEDA, T. M., OHNISHI, N., NAGAMINE, T., ODA, S., HISATOMI, T., YANO, H. Identification of new puro indo line genotypes and their relationship to flour texture among wheat cultivars. **Journal of Cereal Science**, v. 41, n. 1, p. 1-6, 2005.

- JACOBS, P. J., HEMDANE, S., DELCOUR, J. A., COURTIN, C. M. Dry heat treatment affects wheat bran surface properties and hydration kinetics. **Food Chemistry**, v. 203, p. 513-520, 2016.
- JIANG, Y., QI, Z., LI, J., GAO, J., XIE, Y., HENRY, C. J., ZHOU, W. Role of superfine grinding in purple-whole-wheat flour. Part I: Impacts of size reduction on anthocyanin profile, physicochemical and antioxidant properties. **LWT**, v. 197, p. 115940, 2024.
- JOHANSSON, E., PRIETO-LINDE, M. L., GISSÉN, C. Influences of weather, cultivar and fertiliser rate on grain protein polymer accumulation in field-grown winter wheat, and relations to grain water content and falling number. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 88, n. 11, p. 2011-2018, 2008.
- JOHANSSON, E., BRANLARD, G., CUNIBERTI, M., FLAGELLA, Z., HÜSKEN, A., NURIT, E., VAZQUEZ, D. Genotypic and environmental effects on wheat technological and nutritional quality. In: **Wheat Quality For Improving Processing And Human Health**. Springer, Cham, p. 171-204. 2020.
- JOHNSTON, R., MARTIN, J. M., VETCH, J. M., BYKER-SHANKS, C., FINNIE, S., GIROUX, M. J. Controlled sprouting in wheat increases quality and consumer acceptability of whole-wheat bread. **Cereal Chemistry**, v. 96, n. 5, p. 866-877, 2019.
- JOSHI, P., DHILLON, GS, GAO, Y., KAUR, A., WHEELER, J., CHEN, J. An Optimal Model to Improve Genomic Prediction for Protein Content and Test Weight in a Diverse Spring Wheat Panel. **Agriculture**, v. 14, n. 3, p. 347, 2024.
- KALNINA, S., RAKCEJEVA, T., KUNKULBERGA, D., GALOBURDA, R. Rheological properties of whole wheat and whole triticale flour blends for pasta production. 2015.
- KASRAEI, M., NEJADI, J., SHAFIEI, S. Relationships between grain physicochemical and mechanical properties of some Iranian wheat cultivars. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 17, n. 3, p. 635-647, 2015.
- KATYAL, M., SINGH, N., VIRDI, A. S., KAUR, A., CHOPRA, N., AHLAWAT, A. K., SINGH, A. M. Extraordinarily soft, medium-hard and hard Indian wheat varieties: composition, protein profile, dough and baking properties. **Food Research International**, v. 100, p. 306-317, 2017.
- KHALID, K. H., OHM, J. B., & SIMSEK, S. Whole wheat bread: Effect of bran fractions on dough and end-product quality. **Journal of Cereal Science**, v. 78, p. 48-56, 2017.
- KHALID, K. H., OHM, J. B., & SIMSEK, S. Influence of bread-making method, genotype, and growing location on whole-wheat bread quality in hard red spring wheat. **Cereal Chemistry**, v. 99, n. 3, p. 467-481, 2022.
- KHAN, J., GUL, P., RASHID, M. T., LI, Q., LIU, K. Composition of Whole Grain Dietary Fiber and Phenolics and Their Impact on Markers of Inflammation. **Nutrients**, v. 16, n. 7, p. 1047, 2024.

KHAN, I., GUL, S., KHAN, N. U., FAWIBE, O. O., AKHTAR, N., REHMAN, M., RAUF, A. Stability analysis of wheat through genotype by environment interaction in three regions of Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. **SABRAO J. Breed. Genet**, v. 55, n. 1, p. 50-60, 2023.

KHARE, V., SHUKLA, R. S., PANDEY, S., SINGH, S. K., & SINGH, C. Exploring the genotype-environment interaction of bread wheat in ambient and high-temperature planting conditions: a rigorous investigation. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 2402, 2024.

KIM, Y.S.; FLORES, R.A. Determination of bran contamination in wheat flours using ash content, color and bran speck counts. **Cereal Chemistry**, v. 76, n. 6, p. 957-961, 1999.

KIHLBERG, I., JOHANSSON, L., KOHLER, A., RISVIK, E. Sensory qualities of whole wheat pan bread—influence of farming system, milling and baking technique. **Journal of Cereal Science**, v. 39, n. 1, p. 67-84, 2004.

KLIKOCKA, H., CYBULSKA, M., BARCZAK, B., NAROLSKI, B., SZOSTAK, B., KOBIAŁKA, A., NOWAK, A., WÓJCIK, E. The effect of sulphur and nitrogen fertilization on grain yield and technological quality of spring wheat. **Plant, Soil and Environment**, v. 62, n. 5, p. 230-236, 2016.

KRUPAL, S. M., RATHOD, S. T., & KAMBLE, B. Stability analysis for yield and quality traits in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Electronic Journal of Plant Breeding**, v. 9, n. 1, p. 160-168, 2018.

KOBUE-LEKALAKE, R. I., TAYLOR, J. R., DE KOCK, H. L. Effects of phenolics in sorghum grain on its bitterness, astringency and other sensory properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 87, n. 10, p. 1940-1948, 2007.

KOKSEL, H., CETINER, B., SHAMANIN, V. P., TEKIN-CAKMAK, Z. H., POTOTSKAYA, I. V., KAHRAMAN, K., MORGOUNOV, A. I. Quality, nutritional properties, and glycemic index of colored whole wheat breads. **Foods**, v. 12, n. 18, p. 3376, 2023.

KONDIĆ-ŠPIKA, A.; MLADENOV, N.; GRAHOVAC, N.; ZORIĆ, M.; MIKIĆ, S.; TRKULJA, D.; MARJANOVIĆ-JEROMELA, A.; MILADINOVIĆ, D.; HRISTOV, N. Biometric analyses of yield, oil and protein contents of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes in different environments. **Agronomy**, v. 9, n. 6, p. 270, 2019.

KOWALSKA, I., MOŁDOCH, J., PAWELEC, S., PODOLSKA, G., VON COSSEL, M., DERYCKE, V., HAESAERT, G., LANA, M. A., LOPES, M. S., RICHE, A. B., STÜTZEL, H., HACKETT, R., OLESZEK, W. Environmental and cultivar variability in composition, content and biological activity of phenolic acids and alkylresorcinols of winter wheat grains from a multi-site field trial across Europe. **Journal of Cereal Science**, v. 107, p. 103527, 2022.

KRSTANOVIĆ, V., HABSCHIED, K., KOŠIR, I. J., & MASTANJEVIĆ, K. The Influence of Texture Type and Grain Milling Degree on the Attenuation Limit, Protein Content, and Degradation in Wheat Wort. **Applied Sciences**, v. 13, n. 19, p. 10626, 2023.

KULATHUNGA, J., SIMSEK, S. Stone milling conditions and starter culture source influence phytic acid content and antioxidant activity in whole-grain sourdough bread. **Cereal Chemistry**, v. 101, n. 2, p. 313-322, 2024.

KUMAR, A., CHAND, P., THAPA, R. S., & SINGH, T. Assessment of stability performance and GXE interaction for yield and its attributing characters in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). **Electronic Journal of Plant Breeding**, v. 12, n. 1, p. 235-241, 2021.

LADDOMADA, B., CARETTO, S., MITA, G. Wheat bran phenolic acids: Bioavailability and stability in whole wheat-based foods. **Molecules**, v. 20, n. 9, p. 15666-15685, 2015.

LADDOMADA, B.; BLANCO, A.; MITA, G.; D'AMICO, L.; SINGH, R.P.; AMMAR, K.; CROSSA, J.; GUZMÁN, C. Drought and Heat Stress Impacts on Phenolic Acids Accumulation in Durum Wheat Cultivars. *Foods*, 10, 2142. 2021.

LAFIANDRA, D., SESTILI, F., SISSONS, M., KISZONAS, A., MORRIS, C. F. Increasing the versatility of durum wheat through modifications of protein and starch composition and grain hardness. **Foods**, v. 11, n. 11, p. 1532, 2022.

LANG, C.E.; WALKER, C.E. Hard white and red wheat comparison in hamburger buns. **Cereal Chem.**, 67,197–201.1990.

LENG, G., ADAN, R. A., BELOT, M., BRUNSTROM, J. M., DE GRAAF, K., DICKSON, S. L., HARE, T., MAIER, S., MENZIES, H., PREISSEL, H., REISH, L.A., ROGERS, P. J., SMEETS, P. A. The determinants of food choice. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 76, n. 3, p. 316-327, 2017.

LEGESSE, W; SHEWAYE, Y. Stability Analysis for Quality Traits in Durum Wheat (*Triticum durum* Desf) Varieties under East Shewa, Ethiopia. **Results of Crop Improvement and Management Research for**, 2022.

LEVÁKOVÁ, Ľ., LACKO-BARTOŠOVÁ, M. Phenolic acids and antioxidant activity of wheat species: a review. **Agriculture (Pol'nohospodárstvo)**, v. 63, n. 3, p. 92-101, 2017.

LI, J., HOU, G. G., CHEN, Z., CHUNG, A. L., GEHRING, K. Studying the effects of whole-wheat flour on the rheological properties and the quality attributes of whole-wheat saltine cracker using SRC, alveograph, rheometer, and NMR technique. **LWT-Food Science and Technology**, v. 55, n. 1, p. 43-50, 2014.

LI, Y., LI, M., WANG, L., & LI, Z. Effect of particle size on the release behavior and functional properties of wheat bran phenolic compounds during in vitro gastrointestinal digestion. **Food Chemistry**, v. 367, p. 130751, 2022.

LI, C., STUMP, M., WU, W., LI, Y. Exploring the chemical composition, antioxidant potential, and bread quality effects of the nutritional powerhouse: Wheat bran—A mini-review. **Journal of Agriculture and Food Research**, p. 100898, 2023a.

LI, C., CHEN, G., TILLEY, M., CHEN, Y., LI, Y. Comparing bread-making properties of white and whole wheat flours from 64 different genotypes: A correlation analysis. **Journal of Cereal Science**, v. 114, p. 103793, 2023b.

LI, W., LIU, X., MA, Y., HUANG, X., HAI, D., CHENG, Y., LI, N. Changes in physio-biochemical metabolism, phenolics and antioxidant capacity during germination of different wheat varieties. **Food Chemistry: X**, v. 22, p. 101429, 2024.

LIN, Y., CHEN, K., TU, D., YU, X., DAI, Z., SHEN, Q. Characterization of dietary fiber from wheat bran (*Triticum aestivum* L.) and its effect on the digestion of surimi protein. **LWT**, v. 102, p. 106-112, 2019.

LING, H. Q., ZHAO, S., LIU, D., WANG, J., SUN, H., ZHANG, C., GAO, C. Draft genome of the wheat A-genome progenitor *Triticum urartu*. **Nature**, v. 496, p. 87-90, 2013.

LIU, C., LIU, L., LI, L., HAO, C., ZHENG, X., BIAN, K., WANG, X. Effects of different milling processes on whole wheat flour quality and performance in steamed bread making. **LWT-Food Science and Technology**, v. 62, n. 1, p. 310-318, 2015.

LIU, L., SONG, H., SHI, K., LIU, B., ZHANG, Y., TANG, L., ZHU, Y. Response of wheat grain quality to low temperature during jointing and booting stages—On the importance of considering canopy temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 278, p. 107658, 2019.

LIU, J., YU, L. L., WU, Y. Bioactive components and health beneficial properties of whole wheat foods. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 68, n. 46, p. 12904-12915, 2020.

LIU, Y., WANG, S., KANG, J., WANG, N., XIAO, M., LI, Z., HU, X. Arabinoxylan from wheat bran: Molecular degradation and functional investigation. **Food Hydrocolloids**, v. 107, p. 105914, 2020.

LÓPEZ-PEREA, P., GUZMÁN-ORTIZ, F. A., ROMÁN-GUTIÉRREZ, A. D., CASTRO-ROSAS, J., GÓMEZ-ALDAPA, C. A., RODRÍGUEZ-MARÍN, M. L., TORRUCO-UCO, J. G. Bioactive compounds and antioxidant activity of wheat bran and barley husk in the extracts with different polarity. **International Journal of Food Properties**, v. 22, n. 1, p. 646-658, 2019.

LOVEGROVE, A., DUNN, J., PELLNY, T. K., HOOD, J., BURRIDGE, A. J., AMERICA, A. H., SHEWRY, P. R. Comparative compositions of grain of bread wheat, emmer and spelt grown with different levels of nitrogen fertilisation. **Foods**, v. 12, n. 4, p. 843, 2023.

LU, Y., MEMON, A., FUERST, P., KIZONAS, A., MORRIS, C., LUTHRIA, D. Changes in the phenolic acids composition during pancake preparation: Whole and refined grain flour and processed food classification by UV and NIR spectral fingerprinting method—Proof of concept. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 60, p. 10-16, 2017.

LU, Y., FUERST, E. P., LV, J., MORRIS, C. F., YU, L., FLETCHER, A., LUTHRIA, D. Phytochemical profile and antiproliferative activity of dough and bread fractions made from refined and whole wheat flours. **Cereal Chemistry**, v. 92, n. 3, p. 271-277, 2015.

LUO, C., BRANLARD, G., GRIFFIN, W. B., & MCNEIL, D. L. The effect of nitrogen and sulphur fertilisation and their interaction with genotype on wheat glutenins and quality parameters. **Journal of Cereal Science**, v. 31, n. 2, p. 185-194, 2000.

LUTHRIA, D. L., LU, Y., JOHN, K. M. Bioactive phytochemicals in wheat: Extraction, analysis, processing, and functional properties. **Journal of functional foods**, v. 18, p. 910-925, 2015.

MA, D., LI, Y., ZHANG, J., WANG, C., QIN, H., DING, H., XIE, Y., GUO, T. Accumulation of phenolic compounds and expression profiles of phenolic acid biosynthesis-related genes in developing grains of white, purple, and red wheat. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 528, 2016.

MA, F., LEE, Y. Y., BAIK, B. K. Bran characteristics influencing quality attributes of whole wheat Chinese steamed bread. **Journal of Cereal Science**, v. 79, p. 431-439, 2018.

MA, D., WANG, C., FENG, J., XU, B. Wheat grain phenolics: a review on composition, bioactivity, and influencing factors. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, n. 15, p. 6167-6185, 2021.

MAHMOOD, T., HAMEED, T., SIDDIQUI, N. R., MUMTAZ, A., SAFDAR, N., & MASUD, T. Effect of environmental changes on phytic acid content of wheat (*Triticum aestivum*). **Pak. J. Nutr**, v. 9, n. 5, p. 447-451, 2010.

MAKAWI, A. B., MAHMOOD, M. I., HASSAN, H. A. R., & AHMED, I. M. Grains quality characteristics of local wheat (*Triticum aestivum*) cultivars grown at Khartoum state, Sudan. 2013.

MALIK, AH, KUKTAITE, R., & JOHANSSON, E. Efeito combinado de fatores genéticos e ambientais no acúmulo de proteínas no grão de trigo e sua relação com a qualidade da panificação. **Journal of Cereal Science**, v. 57, n. 2, p. 170-174, 2013.

MARTÍNEZ-PEÑA, R., REZZOUK, F. Z., DEL CARMEN DÍEZ-FRAILE, M., NIETO-TALADRIZ, M. T., ARAUS, J. L., APARICIO, N., VICENTE, R. Genotype-by-environment interaction for grain yield and quality traits in durum wheat: Identification of ideotypes adapted to the Spanish region of Castile and León. **European Journal of Agronomy**, v. 151, p. 126951, 2023.

MARTINI, D., TADDEI, F., NICOLETTI, I., CICCORITTI, R., CORRADINI, D., D'EGIDIO, M. G. Effects of genotype and environment on phenolic acids content and total antioxidant capacity in durum wheat. **Cereal Chemistry**, v. 91, n. 4, p. 310-317, 2014.

MARTINI, D., TADDEI, F., CICCORITTI, R., PASQUINI, M., NICOLETTI, I., CORRADINI, D., D'EGIDIO, M. G. Variation of total antioxidant activity and of phenolic acid, total phenolics and yellow-coloured pigments in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) as a function of genotype, crop year and growing area. **Journal of Cereal Science**, v. 65, p. 175-185, 2015.

- MARECEK, J., FRANČÁKOVÁ, H., LÍSKOVÁ, M., MENDELOVÁ, A., IVANISOVÁ, E., MOCKO, K. Evaluation of technological and antioxidant properties of *Triticum aestivum* L. and *Triticum durum* L. varieties. **The Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences**, v. 3, p. 253, 2014.
- MARZOCCHI, S., CABONI, M. F., GRECO MIANI, M., PASINI, F. Wheat germ and lipid oxidation: An open issue. **Foods**, v. 11, n. 7, p. 1032, 2022.
- MASTANJEVIĆ, K., HABSCHIED, K., DVOJKOVIĆ, K., KARAKAŠIĆ, M., & GLAVAŠ, H. Vitreosity as a major grain quality indicator—Upgrading the grain-cutter method with a new blade. **Applied Sciences**, v. 13, n. 4, p. 2655, 2023.
- MELIS, SARA; MORALES, WALTER R. MEZA; DELCOUR, JAN A. Lipases in wheat flour bread making: Importance of an appropriate balance between wheat endogenous lipids and their enzymatically released hydrolysis products. **Food chemistry**, v. 298, p. 125002, 2019.
- MELIOS, S., NINO, E., IRAKLI, M., TSIVELIKA, N., SISTANIS, I., APATHANASIOU, F., MYLONAS, I. Effect of Genotype, Environment, and Their Interaction on the Antioxidant Properties of Durum Wheat: Impact of Nitrogen Fertilization and Sowing Time. **Agriculture**, v. 14, n. 2, p. 328, 2024.
- MPOFU, A., SAPIRSTEIN, H. D., BETA, T. Genotype and environmental variation in phenolic content, phenolic acid composition, and antioxidant activity of hard spring wheat. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 4, p. 1265-1270, 2006.
- MULLUALEM, D., TSEGA, A., MENGIE, T., FENTIE, D., KASSA, Z., FASSIL, A., ASTATKIE, T. Genotype-by-environment interaction and stability analysis of grain yield of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes using AMMI and GGE biplot analyses. **Heliyon**, v. 10, n. 12, 2024.
- NAUMENKO, N., POTOROKO, I., KALININA, I., FATKULLIN, R., IVANISOVA, E. The influence of the use of whole grain flour from sprouted wheat grain on the rheological and microstructural properties of dough and bread. **International Journal of Food Science**, v. 2021, n. 1, p. 7548759, 2021.
- NAVROTSKYI, S., GUO, G., BAENZIGER, P. S., XU, L., ROSE, D. J. Impact of wheat bran physical properties and chemical composition on whole grain flour mixing and baking properties. **Journal of Cereal Science**, v. 89, p. 102790, 2019.
- OLIVEIRA NETO, A. D., SANTOS, C. M. R. Produção e abastecimento de trigo no Brasil. In: OLIVEIRA NETO, A. D., SANTOS, C. M. R. **A cultura do trigo**. Brasília-DF: CONAB, 2017.
- ONWULIRI, V. A.; OBU, J. A. Lipids and other constituents of *Vigna unguiculata* and *Phaseolus vulgaris* grown in northern Nigeria. **Food chemistry**, v. 78, n. 1, p. 1-7, 2002.
- OOMAH, B. D., BLANCHARD, C., & BALASUBRAMANIAN, P. Phytic acid, phytase, minerals, and antioxidant activity in Canadian dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 56, n. 23, p. 11312-11319, 2008.

OOMS, N., DELCOUR, J. A. How to impact gluten protein network formation during wheat flour dough making. **Current opinion in food science**, v. 25, p. 88-97, 2019.

ÖZTÜRK, İrfan. Genotype and Environment Effect on Yield and Quality Parameters and Stability in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars under Rainfed Conditions. **Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi**, v. 21, n. 2, p. 324-334, 2024.

ÖZKAYA, B., TURKSOY, S., ÖZKAYA, H., BAUMGARTNER, B., ÖZKESER, İ., & KÖKSEL, H. Changes in the functional constituents and phytic acid contents of firiks produced from wheats at different maturation stages. **Food chemistry**, v. 246, p. 150-155, 2018.

PALZER, S. Food structures for nutrition, health and wellness. **Trends in Food Science & Technology**, v. 20, n. 5, p. 194-200, 2009

PANDINO, G., MATTIOLO, E., LOMBARDO, S., LOMBARDO, G. M., & MAUROMICALE, G. Organic cropping system affects grain chemical composition, rheological and agronomic performance of durum wheat. **Agriculture**, v. 10, n. 2, p. 46, 2020.

PARENTI, O., GUERRINI, L., ZANONI, B. Techniques and technologies for the breadmaking process with unrefined wheat flours. **Trends in Food Science & Technology**, v. 99, p. 152-166, 2020.

PASHA, I., ANJUM, F. M., & MORRIS, C. F. Grain hardness: a major determinant of wheat quality. **Food Science and Technology International**, v. 16, n. 6, p. 511-522, 2010.

PAZNOCHT, L., KOTÍKOVÁ, Z., BUREŠOVÁ, B., LACHMAN, J., MARTINEK, P. Phenolic acids in kernels of different coloured-grain wheat genotypes. **Plant, Soil & Environment**, v. 66, n. 2, 2020.

PERŠIĆ, V., BOŽINOVIĆ, I., VARNICA, I., BABIĆ, J., & ŠPANIĆ, V. Impact of fusarium head blight on wheat flour quality: Examination of protease activity, technological quality and rheological properties. **Agronomy**, v. 13, n. 3, p. 662, 2023.

PERVEEN, S., AKHTAR, S., ISMAIL, T., QAMAR, M., SAEED, W., YOUNIS, M., ESATBEYOGLU, T. Comparison of nutritional, antioxidant, physicochemical, and rheological characteristics of whole and sprouted wheat flour. **LWT**, v. 209, p. 116679, 2024.

PERTEN, Harald. Application of the falling number method for evaluating alpha-amylase activity. **Cereal chem**, v. 41, n. 3, p. 127-140, 1964.

PIETIÄINEN, S., MOLDIN, A., STRÖM, A., MALMBERG, C., LANGTON, M. Effect of physicochemical properties, pre-processing, and extraction on the functionality of wheat bran arabinoxylans in breadmaking—A review. **Food Chemistry**, p. 132584, 2022.

PIKE, P. R., MACRITCHIE, F. Protein composition and quality of some new hard white winter wheats. **Crop science**, v. 44, n. 1, p. 173-176, 2004.

PRADO, M., FAMOSO, A., GUIDRY, K., & FRITSCHÉ-NETO, R. Optimizing multi-environment trials in the US Rice belt via smart-climate-soil prediction based-models and economic importance. **bioRxiv**, p. 2024.07. 02.601777, 2024.

POUDEL, R., ROSE, D. J. Changes in enzymatic activities and functionality of whole wheat flour due to steaming of wheat kernels. **Food Chemistry**, v. 263, p. 315-320, 2018.

PROTONOTARIOU, S., STERGIOU, P., CHRISTAKI, M., MANDALA, I. G. Physical properties and sensory evaluation of bread containing micronized whole wheat flour. **Food Chemistry**, v. 318, p. 126497, 2020.

PU, Z., LIU, Q., LI, Z., CHEN, S., LIU, Y., QI, P., ZHENG, Y. Planting locations with higher temperature produce more bioactive compounds and antioxidant capacities of wheat. **Agronomy**, v. 9, n. 9, p. 538, 2019.

PUNIA, S., SANDHU, K. S., & SIROHA, A. K. Difference in protein content of wheat (*Triticum aestivum* L.): Effect on functional, pasting, color and antioxidant properties. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 18, n. 4, p. 378-384, 2019.

QUINTERO, A., MOLERO, G., REYNOLDS, M. P., CALDERINI, D. F. Trade-off between grain weight and grain number in wheat depends on GxE interaction: A case study of an elite CIMMYT panel (CIMCOG). **European journal of agronomy**, v. 92, p. 17-29, 2018.

RAKITA, S., TORBICA, A., PEZO, L., & NIKOLIĆ, I. Effect of climatic conditions on wheat starch granule size distribution, gelatinization and flour pasting properties. **Agronomy**, v. 13, n. 6, p. 1551, 2023.

ROOZEBOOM, K. L., SCHAPAUGH, W. T., TUINSTRA, M. R., VANDERLIP, R. L., & MILLIKEN, G. A. Testing wheat in variable environments: genotype, environment, interaction effects, and grouping test locations. **Crop Science**, v. 48, n. 1, p. 317-330, 2008.

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 & Technology**, v. 41, n. 2, p. 118-134, 2015.

ROSA, N. N., DUFOUR, C., LULLIEN-PELLERIN, V., MICARD, V. Exposure or release of ferulic acid from wheat aleurone: Impact on its antioxidant capacity. **Food Chemistry**, 141, 2355e2362. 2013

RUPPRECHT, C. D., FUJIYOSHI, L., MCGREEVY, S. R., TAYASU, I. Trust me? Consumer trust in expert information on food product labels. **Food and Chemical Toxicology**, v. 137, p. 111170, 2020.

SAHU, R., MANDAL, S., DAS, P., ASHRAF, G. J., DUA, T. K., PAUL, P., KHANRA, R. The bioavailability, health advantages, extraction method, and distribution of free and bound phenolics of rice, wheat, and maize: A review. **Food Chemistry Advances**, p. 100484, 2023.

SANDVIK, P., KIHLEBERG, I., LINDROOS, A. K., MARKLINDER, I., NYDAHL, M. Bread consumption patterns in a Swedish national dietary survey focusing particularly on whole-grain and rye bread. **Food & nutrition research**, v. 58, n. 1, p. 24024, 2014.

SANTOS, M. C. B., DA SILVA LIMA, L. R., NASCIMENTO, F. R., DO NASCIMENTO, T. P., CAMERON, L. C., FERREIRA, M. S. L. Metabolomic approach for characterization of phenolic compounds in different wheat genotypes during grain development. **Food research international**, v. 124, p. 118-128, 2019.

SANTOS, M. C. B., DA SILVA LIMA, L. R., DOS SANTOS D'ALMEIDA, C. T., VICTORIO, V. C. M., CAMERON, L. C., BOURLIEU-LACANAL, C., FERREIRA, M. S. L. Foodomics in wheat flour reveals phenolic profile of different genotypes and technological qualities. **LWT**, v. 153, p. 112519, 2022.

SAJDAKOWSKA, M., GĘBSKI, J., ŻAKOWSKA-BIEMANS, S., & JEŻEWSKA-ZYCHOWICZ, M. Willingness to eat bread with health benefits: habits, taste and health in bread choice. **Public health**, v. 167, p. 78-87, 2019.

SALEEM, N., AHMAD, M., WANI, S. A., VASHNAVI, R., & DAR, Z. A. Genotype-environment interaction and stability analysis in Wheat (*Triticum aestivum* L.) for protein and gluten contents. **Scientific Research and Essays**, v. 10, n. 7, p. 260-265, 2015.

SAPIRSTEIN, H., WU, Y., KOKSEL, F., & GRAF, R. A study of factors influencing the water absorption capacity of Canadian hard red winter wheat flour. **Journal of Cereal Science**, v. 81, p. 52-59, 2018.

SAULNIER, L., SADO, P. E., BRANLARD, G., CHARMET, G., GUILLON, F. Wheat arabinoxylans: exploiting variation in amount and composition to develop enhanced varieties. **Journal of Cereal Science**, v. 46, n. 3, p. 261-281, 2007.

SAKA, I., TOPCAM, H., SON, E., OZKAYA, B., & ERDOGDU, F. Effect of radio frequency processing on physical, chemical, rheological and bread-baking properties of white and whole wheat flour. **Lwt**, v. 147, p. 111563, 2021

SHAMLOO, M., BABAWALE, E. A., FURTADO, A., HENRY, R. J., ECK, P. K., JONES, P. J. Effects of genotype and temperature on accumulation of plant secondary metabolites in Canadian and Australian wheat grown under controlled environments. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 9133, 2017.

SHANG, J., LI, L., LIU, C., HONG, J., LIU, M., ZHAO, B., & ZHENG, X. Relationships of flour characteristics with isolated starch properties in different Chinese wheat varieties. **Journal of Cereal Science**, v. 99, p. 103210, 2021.

SHARMA, S., KAPOOR, P., KAUR, S., KUMARI, A., SHARMA, N., KUMAR, A., GARG, M. Changing nutrition scenario: Colored wheat—a new perspective. **Physiological, molecular, and genetic perspectives of wheat improvement**, p. 71-88, 2021.

SHARMA, S., KATYAL, M., SINGH, N., SINGH, A. M., AHLAWAT, A. K. Comparison of effect of using hard and soft wheat on the high molecular weight-glutenin subunits profile and

the quality of produced cookie. **Journal of Food Science and Technology**, v. 59, n. 7, p. 2545-2561, 2022.

SHEWRY, P.R. Wheat. **Journal of experimental botany**, v. 60, n. 6, p. 1537-1553, 2009.

SHEWRY, P. R., MITCHELL, R. A., TOSI, P., WAN, Y., UNDERWOOD, C., LOVEGROVE, A., WARD, J. L. An integrated study of grain development of wheat (cv. Hereward). **Journal of Cereal Science**, v. 56, n. 1, p. 21-30, 2012.

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., WAN, Y., HAWKESFORD, M. J., & TOSI, P. SHEWRY, P. R., WAN, Y., HAWKESFORD, M. J., TOSI, P. Spatial distribution of functional components in the starchy endosperm of wheat grains. **Journal of cereal science**, v. 91, p. 102869, 2020.

SHEWRY, P. R., BROUNS, F., DUNN, J., HOOD, J., BURRIDGE, A. J., AMERICA, A. H., LOVEGROVE, A. Comparative compositions of grain of tritordeum, durum wheat and bread wheat grown in multi-environment trials. **Food Chemistry**, v. 423, p. 136312, 2023.

SHITRE, A. S., GADEKAR, D. A., VIKAS, V. R., BAKSHI, S., KUMAR, V., VISHWAKARMA, G., DAS, B. K. Genotypic variation for phytic acid, inorganic phosphate and mineral contents in advanced breeding lines of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Electronic Journal of Plant Breeding**, v. 6, n. 2, p. 395-402, 2015.

SIM, E., PARK, E., MA, F., BAIK, B. K., FONSECA, J. M., & DELWICHE, S. R. Sensory and physicochemical properties of whole wheat salted noodles under different preparations of bran. **Journal of Cereal Science**, v. 96, p. 103112, 2020.

SIMMONDS, D. H.; BARLOW, K. K.; WRIGLEY, C. W. The biochemical basis of grain hardness in wheat. 1973.

SIMMONDS, David H. **Wheat and wheat quality in Australia**. Csiro Publishing, 1989.

SINGH, C., SRIVASTAVA, P., SHARMA, A., KUMAR, P., CHHUNEJA, P., SOHU, V. S., BAINS, N. S. Stability analysis for grain yield and some quality traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 10, n. 1, p. 466-474, 2018.

SINGLETON, V. L., ORTHOFER, R., LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In: **Methods in enzymology**. Academic press, p. 152-178. 1999.

SLAVIN, J. L. Mechanisms for the impact of whole grain foods on cancer risk. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 19, n. sup3, p. 300S-307S, 2000.

SUI, W., XIE, X., LIU, R., WU, T., & ZHANG, M. Effect of wheat bran modification by steam explosion on structural characteristics and rheological properties of wheat flour dough. **Food Hydrocolloids**, v. 84, p. 571-580, 2018

- SUN, X., WU, S., KOKSEL, F., XIE, M., & FANG, Y. Effects of ingredient and processing conditions on the rheological properties of whole wheat flour dough during breadmaking-A review. **Food Hydrocolloids**, v. 135, p. 108123, 2023.
- SUN, X., BU, Z., QIAO, B., DRAWBRIDGE, P., & FANG, Y. The effects of wheat cultivar, flour particle size and bran content on the rheology and microstructure of dough and the texture of whole wheat breads and noodles. **Food Chemistry**, v. 410, p. 135447, 2023b
- SOARES, S., KOHL, S., THALMANN, S., MATEUS, N., MEYERHOF, W., DE FREITAS, V. Different phenolic compounds activate distinct human bitter taste receptors. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 61, n. 7, p. 1525-1533, 2013.
- SOBOLEWSKA, M., WENDA-PIESIK, A., JAROSZEWSKA, A., & STANKOWSKI, S. Effect of habitat and foliar fertilization with K, Zn and Mn on winter wheat grain and baking qualities. **Agronomy**, v. 10, n. 2, p. 276, 2020.
- SHUNBURA, A. K., RORISA, S. A., GEDEFA, K. K. Genotype by environment interaction and stability study in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes in Guji Zone, Southern Ethiopia. **GSC Advanced Research and Reviews**, v. 19, n. 2, p. 085-092, 2024.
- STELLA, T., WEBBER, H., EYSHI REZAEI, E., ASSENG, S., MARTRE, P., DUERI, S., EWERT, F. Wheat crop traits conferring high yield potential may also improve yield stability under climate change. **in silico Plants**, v. 5, n. 2, p.013, 2023.
- STUPER-SZABLEWSKA, K., KURASIAK-POPOWSKA, D., NAWRACAŁA, J., & PERKOWSKI, J. Quantitative profile of phenolic acids and antioxidant activity of wheat grain exposed to stress. **European Food Research and Technology**, v. 245, p. 1595-1603, 2019.
- TAGHOUTI, M., GABOUN, F., NSARELLAH, N., RHRIB, R., EL-HAILA, M., KAMAR, M., UDUPA, S. M. Genotype x Environment interaction for quality traits in durum wheat cultivars adapted to different environments. **African Journal of Biotechnology**, v. 9, n. 21, p. 3054-3062, 2010.
- TERESSA, T., SEMAHEGN, Z., BEJIGA, T. Multi Environments and Genetic-Environmental Interaction (GxE) in Plant Breeding and its Challenges: a review article. **Int. J. Res. Stud. Agril. Sci**, v. 7, n. 4, p. 11-18, 2021.
- TIAN, W., LI, Y. Phenolic acid composition and antioxidant activity of hard red winter wheat varieties. **Journal of Food Biochemistry**, v. 42, n. 6, p. e12682, 2018.
- TIAN, W., CHEN, G., TILLEY, M., LI, Y. Changes in phenolic profiles and antioxidant activities during the whole wheat bread-making process. **Food Chemistry**, v. 345, p. 128851, 2021a.
- TIAN, W., CHEN, G., ZHANG, G., WANG, D., TILLEY, M., & LI, Y. Rapid determination of total phenolic content of whole wheat flour using near-infrared spectroscopy and chemometrics. **Food Chemistry**, v. 344, p. 128633, 2021b.

TIAN, W., WANG, F., XU, K., ZHANG, Z., YAN, J., YAN, J., TIAN, Y., LIU, J., ZHANG, Y., ZHANG, Y., HE, Z. Accumulation of wheat phenolic acids under different nitrogen rates and growing environments. **Plants**, v. 11, n. 17, p. 2237, 2022a.

TIAN, W., JAENISCH, B., GUI, Y., HU, R., CHEN, G., LOLLATO, R. P., & LI, Y. Effect of environment and field management strategies on phenolic acid profiles of hard red winter wheat genotypes. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 102, n. 6, p. 2424-2431, 2022b

TIAN, W., ZHENG, Y., WANG, W., WANG, D., TILLEY, M., ZHANG, G., HE, Z., LI, Y. A comprehensive review of wheat phytochemicals: From farm to fork and beyond. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 21, n. 3, p. 2274-2308, 2022 c.

TOMIĆ, J. M., TORBICA, A. M., POPOVIĆ, L. M., & RAKITA, S. M. Breadmaking potential and proteolytic activity of wheat varieties from two production years with different climate conditions. **Food & Feed Research**, v. 42, n. 2, 2015.

TREVISAN, S., SALIMI KHORSHIDI, A., SOPIWNYK, E., XIE, Y., ZHOU, Z., HOUSE, J. D., & SCANLON, M. G. Asparagine and dough quality: Gluten strength relationships in hard red spring wheat. **Cereal Chemistry**, v. 100, n. 1, p. 225-235, 2023.

TRIBOŇ, E., MARTRE, P., & TRIBOŇ-BLONDEL, A. M. Environmentally-induced changes in protein composition in developing grains of wheat are related to changes in total protein content. **Journal of experimental botany**, v. 54, n. 388, p. 1731-1742, 2003.

VAHER, M., MATSO, K., LEVANDI, T., HELMJA, K., & KALJURAND, M. Phenolic compounds and the antioxidant activity of the bran, flour and whole grain of different wheat varieties. **Procedia Chemistry**, v. 2, n. 1, p. 76-82, 2010.

VALDÉS VALDÉS, C., ESTRADA-CAPUZANO, G., DOMINGUEZ-LOPEZ, A., MARTINEZ RUEDA, C. G. **Cambios en la calidad harinera y panadera del trigo en respuesta a la fertilización nitrogenada**. 2013. Dissertação de Mestrado. Universidad Autónoma del Estado de México. 2013.

VALDÉS VALDÉS, C., ESTRADA-CAMPUZANO, G., MARTINEZ RUEDA, C. G., DOMÍNGUEZ LÓPEZ, A., SOLIS-MOYA, E., VILLANUEVA CARVAJAL, A. Grain and Flour Wheat Quality Modified by Genotype, Availability of Nitrogen, and Growing Season. **International Journal of Agronomy**, v. 2020, 2020.

VECCHIO, R., CAVALLO, C. Increasing healthy food choices through nudges: A systematic review. **Food Quality and Preference**, v. 78, p. 103714, 2019.

VIGNOLI, J. A.; VIEGAS, M. C.; BASSOLI, D. G.; BENASSI, M. T. Roasting process affects differently the bioactive compounds and the antioxidant activity of arabica and robusta coffees. **Food Research International**, n. 61, p. 279-285, 2014.

VIGNOLA, M. B.; BUSTOS, M. C.; PÉREZ, G. T. Comparison of quality attributes of refined and whole wheat extruded pasta. **LWT - Food Science and Technology**, v. 89, p. 329-335, 2018.

WANG, K. Q., LUO, S. Z., ZHONG, X. Y., CAI, J., JIANG, S. T., & ZHENG, Z. Changes in chemical interactions and protein conformation during heat-induced wheat gluten gel formation. **Food Chemistry**, v. 214, p. 393-399, 2017.

WANG, Q., LI, L., ZHENG, X. A review of milling damaged starch: Generation, measurement, functionality and its effect on starch-based food systems. **Food chemistry**, v. 315, p. 126267, 2020.

WEI, C. Y., ZHU, D., & NYSTRÖM. Improving wholegrain product quality by selecting lipid-stable wheat varieties. **Food Chemistry**, v. 345, p. 128683, 2021.

WIJK, R. A., SMEETS, P. A., POLET, I. A., HOLTHUYSEN, N. T., ZOON, J., VINGERHOEDS, M. H. Aroma effects on food choice task behavior and brain responses to bakery food product cues. **Food Quality and Preference**, v. 68, p. 304-314, 2018.

WYSOCKA, K., CACAK-PIETRZAK, G., FELEDYN-SZEWCZYK, B., & STUDNICKI, M. The Baking Quality of Wheat Flour (*Triticum aestivum* L.) Obtained from Wheat Grains Cultivated in Various Farming Systems (Organic vs. Integrated vs. Conventional). **Applied Sciences**, v. 14, n. 5, p. 1886, 2024.

XIONG, L., ZHANG, B., NIU, M., & ZHAO, S. Protein polymerization and water mobility in whole-wheat dough influenced by bran particle size distribution. **Food Science and Technology**, v. 82, n. 1, p. 396-403, 2017.

XU, W., XU, X., HAN, R., WANG, X., WANG, K., QI, G., LIU, C. Integrated transcriptome and metabolome analysis reveals that flavonoids function in wheat resistance to powdery mildew. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1125194, 2023.

XU, B.J., CHANG, S.K.C. Total phenolic, phenolic acid, anthocyanin, flavan-3-ol, and flavonol profiles and antioxidant properties of pinto and black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by thermal processing. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 5711, 4754-4764. 2009.

YADAV, M. P., KAUR, A., SINGH, B., SIMON, S., KAUR, N., POWELL, M., & SARKER, M. Extraction and characterization of lipids and phenolic compounds from the brans of different wheat varieties. **Food Hydrocolloids**, v. 117, p. 106734, 2021

YU, L., NANGUET, A. L., BETA, T. Comparison of antioxidant properties of refined and whole wheat flour and bread. **Antioxidants**, v. 2, n. 4, p. 370-383, 2013.

ZAHRA, N., HAFEEZ, M. B., WAHID, A., AL MASRURI, M. H., ULLAH, A., SIDDIQUE, K. H., & FAROOQ, M. Impact of climate change on wheat grain composition and quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 103, n. 6, p. 2745-2751, 2023.

ZEIBIG, F., KILIAN, B., ÖZKAN, H., PANTHA, S., & FREI, M. Grain quality traits within the wheat (*Triticum* spp.) genepool: prospects for improved nutrition through de novo domestication. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 104, n. 7, p. 4400-4410, 2024.

ZENG, F., WENG, Y., YANG, Y., LIU, Q., YANG, J., JIAO, A., & JIN, Z. Effects of wheat gluten addition on dough structure, bread quality and starch digestibility of whole wheat bread. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 58, n. 7, p. 3522-3537, 2023.

ZHANG, T., KIM, H., & KWEON, M. Impact of kernel hardness and amylose content on quality characteristics of purple-colored whole wheat flour. **Cereal Chemistry**, v. 101, n. 5, p. 1084-1093, 2024.

ZHAO, K., TAO, Y., LIU, M., YANG, D., ZHU, M., DING, J., LI, C. Does temporary heat stress or low temperature stress similarly affect yield, starch, and protein of winter wheat grain during grain filling?. **Journal of Cereal Science**, v. 103, p. 103408, 2022.

ZHOU, D. D., LI, J., XIONG, R. G., SAIMAITI, A., HUANG, S. Y., WU, S. X., ... & LI, H. B. Bioactive compounds, health benefits and food applications of grape. **Foods**, v. 11, n. 18, p. 2755, 2022.

ZHOU, Y., DHITAL, S., ZHAO, C., YE, F., CHEN, J., & ZHAO, G. Dietary fiber-gluten protein interaction in wheat flour dough: Analysis, consequences and proposed mechanisms. **Food Hydrocolloids**, v. 111, p. 106203, 2021.

ZHYGUNOV, D., SOTS, S., BARKOVSKA, Y., LIU, J., WANG, F., LIU, X., LI, X. Influence of grain quality indicators on the flour quality indicators at the laboratory milling. **Grain Products and Mixed Fodder's**, v. 22, n. 1, 2022.

ZINGALE, S., SPINA, A., INGRAO, C., FALLICO, B., TIMPANARO, G., ANASTASI, U., & GUARNACCIA, P. Factors affecting the nutritional, health, and technological quality of durum wheat for pasta-making: A systematic literature review. **Plants**, v. 12, n. 3, p. 530, 2023.

ZRCKOVÁ M., CAPOUCHOVÁ I., PAZNOCHT L., ELIÁŠOVÁ M., DVOŘÁK P., KONVALINA P., JANOVSÁ D., ORSÁK M., BEČKOVÁ L. Variation of the total content of polyphenols and phenolic acids in einkorn, emmer, spelt and common wheat grain as a function of genotype, wheat species and crop year. **Plant, Soil & Environment**, v. 65, n. 5, 2019.