



ANA CAROLINE DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE TECNOLÓGICA E
INDUSTRIAL DE CULTIVARES COMERCIAIS DE TRIGO
NA REGIÃO SUL DE MINAS GERAIS**

**LAVRAS-MG
2023**

ANA CAROLINE DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE TECNOLÓGICA E INDUSTRIAL DE
CULTIVARES COMERCIAIS DE TRIGO NA REGIÃO SUL DE MINAS GERAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos para obtenção do título de Doutora.

Profa. Dra. Joelma Pereira
Orientadora

**LAVRAS-MG
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Da Silva, Ana Caroline.

Avaliação da qualidade tecnológica e industrial de cultivares
comerciais de trigo na região sul de Minas gerais / Ana Caroline Da
Silva. - 2023.

101 p.

Orientador(a): Joelma Pereira.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2023.
Bibliografia.

1. Cultivares de trigo. 2. Qualidade tecnológica. 3. Panificação.
I. Pereira, Joelma. II. Título.

ANA CAROLINE DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE TECNOLÓGICA E INDUSTRIAL DE
CULTIVARES COMERCIAIS DE TRIGO NA REGIÃO SUL DE MINAS GERAIS**

**EVALUATION OF THE TECHNOLOGICAL AND INDUSTRIAL QUALITY OF
COMMERCIAL WHEAT CULTIVARS IN THE SOUTH REGION OF MINAS
GERAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos para obtenção do título de Doutora.

APROVADA em 29 de setembro de 2023

Dra. Joelma Pereira	UFLA
Dr. Rafael Audino Zambelli	UFC
Dr. Luan Alberto Andrade	UFLA
Dr. Raul Antônio Viana Madeira	UFLA
Dra. Aurinelza Batista Teixeira Condé	EPAMIG

Profa. Dra. Joelma Pereira
Orientadora

**LAVRAS-MG
2023**

Dedico este trabalho

Ao meu avô que me ensinou a amar os livros, a minha avó que me ensinou a amar as pessoas e ao meu marido que me ama e me apoia incondicionalmente.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por toda força, coragem e sabedoria durante toda a minha jornada.

Aos professores e funcionários do Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras, por todo suporte fornecido e por todo o conhecimento repassado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À Capes pelo apoio financeiro concedido durante a realização do Doutorado.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig), pela parceria na condução do meu experimento de tese.

À minha orientadora Joelma Pereira, pela amizade, orientação, apoio, paciência, dedicação e confiança durante esses anos.

À Carolina Bernardi, Aurinelza Batista e Fábio Aurélio pela parceria na condução do meu experimento de tese.

À empresa JMacedo S/A, pela parceria na condução do meu experimento de tese, bem como, por me dar a possibilidade de aplicar meus conhecimentos adquiridos na vida acadêmica.

Aos funcionários Everton Marcos, Milena Mendes, José Antônio e Adilson Aguiar, por toda ajuda e suporte durante a condução do meu experimento de tese.

À empresa Ultra Pão Alimentos, por todo o suporte e apoio durante a reta final do Doutorado.

Aos meus amigos e colegas de trabalho, especialmente meu time de qualidade e P&D por todo apoio, carinho e encorajamento.

Aos meus avós, Maria Filomena e Sebastião Marcolino, pelo amor incondicional, pelos princípios e valores que me passaram e pelo apoio enquanto ainda estavam presentes.

Ao meu marido Patricio Flores Difilipo e meus sogros Graciela Difilipo e Daniel Flores, pelo amor, apoio, cuidado e encorajamento durante essa jornada, sem o qual não teria conseguido chegar até aqui.

À minha mãe de coração Antônia Lúcia e aos meus irmãos adotivos Jordane Mesquita, Joana Mesquita, Auricelio Mesquita, Maiara Mesquita e Preta Mesquita por me acolherem de braços abertos em sua família e por todo o suporte emocional e financeiro nos momentos em que mais precisei.

As minhas amigas de infância Alana Alves e Erika Dayana pela amizade, amor e apoio, pois mesmo longe estão sempre me dando força.

À minha amiga da graduação Cleudilene Gomes, por ter me acolhido na sua casa e por toda a amizade, carinho, companheirismo e apoio que me deu quando mais precisei.

Ao Eduardo Ângelo, a Maria Lúcia e a toda família Sousa por todo o carinho e apoio que me deram para cursar o Mestrado.

As minhas amigas Carlota Souza, Tayla Maria, Júlia Medeiros, Thallyne Alves e Fernanda Batista, por todo o apoio financeiro e emocional em todos os momentos que precisei.

Aos meus colegas e amigos de Lago Verde, Lago Açú, Bacabal, Fortaleza, Lavras, Varginha e Pouso Alegre por todo amor, amizade, carinho, encorajamento, compreensão e apoio durante esse período.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Grãos, Raízes e Tubérculos da Universidade Federal de Lavras, por toda ajuda e amizade durante os dias desgastantes de experimento.

Aos meus colegas, professores e funcionários do Instituto Federal Educação Ciência e Tecnologia do Maranhão e da Universidade Federal do Ceará por todo apoio, pela amizade e carinho, e por sua valiosa contribuição na minha vida acadêmica.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem, foram conquistadas do que parecia impossível”. (Charles Chaplin)

RESUMO

O trigo está entre os cereais mais consumidos em todo o mundo, portanto desempenha um grande papel nutricional na alimentação humana. Sua principal forma de utilização é por meio da farinha obtida através do processo de moagem dos seus grãos. Dessa forma, estudos que viabilizem o uso de farinhas com qualidade para panificação são de extrema importância para direcionar a indústria sem produções que reflitam em produtos de maior qualidade. O objetivo do presente trabalho foi estudar a qualidade tecnológica e industrial de oito cultivares de trigo plantados em duas cidades do sul de Minas Gerais. Foram avaliadas as seguintes cultivares comerciais de trigo: TBIO SINTONIA, TBIO DUQUE, TBIO ATON, ORS 1403, ORS DESTAK, BRS 394, BRS 404 e BRS 264, plantados nas cidades de Boa Esperança – MG e Cambuquira – MG. Inicialmente, os grãos de trigo foram avaliados quanto aos seus aspectos físico-químicos. Em seguida, foi realizada a moagem dos grãos e extração da farinha, as quais foram avaliadas com base nas características físico-químicas e reológicas, com posterior aplicação na formulação de pães franceses. Os resultados de caracterização dos grãos de trigo indicaram que as cultivares avaliadas apresentaram boas características físico-químicas, especialmente no que diz respeito ao índice de dureza e ao conteúdo proteico dos grãos. A farinha de trigo extraída apresentou qualidade excelente, principalmente no que concerne ao seu conteúdo de glúten e nas características reológicas, se destacando como uma farinha forte, além de apresentar alta claridade, cuja busca na indústria moageira é constante, porém seu percentual de extração foi baixo. A elaboração de pão francês e sua avaliação confirmaram os resultados relatados acima, visto que a maioria dos produtos obtidos apresentaram bom volume e boa aceitabilidade de suas características sensoriais. Os resultados evidenciaram a influência dos diferentes locais de cultivo, porém, houve poucas diferenças significativas entre as cultivares nos parâmetros avaliados, não sendo possível determinar qualidade inferior em nenhuma delas. Conclui-se que as oito cultivares estudadas apresentam potencial para indústria moageira e na aplicação em produtos de panificação.

Palavras-chave: Trigo do Cerrado Mineiro. Qualidade tecnológica. Classificação do trigo. Reologia. Panificação.

ABSTRACT

Wheat is among the most consumed cereals in the world; therefore, it plays a great role in human nutrition. Its main form of utilization is through flour, obtained through grinding. Hence, studies that enable the use of flours with high breadmaking quality are extremely important to direct the industry in productions that reflect in higher quality products. The objective of this study is to assess the technological and industrial quality of eight wheat cultivars, planted in two cities in the south of Minas Gerais. The following commercial wheat cultivars were evaluated: TBIO SINTONIA, TBIO DUQUE, TBIO ATON, ORS 1403, ORS DESTAK, BRS 394, BRS 404 e BRS 264, cultivated in the cities of Boa Esperança–MG and Cambuquira–MG. Initially, wheat grains were evaluated for their physicochemical aspects. Then, the grains were milled and the flour was extracted, which were evaluated based on physicochemical and rheological characteristics, with subsequent application in the formulation of French breads. The results of a wheat grain characterization analysis indicated that the evaluated cultivars presented good physicochemical characteristics, especially regarding the hardness index and grain protein content. The milled flour presented overall excellent quality, especially regarding to the gluten content and rheological characteristics, standing out as a strong flour, presenting high coloring, something constantly sought after by the milling industry. However, its extraction percentage was low. The elaboration of French bread, and its evaluation, confirmed the aforementioned results, as the majority of the obtained products presented good volume and good acceptability of its sensorial characteristics. The results highlighted the influence of the different cultivation sites. On the other hand, there were few significant differences between the different cultivars in relation to the evaluated parameters, being unlikely to finish the process with low quality in any of them. Finally, it is concluded that the eight cultivars have potential for the milling industry for application in bakery products.

Keywords: Wheat from Cerrado Mineiro. Technological quality. Wheat classification. Rheology. Baking.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura do grão de trigo: principais partes anatômicas.	17
Figura 2 – Seção transversal de um grão de trigo (à esquerda) e duas áreas selecionadas do tecido do endosperma.	18
Figura 3 – Eletromicrografia de varredura do endosperma de trigo.....	19
Figura 4 – Demonstrativo de área, produtividade e produção de trigo nas safras 2022 e 2023.	22
Figura 5 – Características externas do pão francês sem falhas.....	29
Figura 6 – Características internas do pão francês sem falhas.	29
Figura 7 – Características sensoriais do pão francês sem falhas.	29
Figura 8 – Balança de determinação de Peso Hectolitro (PH).	31
Figura 9 – Aparelho Falling Number.	33
Figura 10 – Moinho experimental Chopin.	35
Figura 11 – Equipamento de determinação de glúten - Glutomatic.	36
Figura 12 – Farinografo Brabender.	37
Figura 13 – Extensógrafo Brabender.....	38
Figura 14 – Alveógrafo modelo Alveolink NG.....	39
Figura 15 – Ingredientes secos dos pães franceses na masseira.	40
Figura 16 – Ponto de véu da massa.	40
Figura 17 – Divisão da massa dos pães franceses em prensa divisora.	41
Figura 18 – Modelagem da massa dos pães franceses.....	41
Figura 19 – Pães franceses em câmara de fermentação.....	42
Figura 20 – Tabela de avaliação das características sensoriais dos pães franceses.....	44
Figura 21 – Parâmetros e notas atribuídas para obtenção do índice de qualidade dos pães franceses.....	45
Figura 22 – Pães franceses das farinhas obtidas de algumas cultivares de trigo cultivadas em Boa Esperança e Cambuquira.	72
Figura 23 – Análise de componentes principais dos parâmetros de farinografia e alveografia da farinha obtida das oito cultivares cultivadas em Boa Esperança e Cambuquira. ..	76
Figura 24 – Análise de componentes principais dos parâmetros de qualidade dos pães franceses das farinhas obtidas das oito cultivares cultivadas em Boa Esperança e Cambuquira.	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros farinográficos de farinhas com diferentes forças.....	25
Tabela 2 – Classificação de trigo do Grupo II, destinado à moagem e outras finalidades.....	27
Tabela 3 – Classificação do índice de dureza dos grãos de trigo, conforme SKCS.....	32
Tabela 4 – Formulação dos pães franceses obtidos das farinhas das oito cultivares de trigo de Boa Esperança e Cambuquira.....	39
Tabela 5 – Valores médios ¹ + desvios-padrão dos parâmetros físicos dos grãos de trigo das oito cultivares de trigo cultivados em Boa Esperança e Cambuquira.....	47
Tabela 6 – Valores médios ¹ + desvios-padrão dos parâmetros físico-químicos dos grãos de trigo das oito cultivares de trigo cultivados em Boa Esperança e Cambuquira.....	51
Tabela 7 – Valores médios ¹ + desvios-padrão dos teores de extração, cinzas e umidade das farinhas obtidas das oito cultivares de trigo cultivadas em Boa Esperança e Cambuquira.....	54
Tabela 8 – Valores médios ¹ + desvios-padrão de número de queda (FN) e teor de glúten úmido das farinhas obtidas das oito cultivares de trigo cultivadas em Boa Esperança e Cambuquira.....	Erro! Indicador não definido.
Tabela 9 – Valores médios ¹ + desvios-padrão dos parâmetros de coloração das farinhas obtidas das oito cultivares de trigo cultivadas em Boa Esperança e Cambuquira.....	59
Tabela 10 – Valores médios ¹ + desvios-padrão das características farinográficas das farinhas obtidas das oito cultivares de trigo cultivadas em Boa Esperança e Cambuquira.....	62
Tabela 11 – Valores médios ¹ + desvios-padrão das características alveográficas das farinhas obtidas das oito cultivares de trigo cultivadas em Boa Esperança e Cambuquira.....	65
Tabela 12 – Valores médios ¹ + desvios-padrão das características extensográficas das farinhas obtidas das oito cultivares de trigo cultivadas em Boa Esperança e Cambuquira no tempo de 45 min.....	67
Tabela 13 – Valores médios ¹ + desvios-padrão das características extensográficas das farinhas obtidas das oito cultivares de trigo cultivadas em Boa Esperança e Cambuquira no tempo de 90 min.....	67
Tabela 14 – Valores médios ¹ + desvios-padrão das características extensográficas das farinhas obtidas das oito cultivares de trigo cultivadas em Boa Esperança e Cambuquira no tempo de 135 min.....	68
Tabela 15 – Classificação de trigo do Grupo II, destinado à moagem e outras finalidades.....	70
Tabela 16 – Classificação das oito cultivares de trigo cultivadas em Boa Esperança e Cambuquira.....	70
Tabela 17 – Valores médios ¹ + desvios-padrão das características tecnológicas dos pães franceses obtidos das farinhas das oito cultivares de trigo cultivadas em Boa Esperança e Cambuquira.....	73

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral.....	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 Trigo: estrutura e composição.....	17
3.2 Importância econômica do trigo	20
3.3 Características de qualidade industrial do grão de trigo e da farinha de trigo.....	22
3.4 Qualidade tecnológica da panificação	27
4 MATERIAL E MÉTODOS	30
4.1 Local da pesquisa.....	30
4.2 Material	30
4.2.1 Cultivares de trigo	30
4.3 Métodos	31
4.3.1 Caracterização física dos grãos de trigo	31
4.3.1.1 Peso hectolitro (PH).....	31
4.3.1.2 Matérias estranhas e impurezas.....	31
4.3.1.3 Peso de mil grãos	31
4.3.1.4 Índice de dureza.....	32
4.3.2 Caracterização físico-química dos grãos	32
4.3.2.1 Umidade.....	32
4.3.2.2 Número de queda (FN).....	33
4.3.2.3 Cinzas.....	34
4.3.2.4 Proteína bruta	34
4.3.3 Moagem experimental dos grãos de trigo.....	34
4.3.3.1 Limpeza e condicionamento	34
4.3.3.2 Moagem	34
4.3.4 Avaliação das características físico-químicas da farinha de trigo	35
4.3.4.1 Extração.....	35
4.3.4.2 Cinzas.....	35
4.3.4.3 Umidade.....	36
4.3.4.4 Número de queda (FN).....	36
4.3.4.5 Glúten úmido	36

4.3.4.6 Coloração da farinha.....	37
4.3.5 Avaliação das características reológicas da farinha de trigo.....	37
4.3.5.1 Farinografia	37
4.3.5.2 Extensografia	38
4.3.5.3 Alveografia	38
4.3.6 Avaliação das características tecnológicas e sensoriais dos pães franceses.....	39
4.3.6.1 Produção dos pães franceses.....	39
4.3.6.2 Avaliação da massa.....	42
4.3.6.3 Volume específico	42
4.3.6.4 Avaliação sensorial	43
4.3.6.5 Índice de qualidade.....	44
4.4 Análise estatística.....	45
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1 Caracterização física dos grãos de trigo	46
5.2 Caracterização físico-química dos grãos de trigo	49
5.3 Avaliação das características físico-químicas da farinha	53
5.4 Avaliação das características reológicas das farinhas.....	60
5.5 Classificação dos trigos	70
5.6 Avaliação das características tecnológicas e sensoriais de pão francês	71
5.6 Análise de componentes principais	75
6 CONCLUSÕES.....	79
REFERÊNCIAS	80
APÊNDICE	89

1 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é uma das três culturas mais importantes do mundo, junto com o arroz e o milho. Conforme relatado pela Organização das Nações Unidas (ONU) para Agricultura e Alimentação, o trigo ocupa o segundo lugar entre os alimentos mais consumidos em todo o mundo, sendo que 40% da população mundial depende dele para as suas necessidades diárias de energia, pois é uma fonte importante de proteínas, carboidratos, fibras e cálcio (SANTOS, 2019; SHEWRY et al., 2020; FAO, 2023).

No entanto, as condições ambientais (solo, clima e outros) representam uma ameaça potencial à produção de trigo em termos de quantidade e qualidade nutricional, dada a influência no comportamento dos genótipos e nas características dos grãos do trigo e da farinha, além de determinar a aptidão da espécie para os diferentes usos industriais (PEQUENO et al., 2021; ZHAO et al., 2022). Consequentemente, compreender e estimar a resposta do rendimento e da qualidade do trigo é crucial para o desenvolvimento de estratégias de adaptação para garantir a segurança alimentar (BEACH et al., 2019). Uma das estratégias de adaptação mais eficazes é o uso de novas cultivares (ZHAO et al., 2022).

A qualidade do grão de trigo é influenciada por uma série de propriedades físicas e de composição, onde os limites são definidos de acordo com a legislação e com os requisitos do uso final. As propriedades físicas do grão integral, como tamanho e formato, influenciam o rendimento da moagem e as perdas na etapa de peneiramento, que determinam a eficiência do processamento e o valor do grão. A concentração e a composição da proteína do grão são importantes medidas de qualidade que definem as propriedades nutricionais e de uso final da mistura da massa e as características reológicas, incluindo a resistência da massa, o tempo de desenvolvimento, a extensibilidade, a degradação protéica e o volume do pão, todos os quais afetam a eficiência do processo de fabricação de pão e qualidade do produto (NUTTALL et al., 2017).

É importante salientar que existem classificações com base em diferentes atributos, como: (1) estação de crescimento (trigo de primavera e inverno), (2) conteúdo de proteína (trigo mole e trigo duro), (3) qualidade do glúten (glúten elástico forte e glúten forte não elástico) e (4) cor do grão (BETA et al., 2019).

Como o grão de trigo é seco e duro, ele só pode ser consumido após o processamento, que para a maioria dos produtos começa com a moagem para obtenção da farinha branca fina. A moagem cumpre dois propósitos: reduzir o grão em farinha e separar os diferentes tecidos do grão. Essa separação é necessária porque o grão possui uma estrutura complexa, composta por

diversos tecidos que se diferenciam em suas composições, propriedades funcionais, benefícios à saúde e palatabilidade ao consumidor (SHEWRY et al., 2020). De acordo com Caldeira et al. (2003), a realização de análises físico-químicas, químicas e reológicas da farinha de trigo é fundamental para determinar sua adequação em diferentes aplicações.

A farinha de trigo é utilizada em uma ampla variedade de alimentos, como pães, bolos, biscoitos e massas alimentícias. Dentre estes produtos, o pão é um dos produtos mais apreciados pelo consumidor, sendo considerado um alimento básico em muitos países. No Brasil, o tipo de pão mais consumido é o pão francês, também conhecido como pão d'água, pão de trigo, pão aguado, carioquinha, cacetinho, pão careca, pão de sal, entre outros (HIDALGO; BRANDOLINI, 2014; (TROADEC et al., 2022; ABIP, 2023).

O pão francês apresenta uma composição de ingredientes muito simples (farinha, sal, levedura e água), no entanto, devido aos seus atributos sensoriais desejados (volume, textura, coloração e sabor), durante a sua elaboração é necessário propiciar o desenvolvimento da formação de rede de glúten, o que torna o seu processamento mais delicado, e requer que a farinha utilizada demonstre uma excelente qualidade (ORTOLAN et al., 2015). Desta forma, estudos que viabilizem o uso de farinhas com qualidade para panificação, são de extrema importância para direcionar a indústria, em produções que reflitam em produtos de maior qualidade.

A recomendação de cultivares de trigo, visando a obtenção de farinha com qualidade tecnológica e industrial da região sul de Minas Gerais, é importante, pois, se viável, ter-se-á nova opção de cultivo. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi estudar a qualidade tecnológica e industrial de oito cultivares de trigo plantados em duas cidades do sul de Minas Gerais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o potencial tecnológico e industrial de oito cultivares de trigo semeados em duas cidades do sul do estado de Minas Gerais, para aplicação em indústria moageira.

2.2 Objetivos específicos

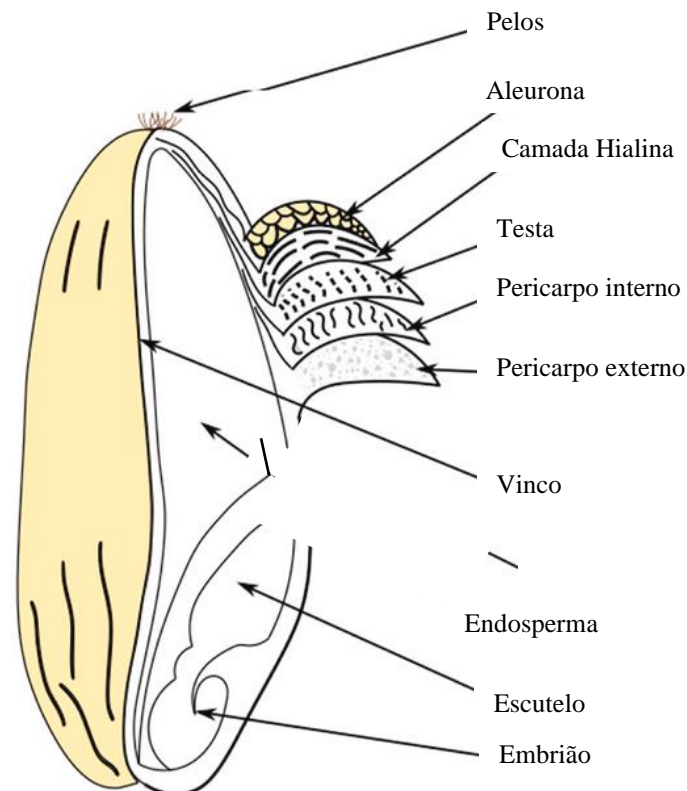
- Estudar as características físico-químicas do grão de oito cultivares plantadas em dois locais;
- Avaliar o potencial de extração dos grãos para moagem e transformação em farinha;
- Caracterizar a farinha obtida de oito cultivares plantadas em dois locais distintos, quanto aos seus parâmetros físico-químicos;
- Avaliar o potencial tecnológico da farinha obtida de oito cultivares em dois locais de plantio, por meio de suas características reológicas;
- Classificar as farinhas obtidas dentre as classes de trigo;
- Elaborar pães franceses com a farinha obtida dos oito cultivares de trigo em dois locais distintos de cultivo;
- Determinar a qualidade tecnológica e sensorial dos pães franceses obtidos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Trigo: estrutura e composição

O trigo (*Triticum spp.*) pertence à família das Gramineae (*Poaceae*), cuja espécie mais comum é o *T. aestivum* L (KOROMPOKIS, DELCOUR, 2023). O grão de trigo é composto por endosperma e embrião (germe), envolvido por uma casca (pericarpo), que consiste em uma coleção de múltiplas camadas histológicas da parte externa do grão de trigo, conforme pode ser observado na Figura 1 (DELCOUR, HOSENEY, 2010).

Figura 1 – Estrutura do grão de trigo: principais partes anatômicas.

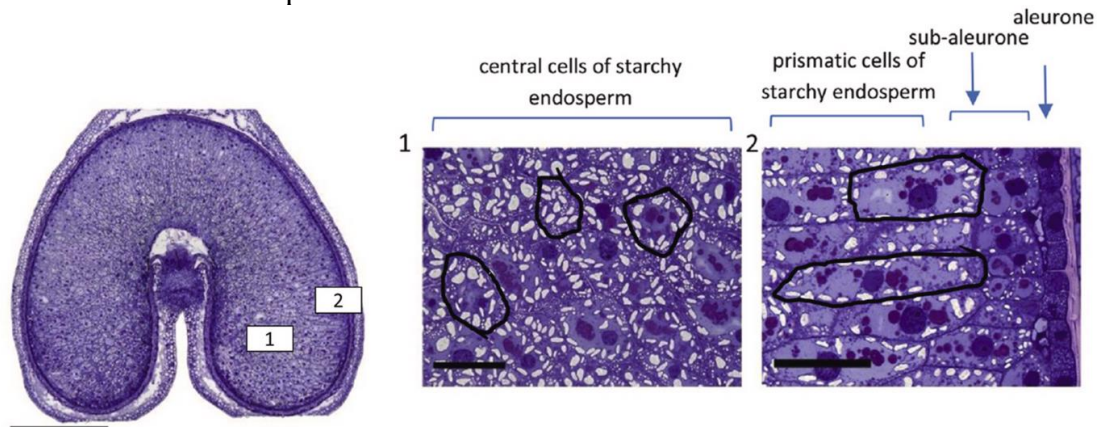


Fonte: Adaptado de Dhua et al. (2021).

O endosperma é o compartimento de armazenamento de energia mais importante. Trata-se de uma coleção de células contendo amido e proteínas como constituintes principais. As células centrais no endosperma são redondas, enquanto aquelas periféricas são alongadas e prismáticas, conforme é mostrado na Figura 2 (SHEWRY et al., 2020). É possível observar que a foto da esquerda mostra o grão inteiro com as áreas das caixas 1 e 2 expandidas nas imagens central e direita, respectivamente. A barra na seção transversal representa 1 mm, as barras nos

painéis 1 e 2, 100 μm . As proteínas aparecem em roxo e os grânulos de amido aparecem brancos.

Figura 2 – Seção transversal de um grão de trigo (à esquerda) e duas áreas selecionadas do tecido do endosperma.



Fonte: Tosi et al. (2009).

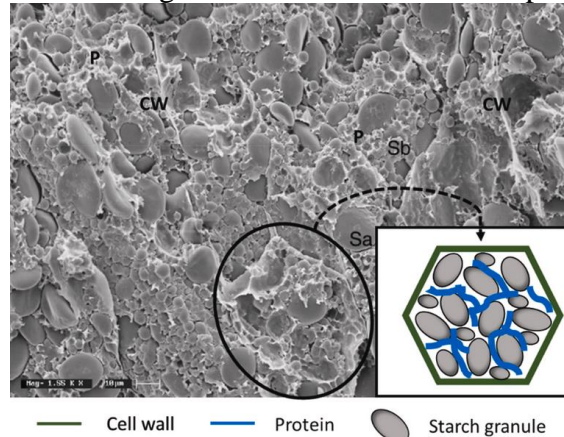
O amido é o constituinte mais abundante no endosperma do trigo e o principal carboidrato de armazenamento. Os grânulos de amido de trigo exibem uma distribuição com formatos lenticulares e esféricos (FIGURA 3) (WATERSCHOOT et al., 2015). Os polímeros de amido, amilose (AM) e amilopectina (AP) cobrem até 99 % da massa seca dos grânulos de amido de trigo. AM é responsável por 18% a 30% dos polímeros de amido e AP pelos 70% a 82% restantes.

A amilose é uma molécula que possui estrutura linear, constituída de ligações α -1,4 D-glicopirranose (Figura 4), essa estrutura característica faz com que ela possua maior facilidade de ser degradada pela enzima β -amilase que é capaz de quebrar ligações α -1,4 (TESTER; KARKALAS; QI, 2004). Por outro lado, com uma estrutura altamente ramificada, a amilopectina é uma molécula constituída de unidades de glucose unidas entre si por ligações α -1, 4 (Figura 5) possuindo de 5 a 6% de ligações α -1,6 sendo estas responsáveis pela sua ramificação (BERTOFT, 2017).

Uma matriz proteica envolve os grânulos de amido nas células do endosperma (FIGURA 3). A farinha de trigo branca contém cerca de 10 % a 12% de proteína. As proteínas do trigo são classificadas como albuminas, globulinas, gliadinas e gluteninas (GOESAERT et al., 2005). As proteínas do glúten representam quase 80% da proteína total e consistem em gliadinas monoméricas e gluteninas poliméricas (RUSTGI et al., 2019). Ambas as frações possuem altos teores de prolina e glutamina (VERAVERBEKE, DELCOUR, 2002). As subunidades do glúten estão ligadas por ligações dissulfeto. Após a hidratação e mistura da farinha de trigo, as proteínas do glúten formam uma rede viscoelástica coesa contínua, com as

gliadinas conferindo viscosidade e as gluteninas a elasticidade à massa (GOESAERT et al., 2005).

Figura 3 – Eletromicrografia de varredura do endosperma de trigo.



CW: parede celular; P: matriz proteica; Sa: grânulo grande de amido; Sb: pequeno grânulo de amido. O círculo preto circunda uma célula. Uma representação esquemática de tal célula é fornecida como uma ilustração de inserção. A barra de tamanho representa 10 μm .

Fonte: Adaptado de Shapter et al. (2008).

Uma matriz proteica envolve os grânulos de amido nas células do endosperma (FIGURA 3). A farinha de trigo branca contém cerca de 10 % a 12% de proteína. As proteínas do trigo são classificadas como albuminas, globulinas, gliadinas e gluteninas (GOESAERT et al., 2005). As proteínas do glúten representam quase 80% da proteína total e consistem em gliadinas monoméricas e gluteninas poliméricas (RUSTGI et al., 2019). Ambas as frações possuem altos teores de prolina e glutamina (VERAVERBEKE, DELCOUR, 2002). As subunidades do glúten estão ligadas por ligações dissulfeto. Após a hidratação e mistura da farinha de trigo, as proteínas do glúten formam uma rede viscoelástica coesa contínua, com as gliadinas conferindo viscosidade e as gluteninas a elasticidade à massa (GOESAERT et al., 2005).

As paredes celulares do endosperma do trigo contêm, principalmente, arabinosilano (65-70%) e, em menor extensão, proteína e β -D-glucano (COLLINS et al., 2010).

Os lipídios constituem de 2,0 a 2,5% dos grãos de trigo. Aproximadamente 30% desses lipídios estão localizados no tecido do endosperma, como corpos oleosos ou associados a grânulos de amido. As porções de ácidos graxos mais abundantes são os ácidos linoleico (60%) e palmítico (20%) (GERITS et al., 2014). Os lipídios não polares, como mono-, di- e triacil gliceróis, bem como lipídios mais polares, como galactolipídios e fosfolipídios, também fazem parte da população lipídica não amilácea da farinha de trigo (PAREYT et al., 2011).

O farelo é o coproduto mais proeminente do processo de moagem do trigo. Nesse processo, a maior parte do tecido do endosperma, ou seja, a farinha, é separada do gérmen e do farelo após consecutivas etapas de moagem, peneiração e purificação (HEMDANE et al., 2016). O farelo obtido como fração de moagem do grão de trigo também inclui a camada de aleurona e algum tecido residual do endosperma ligado a ela, cujo rendimento varia entre 13% e 19% da massa total do grão (DEROOVER et al., 2020).

O farelo de trigo consiste, principalmente, em arabinosilano (17–33%), celulose (9–14%) e β -D-glucano (1–3%), mas também amido (6–30%), proteínas (14–26%), lipídios (3–4%), lignina (3–10%), minerais (5–7%), ácido fítico (4,5–5,5%), frutanos (3–4%) e compostos fenólicos (0,4–0,8%) (HEMDANE et al., 2016). O pericarpo é a principal fonte de fibra alimentar do grão (principalmente arabinosilanos reticulados, celulose e lignina). A camada de aleurona é rica em arabinosilano, mas também em lignina, ácido fítico, minerais e vitaminas (DEROOVER et al., 2020).

Os minerais do trigo incluem ferro, zinco, cálcio, manganês, magnésio e cobre. Eles estão localizados, principalmente, nas células de aleurona. No entanto, os minerais do trigo têm baixa biodisponibilidade porque são quelados principalmente pelo ácido fítico e/ou porque estão fisicamente aprisionados em células rígidas de aleurona (LEMMENS et al., 2019).

O gérmen representa 2–3% do grão e contém o eixo embrionário e o escutelo. É uma boa fonte de proteínas (25%), açúcares [sacarose e rafinose (18%)] e lipídios (40%) (DELCOUR, HOSENEY, 2010). Também contém níveis substanciais de compostos bioativos, como minerais, ácidos linolênico e linoléico e complexos de vitamina B. Curiosamente, o germe é uma das fontes vegetais mais abundantes de vitamina E (BOUKID et al., 2018).

3.2 Importância econômica do trigo

O trigo é um cereal amplamente cultivado, cobrindo uma área de 221,4 milhões de hectares mundialmente referentes à safra 2023/24. Com produção global de 795,7 milhões de toneladas, perdendo apenas para a produção de milho (FAO, 2023).

Os produtos à base de trigo são básicos na dieta de grande parte da população mundial, onde a maior parte dessa produção vai para a dieta humana, enquanto o restante é destinado para a indústria de alimentação e processamento animal (FAO, 2023). Globalmente, cerca de 20% da ingestão diária total de energia é proveniente de produtos à base de trigo, tornando este cereal um importante contribuidor para a segurança alimentar, que está focada na obtenção de mais alimentos para atender às necessidades da crescente população, o que só pode ser

alcançado quando a produção de cereais for aumentada globalmente (AHMED, MUSTAFA, 2017).

A procura mundial por trigo (incluindo alimentos, sementes e utilização industrial e alimentar) aumentou nos últimos anos (USDA, 2023), ao mesmo tempo, que a agricultura enfrenta muitos desafios devido às crescentes preocupações ambientais relacionadas com a utilização da água para irrigação e o uso de fertilizantes (FAN et al., 2012). Além disso, prevê-se que a agricultura seja um dos setores mais afetados pelas alterações climáticas nos próximos anos (RAY et al., 2013).

Muitas restrições e desafios são enfrentados na produção e rendimento de trigo no Brasil e no mundo. Nos países como Brasil, Colômbia, Equador e Uruguai, a produção de trigo está aumentando entre 0,1% e 1,5% ao ano e podem levar a colheitas per capita inalteradas (8% a 31% da energia alimentar é agora fornecida a partir do trigo nestes quatro países) (RAY et al., 2013). Por outro lado, o continente Europeu mesmo sofrendo com a seca, teve um crescimento de 1% com relação ao ano anterior, demonstrando produtividade acima da média em países como França, Alemanha, Romênia e Hungria (AGROLINK, 2023).

O Brasil é o segundo maior produtor de trigo na América do Sul, ficando atrás apenas da Argentina, e ainda ocupa a 12^a posição no ranking dos maiores produtores de trigo globalmente, no entanto, visando suprir a demanda interna, foram importadas 418,5 mil toneladas de trigo em julho/2023, 26,82% a menos do que a média dos últimos cinco anos. Esta redução se deve ao fato de colheitas em safras maiores (CONAB, 2023).

A despeito da disparidade significativa na produção de trigo entre as diferentes regiões do Brasil, Minas Gerais e São Paulo se destacam como produtores da região Sudeste, conforme observado na Figura 4, onde é notável o excelente desempenho esperado por Minas Gerais, dado os valores consideravelmente superiores aos registrados no ano anterior de 2022.

Figura 4 – Demonstrativo de área, produtividade e produção de trigo nas safras 2022 e 2023.

	ÁREA (Em mil ha)			PRODUTIVIDADE (Em kg/ha)			PRODUÇÃO (Em mil t)		
	Safra 2022	Safra 2023	VAR. %	Safra 2022	Safra 2023	VAR. %	Safra 2022	Safra 2023	VAR. %
	(a)	(b)	(b/a)	(c)	(d)	(d/c)	(e)	(f)	(f/e)
NORDESTE	7,0	10,0	42,9	5.700	5.700	-	39,9	57,0	42,9
BA	7,0	10,0	42,9	5.700	5.700	-	39,9	57,0	42,9
CENTRO-OESTE	83,7	127,9	52,8	2.321	3.396	46,3	194,3	434,3	123,5
MS	20,5	44,5	117,0	2.372	2.497	5,3	48,6	111,1	128,6
GO	60,0	80,0	33,3	2.250	3.879	72,4	135,0	310,3	129,9
DF	3,2	3,4	6,3	3.339	3.796	13,7	10,7	12,9	20,6
SUDESTE	204,6	290,7	42,1	2.962	2.945	(0,6)	606,1	856,2	41,3
MG	108,9	167,2	53,5	2.743	2.752	0,3	298,7	460,1	54,0
SP	95,7	123,5	29,1	3.212	3.207	(0,2)	307,4	396,1	28,9
SUL	2.790,9	3.001,0	7,5	3.481	3.026	(13,1)	9.714,1	9.082,2	(6,5)
PR	1.195,8	1.387,1	16,0	2.928	2.828	(3,4)	3.501,3	3.922,7	12,0
SC	140,5	128,8	(8,3)	3.418	3.069	(10,2)	480,2	395,3	(17,7)
RS	1.454,6	1.485,1	2,1	3.941	3.208	(18,6)	5.732,6	4.764,2	(16,9)
NORTE/NORDESTE	7,0	10,0	42,9	5.700	5.700	-	39,9	57,0	42,9
CENTRO-SUL	3.079,2	3.419,6	11,1	3.415	3.033	(11,2)	10.514,5	10.372,7	(1,3)
BRASIL	3.086,2	3.429,6	11,1	3.420	3.041	(11,1)	10.554,4	10.429,7	(1,2)

Fonte: CONAB (2023).

3.3 Características de qualidade industrial do grão de trigo e da farinha de trigo

A procura global projetada para o trigo até 2050 exige que os cientistas e produtores adotem novas ferramentas e tecnologias para acelerar o desenvolvimento de variedades de alto rendimento que possam se adaptar a ambientes desafiadores (RAY et al., 2013).

Para avaliar a qualidade dos grãos e da farinha de trigo, o peso hectolitro, o peso de mil grãos, o teor de proteína, o número de queda e as análises reológicas de alveografia, farinografia e extensografia, são as mais importantes e usualmente realizadas para a avaliação da qualidade do trigo e seus derivados (WILLIAMS et al., 1988; VETRIMANI; SUDHA; RAO, 2005; FRAKOLAKI et al., 2018).

O peso do hectolitro (PH) refere-se à densidade dos grãos, ou seja, uma determinada massa dentro de um volume conhecido, isto é, refere-se à massa de 100 litros de trigo, expressa em quilogramas, determinado em equipamento específico. Esta análise está diretamente relacionada às características intrínsecas do grão, como solidez, uniformidade, tamanho e peso, bem como, características extrínsecas ao material, como a quantidade de impurezas, como palha, terra e outras matérias estranhas, junto aos grãos de trigo. Os grãos com maiores valores de PH, são comercializados com valores econômicos mais elevados, pois esse parâmetro é um indicador de rendimento da farinha, além de ser uma característica de classificação do trigo, conforme a legislação brasileira, sendo necessário um valor de PH de no mínimo 78 kg hL⁻¹, para que o trigo seja classificado como Tipo 1 (DONELSON, et al., 2002; BRASIL, 2010; KIBAR, 2015; KAUR, H.; SRIVASTAVA, 2022).

O peso de mil grãos, assim como do peso hectolitro, também é utilizado para determinar o rendimento potencial de farinha (KIBAR, 2015). Além disso, também é aplicado como parâmetro de classificação, predizendo o tamanho dos grãos de acordo com o seu peso (WILLIAMS et al., 1988). Os grãos muito pequenos e murchos são indesejáveis para a indústria moageira, pois possuem mais farelo e germe, enquanto grãos muito grandes provocam perdas devido à dificuldade de processamento em alguns equipamentos industriais (GUARIENTI, 1996).

O teor de cinzas está relacionado à determinação dos minerais presentes no grão de trigo. Estes constituintes se concentram em maior proporção nas camadas externas do grão, portanto, essa medida na farinha de trigo possui uma relação com a sua extração, e com um maior teor de farelo de trigo presente, que reflete também na coloração do produto. Em geral, farinhas com um maior teor de cinzas, apresentam coloração mais escura, por possuírem uma maior quantidade de constituintes externos do grão, que indica também, um maior teor de extração, porém com maior contaminação da farinha com farelo (VETRIMANI; SUDHA; RAO, 2005; CARDOSO et al., 2019; LI et al., 2023).

O número de queda (“Falling Number”), é uma análise que verifica a atividade da alfa-amilase no grão e farinha de trigo, e com isso indica a possibilidade do grão estar em processo de germinação. A atividade da alfa-amilase, pode ser determinada como baixa, média e alta, sendo medida em segundos, e indicando que quanto menor o valor de falling number, maior a atividade enzimática do trigo, ou seja, maior o teor de amido degradado do grão (GUARIENTI, 1996), que indica uma menor qualidade do produto para a panificação (PERTEN 1964; MIRANDA; DEMORI; LORINI, 2005).

Valores baixos de FN podem ser explicados por germinação do trigo em grãos que não se desenvolveram completamente ou germinação do grão devido à colheita tardia, o que reflete na obtenção de farinhas que fornecem produtos com massa pegajosa e volume ruim (PERTEN, 1967; MIRANDA; DEMORI; LORINI, 2005). Esse parâmetro de qualidade é também, um indicador de classificação do trigo, sendo exigido um valor de FN de no mínimo 250 para a classe de trigo melhorador (trigo utilizado para elaboração de pães e massas alimentícias a nível industrial) e 220 para trigo pão (trigo usado na elaboração de pães) (BRASIL, 2010).

O teor de proteínas do trigo é um fator determinante para sua qualidade e utilização na indústria moageira, pois as características reológicas dos produtos dependem da formação da rede de glúten, provenientes das proteínas gluteninas e gliadinas (GOLEA; CODINĂ; OROIAN, 2023). A quantidade de proteínas do trigo é influenciada por fatores ambientais e agrônômicos, enquanto sua qualidade está diretamente ligada a fatores genotípicos. De acordo

com a quantidade de proteínas, é possível classificar o trigo em baixo, médio e alto teor proteico, sendo que farinhas com baixo conteúdo de proteínas não são indicadas para elaboração de produtos como pães e massas alimentícias (WILLIAMS et al., 1988).

A farinografia é um dos mais completos e sensíveis testes utilizados para a avaliação da qualidade de mistura da massa de farinha de trigo (WILLIAMS et al., 1988). Os resultados dos parâmetros são usados na formulação para estimar a quantidade de água requerida para fazer uma massa de pão, avaliar os efeitos dos ingredientes em propriedades de mistura, avaliar as exigências de mistura da farinha e verificar a uniformidade da farinha (GUARIENTI, 1996). Esses resultados são úteis para prever as características da textura do produto. Um exemplo disso é que propriedades de mistura fortes são relacionadas à textura firme do produto. Os parâmetros avaliados pelo método registram o comportamento durante o amassamento e estão relacionados à força da massa (EMBRAPA, 2023). Essa análise fornece indicações sobre a qualidade da farinha, por meio de alguns atributos como capacidade de absorção de água, estabilidade da massa, resistência e tempo de desenvolvimento e grau de amolecimento (FRAKOLAKI et al., 2018), conforme descrito abaixo:

- Absorção de Água: É a quantidade de água requerida, expressa em porcentagem, para que a massa atinja a consistência padrão na linha de 500 unidades farinográficas.
- Tempo de Desenvolvimento da Massa (T.D.M.): É o tempo em minutos, para que a curva atinja o seu ponto máximo a partir da adição da água. Indica o tempo que o profissional de panificação dispõe para determinar o percentual de absorção de água da farinha que está trabalhando, de modo a deixar a massa com a consistência ideal para a fabricação de pães.
- Estabilidade (EST): É a diferença de tempo, expressa a 30 segundos, entre o ponto onde o topo da curva intercepta primeiramente a linha de 500 UF (tempo de chegada) e o ponto exato onde o topo da curva deixa a linha dos 500 UF (tempo de saída). A estabilidade fornece um indicativo da resistência que a massa possui ao tratamento mecânico e ao tempo do processo fermentativo na fabricação de pão.
- Índice de Tolerância à Mistura (I.T.M.): É a diferença expressa em unidades farinográficas entre o topo da curva no pico e o topo da curva medido 5 minutos após o pico ser alcançado. Este índice fornece informações sobre a maior ou menor tolerância da massa à mistura.

Na Tabela 1 são apresentados valores para designar farinhas de diferentes forças.

Tabela 1 – Parâmetros farinográficos de farinhas com diferentes forças.

Farinhas	Parâmetros Farinográficos *			
	Absorção (%)	TDM (min)	Est (min)	ITM (min)
Fraca	< 55,0	< 2,5	< 3,0	> 100,0
Média	54,0 – 60,0	2,5 – 4,0	3,0 – 8,0	60,0 – 100,0
Forte	> 58,0	8,0 – 15,0	8,0 – 15,0	15,0 – 50,0
Muito forte	> 58,0	> 10,0	> 15,0	< 10,0

* Parâmetros farinográficos: Tempo de Desenvolvimento da Massa (TDM), Estabilidade (Est), Índice de Tolerância à Mistura (ITM).

Fonte: Pizzinato (1999).

A alveografia simula o comportamento da massa durante a fermentação, imitando, em grande escala, a formação de alvéolos originados na massa pelo gás carbônico (CO₂) produzido pelos fermentos. As características viscoelásticas de uma massa podem ser avaliadas por diferentes parâmetros da alveografia, como:

- **W** - força de glúten (expressa em 10⁻⁴ J): representa o trabalho de deformação da massa e indica a qualidade de panificação da farinha (força da farinha);
- **P** - tenacidade (expressa em mm): é a pressão máxima necessária para expandir a massa. É uma medida da capacidade de absorção de água da farinha. A tenacidade está correlacionada negativamente com proteína da farinha, volume do pão e glúten úmido;
- **L** - extensibilidade da massa (expressa em mm): é a capacidade de extensão da massa, sem que ela se rompa. Um alto grau de extensibilidade está ligado ao baixo rendimento da farinha. É usada para prever o volume de pão, juntamente com a proteína;
- **P/L** - relação tenacidade/extensibilidade (adimensional): expressa o equilíbrio da massa, em que P é a tenacidade ou resistência da massa à deformação e L, a extensibilidade da massa. Para pães, o ideal, são farinhas balanceadas (P/L entre 0,50-1,20); para bolos e biscoitos, farinhas extensíveis (P/L <0,49); e, para massas alimentícias, tenaz (P/L >1,21);
- **IE** - índice de elasticidade (%): definido pela relação P200/P máximo do alveograma, expresso em percentagem. Está intimamente correlacionado aos fenômenos de recuperação da forma inicial após a deformação, permitindo melhor previsão do comportamento reológico da massa usada em panificação industrial e produção de biscoitos.

O IE varia de 25% a 75%, sendo que o valor ótimo varia de 0 a 50%, para fabricação de pão, em farinha sem correção. Após adição de ácido ascórbico (correção), a resistência ótima situa-se entre 50 e 55% (EMBRAPA, 2023).

A extensibilidade (L) é um indicativo do volume que a massa pode atingir e a tenacidade (P) é um indicativo da pressão máxima de ruptura da massa. Segundo Mandarinó (1994), o

aumento da relação P/ L, com conseqüente acréscimo da elasticidade do glúten, pode ser provocado pelo elevado teor de gluteninas, que são proteínas de elevada elasticidade e baixa extensibilidade. Por outro lado, a redução da relação P/L pode ser explicada pelo elevado teor de gliadinas, que são responsáveis pela baixa elasticidade do glúten.

A força geral de glúten (W) é indicativo da força de panificação da farinha. De acordo com Mandarino (1993), valores de W superiores a 200×10^{-4} J revelam trigo com força melhoradora; entre 100 e 200×10^{-4} J com força média; e inferiores a 100×10^{-4} J, com força fraca (glúten fraco). Por outro lado, para Rosa e Filho (1998), trigo com valores de W maiores que 300×10^{-4} J é considerado forte; trigo com valores de W menores que 150×10^{-4} J é considerado fraco e, para a produção de pão francês, o valor de W deve estar entre 180 e 200×10^{-4} J.

Segundo Brasil (2010), as cultivares de trigo estão classificadas (de acordo com a alveografia e o número de queda) em cinco classes, ou seja: na classe de trigo brando são enquadrados grãos de cultivares aptas para a produção de bolos, bolachas (biscoitos doces), produtos de confeitaria, pizzas e massa do tipo caseira fresca, com força geral do glúten (W) de 350×10^{-4} J e número de queda de 3.200 segundos. A classe de trigo para pão envolve grãos de cultivares com aptidão para a produção do tradicional pãozinho (do tipo francês ou d'água) consumido no Brasil. Esse trigo também pode ser utilizado para a produção de massas alimentícias secas, de folheados ou em uso doméstico, dependendo de suas características de força de glúten (W), com W 3180×10^{-4} J e número de queda de 3.200 segundos. A classe de trigo melhorador envolve grãos de cultivares aptos para mesclas com grãos de trigo brando, para fim de panificação, produção de massas alimentícias, biscoito do tipo crackers e pães industriais (pão de forma e pão para hambúrguer), com W 3300×10^{-4} J e número de queda de 3.250 segundos. Na classe de trigo para outros usos, enquadram-se os grãos de cultivares destinadas à alimentação animal ou outro uso industrial, envolvendo os grãos de cultivares de trigo com qualquer valor de W, mas não enquadrados em nenhuma das outras classes, por terem número de queda inferior a 200. Na classe do trigo *durum*, especificamente os grãos da espécie *Triticum durum* L., estão os grãos de cultivares para a produção de massas alimentícias secas (do tipo italiana), com número de queda mínimo de 250 segundos, sem especificação do valor de W. A Tabela 2 apresenta a classificação de trigo segundo a legislação brasileira.

Tabela 2 – Classificação de trigo do Grupo II, destinado à moagem e outras finalidades.

Classe	Força do glúten – W (valor mínimo, expresso em 10 ⁻⁴ J)		Estabilidade, EST (min)
Melhorador	300	e	14
Pão	220	ou	10
Doméstico	160	ou	6
Básico	100	ou	3
Outros usos	Qualquer		Qualquer

Fonte: Adaptado de BRASIL (2010).

3.4 Qualidade tecnológica da panificação

A moagem de trigo no Brasil, atingiu em 2022 a produção de 12,6 milhões de toneladas, destes, 8,5 milhões são correspondentes à produção de farinha de trigo, sendo que, do total de farinhas produzidas, quase 50% destinaram-se à elaboração de pães (ABITRIGO, 2023). O pão consiste em um alimento básico da dieta humana, consumido mundialmente por seus aspectos sensoriais, nutricionais e por seu preço acessível (GNABA, 2011).

Segundo a legislação brasileira, pão é o produto obtido do processo de cocção de farinha adicionada de líquido, fermentados ou não, podendo apresentar cobertura, recheio, formato e textura diversos. (BRASIL, 2022).

No Brasil, pão francês, também conhecido como conhecido como pão d'água, pão de trigo, pão aguado, carioquinha, cacetinho, pão careca, pão de sal, entre outros, é o produto de maior ingestão obtido nas padarias, sendo consumidos 2,3 milhões de pães franceses por ano (ABIP, 2023). A elaboração desse produto demanda ingredientes simples como farinha de trigo, água, sal e levedura, e os seus requisitos de qualidade estão ligados a atributos como volume específico, cor da crosta e do miolo, craquelamento da casca, abertura da pestana, cor, sabor e aroma, sendo todos afetados em parte, pela qualidade da farinha utilizada (HIDALGO; BRANDOLINI, 2014; (TROADEC et al., 2022).

O volume específico do pão é uma medida obtida a partir da razão entre o volume e peso do pão, expresso em mililitros por gramas (mL g⁻¹) ou centímetro cúbico por gramas (cm³ g⁻¹) (ABNT, 2013). Esse atributo geralmente é determinado pelo método de deslocamento em sementes de painço, sendo um dos parâmetros de qualidade de maior importância para a indústria de panificação, pois o volume adequado do pão influencia sua aceitação, por parte do consumidor (CARR et al., 2006; REBELLATO et al., 2017).

Pães com baixo volume são obtidos quando o processo de fermentação não ocorre da forma adequada, não gerando gás carbônico suficiente para expansão da massa, quando sal é

adicionado em excesso, ou quando há alguma interferência na rede de glúten, que atrapalha o desenvolvimento da massa. Por outro lado, pães com volume específico excessivos são obtidos quando ocorre um descontrole no processo de fermentação ou pouca adição de sal (ALMEIDA; CHANG, 2012; REBELLATO et al., 2017; POLACHINI et al., 2023).

A textura do pão francês é vista pelos consumidores como um indicativo de frescor do produto. A crosta do pão deve se apresentar brilhante e com textura crocante, obtida por meio do craquelamento após seu assamento, bem como, pestana fina e com abertura uniforme (CARR et al., 2006; REBELLATO et al., 2017). Por outro lado, o miolo do pão precisa apresentar textura macia e aveludada, ser poroso, leve, homogêneo e elástico, não apresentar aderência ao ser comprimido, e com a ausência de aglomerações duras, além de apresentar boa distribuição dos alvéolos com a ausência de buracos ou falhas (CARR et al., 2006; ALMEIDA; CHANG, 2012). Segundo Guariente (1996), um dos fatores que mais afeta a textura dos pães, é a atividade alfa-amilase, pois a alta atividade dessa enzima resulta em pães com textura interna pegajosa e úmida, enquanto a baixa atividade proporciona produtos com textura interna seca e quebradiça.

A coloração da crosta do pão é resultado da reação de Maillard que ocorre durante o seu forneamento, promovendo ao produto uma coloração amarronzada (ORDÓNEZ, 2005; TROADEC et al., 2022). Por outro lado, a cor do miolo é proveniente especialmente da qualidade da farinha utilizada para sua elaboração, devendo apresentar cor branco - creme uniforme (CARR et al., 2006). Pães com crosta avermelhada, pálida ou escura podem apresentar menor aceitabilidade, enquanto miolos com cor acinzentada, azulada ou muito branca são indesejáveis TROADEC et al., 2022).

A avaliação de padrão de qualidade de pão francês usualmente é feita por análises instrumentais e sensoriais. Visando padronizar o processo de elaboração do pão francês e as suas características de qualidade, em 2013 a ABNT criou a norma NBR 16170:2013 de padronização das características físicas e sensoriais do pão francês. A norma padroniza todo o processo de elaboração do pão francês e menciona as características principais que determinam sua qualidade. Com relação aos requisitos de qualidade externos do pão francês são avaliados os atributos de tamanho, crosta e aparência, onde o padrão de produto sem faltas está representado na Figura 5. Para os requisitos de qualidade interna do pão francês são mencionadas as características de crosta e miolo, mostrados na Tabela 4 e com padrão ilustrado na Figura 6. Já para os atributos sensoriais do produto são destacados os requisitos de aroma, sabor e textura do pão (resiliência e elasticidade), conforme Figura 7 (ABNT, 2013).

Figura 5 – Características externas do pão francês sem falhas.



Fonte: Norma Brasileira ABNT 16170 (2013).

Figura 6 – Características internas do pão francês sem falhas.



Fonte: Norma Brasileira ABNT 16170 (2013).

Figura 7 – Características sensoriais do pão francês sem falhas.



Fonte: Norma Brasileira ABNT 16170 (2013).

Muitos fatores podem afetar a qualidade do pão francês, desde a qualidade e quantidade dos ingredientes utilizados, até condições inadequadas de processamento, que acabam por afetar suas características tecnológicas, reológicas e sensoriais, refletindo na obtenção de

produtos defeituosos e sem a qualidade desejada (REBELLATO et al., 2017; POLACHINI et al., 2023).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local da pesquisa

As cultivares de trigo foram semeadas e colhidas na Empresa Agropecuária Santo Antônio Ltda em Boa Esperança-MG (altitude: 886 m; coordenadas geográficas :21°03'04,42"S 45°37'12,65"O) e na Fazenda Floresta da Agropecuária 3 Irmãos Ltda em Cambuquira-MG (altitude: 870 m; coordenadas geográficas: 21°50'42,34"S 45°09'13,81").

A avaliação da qualidade das cultivares obtidas foi realizada no Laboratório de Controle de Qualidade da empresa J MACEDO S/A, localizado na cidade de Varginha/MG.

4.2 Material

4.2.1 Cultivares de trigo

Neste trabalho foram avaliadas oito cultivares comerciais de *Triticum aestivum* L., sendo eles: TBIO SINTONIA, TBIO DUQUE, TBIO ATON, ORS 1403, ORS DESTAK, BRS 394, BRS 404 e BRS 264.

As cultivares de trigo foram semeadas no ano agrícola de 2020, sendo conduzidos em blocos casualizados, utilizando parcelas de três linhas de 5,0 m de comprimento, as linhas eram espaçadas de 0,17 m da seguinte forma: Na cidade de Boa Esperança MG foi conduzido na área da Agropecuária Santo Antônio, com semeadura realizada em 03/04/2020 com 886 m de altitude. A adubação de base foi de 135,87 kg ha⁻¹ do formulado 07-40-00 (NPK), não foi realizado adubação de cobertura. Na mesma safra agrícola foi implantado experimento também na área da Fazenda Floresta da Agropecuária 3 Irmãos no município de Cambuquira em 21/04/2020, com 870 m de altiturd, na adubação de plantio foi utilizado 150 kg ha⁻¹de 11-52-00 (NPK), e na adubação de cobertura foram utilizados 320 kg ha⁻¹de 33-00-00 (NPK) e 100 kg ha⁻¹ de 00-00-60 (NPK). O cultivo foi realizado em condições de sequeiro, sendo que em Boa Esperança houve pouco mais de 40 mm de precipitação e em Cambuquira foram registrados 53 mm de precipitação no período de cultivo.

4.3 Métodos

4.3.1 Caracterização física dos grãos de trigo

4.3.1.1 Peso hectolitro (PH)

A quantificação da massa de 100 litros de grãos foi realizada com auxílio de balança de peso hectolitro (Dallemolle, Brasil) (FIGURA 8), com capacidade de 250 mL segundo metodologia descrita no Regulamento Técnico de Identidade e de Qualidade do Trigo (BRASIL, 2010), e usando para conversão tabela específica. A análise foi feita em quadruplicata.

Figura 8 – Balança de determinação de Peso Hectolitro (PH).



Fonte: Da autora (2023).

4.3.1.2 Matérias estranhas e impurezas

O percentual de matérias estranhas e impurezas dos grãos foi determinado conforme o Regulamento Técnico de Identidade e de Qualidade do Trigo (BRASIL, 2010) em quadruplicata.

4.3.1.3 Peso de mil grãos

A massa de 1.000 grãos foi obtida mediante a contagem manual, ao acaso e pesagem em balança semi-analítica 100 grãos de trigo, em quadruplicata para cada amostra. A média desses valores foi multiplicada por 10 para obtenção do valor da massa de 1.000 grãos (BRASIL, 2009).

4.3.1.4 Índice de dureza

O índice de dureza (ID) dos grãos foi determinado segundo o método 55-31, da Approved Methods of the American Association of Cereals Chemists (AACC (2000)) usando equipamento Single Kernel Characterization System (SKCS), modelo 4100 (Perten Instruments, França) em quadruplicata para cada amostra, para estimar o ID. A dureza do grão foi determinada pela medida experimental da força necessária para triturar o grão de trigo, segundo o manual de operação do SKCS que classifica o ID do grão de trigo conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação do índice de dureza dos grãos de trigo, conforme SKCS.

Categoria	Índice de dureza
Extra duro	Acima de 90
Muito duro	81-90
Duro	65-80
Semi-duro	45-64
Semi-mole	35-44
Mole	25-34
Muito mole	10-24
Extra mole	Abaixo de 10

Fonte: Adaptado do AACC (2000).

4.3.2 Caracterização físico-química dos grãos

4.3.2.1 Umidade

O teor de umidade dos grãos foi determinado de acordo com método n°. 110/1 do International Association for Cereal Science and Technology (ICC, 2003), em quadruplicata. A análise foi realizada em estufa de circulação de ar (modelo SSDcr 30L, SolidEsteet, Brasil) por 1h30 a 130C°.

4.3.2.2 Número de queda (FN)

O método n. 56-81B da AACC (2000) foi utilizado para determinar o FN em quadruplicata. Inicialmente os grãos de trigo foram triturados em moedor de trigo CTO-120, com posterior pesagem de 7 g de amostra, usando balança analítica Ohaus modelo PA214P. A amostra foi acondicionada em tubo viscosímetro e adicionado 25 mL de água destilada com o auxílio de uma pipeta. Logo após, o tubo foi tampado com rolha de borracha e, posteriormente, foi realizada a agitação do tubo manualmente, até homogeneização da farinha (20 a 30 vezes). Após homogeneização a rolha foi removida e com o auxílio do agitador viscosímetro foi feita a raspagem da amostra aderida nas paredes do tubo para dentro da suspensão.

Posteriormente, o tubo viscosímetro com o seu respectivo agitador foi adicionado no compartimento de tubo em aparelho de Falling Number modelo FN 1700 (Peter Instruments, França) (FN 1700 – Perten Instruments, França) (FIGURA 9), pré-aquecido a $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ em um tempo máximo de 30 segundos, sendo a tampa abaixada logo em seguida. O aparelho realizou a medição de forma automática, e logo após a descida do agitador até o final da suspensão, um alarme foi disparado. A tampa do equipamento foi levantada para remoção do tubo e a leitura do valor de falling number feita no visor do aparelho.

Figura 9 – Aparelho Falling Number.



Fonte: Da autora (2023).

4.3.2.3 Cinzas

Para determinação do teor de cinzas, os grãos de trigo foram inicialmente triturados em moedor de trigo, e após foi usada a metodologia conforme método n°. 08-12 (AACC, 2000). Os grãos moídos foram incinerados e calcinados em mufla a 600 °C até peso constante. A análise foi feita em quadruplicata.

4.3.2.4 Proteína bruta

O teor de nitrogênio foi determinado de acordo com o método n° 46-13 – Método de Kjeldahl – da AACC (2000), que compreende digestão da amostra, destilação e titulação do nitrogênio. O fator de correção 5,7 foi utilizado para o cálculo da percentagem de proteína total.

4.3.3 Moagem experimental dos grãos de trigo

4.3.3.1 Limpeza e condicionamento

Para realização da moagem experimental foi realizada previamente a limpeza do trigo, através de peneiramento. A determinação de umidade do grão de trigo segundo método 44-15 da AACC (2000) para se calcular a quantidade de água a ser adicionada no condicionamento dos grãos até a umidade final de 15,5% ± 0,5%, com posterior homogeneização e descanso por 18 horas. A quantidade de água a ser adicionada foi determinada conforme o seguinte cálculo (1):

$$AC = \frac{(100 - UO(\%) - 1) \times PA(g)}{100 - UD(\%)} \quad (1)$$

Onde:

AC = água a ser adicionada; UO = umidade original; PA = peso da amostra; UD = umidade desejada.

4.3.3.2 Moagem

Após o descanso do trigo, realizou-se a pesagem de 10 kg de amostra umidificada em balança eletrônica MFI-6/1(Filizola, Brasil), e esta foi triturada em moinho experimental (Chopin, França) (FIGURA 10). A moagem dos grãos iniciou-se alimentando a seção de

trituração, da qual se obteve as seguintes frações: farelo fino e farinha de rotura. O farelo fino obtido foi passado na seção de redução duas vezes, da qual se obteve as frações farinha de redução e farelo fino. A farinha de redução foi misturada com a farinha de rotura para o cálculo de extração e posterior realização das análises (AACC, 2000).

A farinha obtida foi armazenada em sacos de polietileno a temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. As análises foram realizadas na farinha após 12 horas da moagem.

Figura 10 – Moinho experimental Chopin.



Fonte: Da autora (2023).

4.3.4 Avaliação das características físico-químicas da farinha de trigo

4.3.4.1 Extração

O percentual de extração da moagem experimental foi obtido a partir do seguinte cálculo (2):

$$EX (\%) = \frac{(FRO + FRE)}{PGM} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

EX = extração; FRO = farinha de rotura; FRE = farinha de redução; PGM = peso dos grãos moídos.

4.3.4.2 Cinzas

Para determinação do teor de cinzas da farinha em quadruplicata foi o método n°. 08-12 (AACC, 2000), onde a farinha foi incinerada e calcinada em mufla a 600 °C até peso constante.

4.3.4.3 Umidade

O teor de umidade dos grãos foi determinado de acordo com o acordo com método n°. 110/1 do ICC (2003) em quadruplicata. A análise foi realizada em estufa de circulação de ar (modelo SSDcr 30L, SolidEsteet, Brasil) por 1h30 a 130C°.

4.3.4.4 Número de queda (FN)

O número de queda foi determinado em aparelho de Falling Number modelo FN 1700 (Peter Instruments, França) (FN 1700 – Perten Instruments, França), de acordo com o método 56-81 B da AACC (2000). A análise foi realizada conforme procedimento descrito no item 4.3.2.2, porém com a farinha.

4.3.4.5 Glúten úmido

A determinação de glúten úmido foi feita em quadruplicata utilizando-se o método 38-12 da AACC (2000), onde foram pesadas 10 g de amostra usando balança analítica modelo PA214P (Ohaus, Alemanha). Após a determinação, foi realizada a análise no aparelho Glutomatic GM 2200 (Glutomatic, França) (Figura 11). O valor de glúten úmido foi obtido por meio do seguinte cálculo (3):

$$GU (\%) = \frac{PG \times 860}{100 - U (\%)} \quad (3)$$

Onde:

GU = glúten úmido; PG = peso do glúten; U = umidade.

Figura 11 – Equipamento de determinação de glúten - Glutomatic.



Fonte: Da autora (2023).

4.3.4.6 Coloração da farinha

A cor das farinhas foi avaliada em quadruplicata em aparelho colorímetro CR-400/410 (Konica Minolta, Japão), segundo Kim e Flores, (1999) pelo sistema Commission Internationale de l'Éclairage (CIE). O aparelho foi calibrado com o padrão fornecido pelo fabricante e ajustado para medir as coordenadas L^* , a^* e b^* . A coordenada L^* indica a medida de claridade, cuja escala varia de 0 para totalmente preto, até 100 para totalmente branco; a coordenada a^* varia de +60 (vermelho) a -60 (verde) e a coordenada b^* varia de +60 (amarelo) a -60 (azul).

4.3.5 Avaliação das características reológicas da farinha de trigo

4.3.5.1 Farinografia

A análise de farinografia foi realizada em quadruplicata, pelo método n. 54-21 da AACC (2000). O farinograma da amostra de farinha foi realizado utilizando o aparelho farinógrafo Branbender T150/KUE (Brabender, Alemanha) (FIGURA 12). Foi realizada uma primeira análise, a fim de obter o correto índice de absorção de água. Após, foi utilizada a correção indicada pelo software e após 20 min foi finalizada a análise e foi gerado o gráfico com os resultados de absorção de água, tempo de desenvolvimento, estabilidade e índice de tolerância à mistura (ITM).

Figura 12 – Farinografo Brabender.



Fonte: Da autora (2023).

4.3.5.2 Extensografia

A análise de extensografia foi realizada em quadruplicata, pelo método n. 54-10 da AACC (2000), que registra a curva de carga de extensão em que a massa teste se estende até o seu rompimento. Inicialmente foi feito o preparo da massa no equipamento farinógrafo Branbender T150/KUE (Brabender, Alemanha) (FIGURA 9), e posteriormente a análise foi conduzida utilizando o aparelho extensógrafo Brabender GMBH (Brabender, Alemanha) (FIGURA 13). As leituras foram realizadas em 45, 90 e 135 minutos para obtenção dos parâmetros resistência à extensão (elasticidade) (R), resistência máxima (RM) e extensibilidade da massa (EX).

Figura 13 – Extensógrafo Brabender.



Fonte: Da autora (2023).

4.3.5.3 Alveografia

A análise de alveografia foi realizada em quadruplicata, pelo método n. 54-30A da AACC (2000). Para realização da análise foi utilizado o equipamento alveógrafo Alveolink NG (, França) (FIGURA 14).

A partir da curva gerada, foram obtidos os seguintes atributos: I) força de glúten - W (x10-4 Joules), o qual representa o trabalho mecânico para expandir a massa até a sua ruptura, II) tenacidade - P (mm), a qual mede a pressão máxima exercida na expansão da massa, sendo associada à capacidade que a farinha apresenta de absorver água e, III) extensibilidade - L (mm), que mede o comprimento da curva do alveógrafo, demonstra a capacidade de a massa esticar e é um indicativo do volume do pão, e IV) tenacidade/ extensibilidade - P/L (adimensional), que traduz a configuração e o equilíbrio do alveograma.

Figura 14 – Alveógrafo modelo Alveolink NG.



Fonte: Da autora (2021)

4.3.6 Avaliação das características tecnológicas e sensoriais dos pães franceses

4.3.6.1 Produção dos pães franceses

Os pães franceses foram elaborados com a farinha de trigo proveniente de cada cultivar estudada, em quadruplicata. Os pães franceses foram elaborados na padaria experimental conforme procedimento interno da empresa JMacedo S/A, utilizando os ingredientes apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Formulação dos pães franceses obtidos das farinhas das oito cultivares de trigo de Boa Esperança e Cambuquira.

Ingredientes	Quantidade (g)	Formulação do padeiro (“baker”) (%)
Farinha de trigo	2.000	
Sal	40	2
Água gelada e gelo	1.100 – 1.160	55 - 58
Fermento biológico	20	2

Fonte: CORP-ET-PA-P&D-000059 (2021).

Inicialmente todos os ingredientes foram pesados em balança Toledo modelo 3400/3 (Toledo, Brasil), seguido de adição dos ingredientes secos na masseira industrial Prática Technipan modelo AE25 (Technipan, Brasil) (FIGURA 15). Após um minuto de mistura na velocidade baixa, foi adicionado a água aos poucos. A massa foi batida por cinco minutos na primeira velocidade, passando logo após para a segunda velocidade até a conclusão do batimento. A massa foi misturada até a formação do ponto de véu (FIGURA 16).

Figura 15 – Ingredientes secos dos pães franceses na masseira.



Fonte: Da autora (2023).

Figura 16 – Ponto de véu da massa.



Fonte: Prática (2023).

A massa foi retirada da masseira e disposta sobre mesa transportadora de aço inox lubrificada com óleo, onde foi realizada a medição da temperatura da massa usando termômetro culinário digital espeto *Clink*. Após a massa ser pesada em balança eletrônica (Toledo modelo

3400/3) e separada em pedaços de, aproximadamente, 1,5 kg, foi levada, em seguida, para a divisora. A massa foi dividida em prensa divisora Perfecta (FIGURA 17), e modelada posteriormente em modeladora Paniz MPS 250 (Paniz, Brasil) (FIGURA 18). Os pães modelados foram dispostos na assadeira e colocados na câmara de fermentação Prática, CFCK20 (Prática, Brasil), a uma temperatura de aproximadamente 31 °C, para fermentar por um período de, aproximadamente, quatro horas (FIGURA 19).

Figura 17 – Divisão da massa dos pães franceses em prensa divisora.



Fonte: Da autora (2023).

Figura 18 – Modelagem da massa dos pães franceses.



Fonte: Da autora (2023).

Figura 19 – Pães franceses em câmara de fermentação.



Fonte: Da autora (2023).

Antes da etapa de forneamento, alguns parâmetros relativos à tolerância a fermentação dos pães, foram avaliados: aumento de volume (por meio da medição utilizando paquímetro), resistência ao corte e sensação de maciez ao toque (percebida ao se realizar o corte com lâmina).

Logo após, foi feito o corte da pestana em cada pão com uma lâmina de aço inoxidável. Antes do assamento, o forno foi ligado para pré-aquecer a 175 °C e foi injetado vapor no forno Tedesco TURBO FTT 150E (Tedesco, Estados Unidos). Posteriormente, os pães foram colocados para assar por 16 minutos. Após o assamento, os pães franceses foram retirados do forno e resfriados até temperatura ambiente ($\pm 25^{\circ}\text{C}$) para posterior realização das análises.

4.3.6.2 Avaliação da massa

A avaliação da massa dos pães foi realizada conforme procedimento interno da empresa (CORP-ET-PA-P&D-000059, 2021) em cada formulação, por meio do acompanhamento dos seguintes atributos: absorção de água, tempo de desenvolvimento, tolerância à fermentação, tempo de fermentação, temperatura ambiente, temperatura da água e temperatura da massa.

4.3.6.3 Volume específico

Para determinação do volume específico dos pães, foi utilizado o método de deslocamento das sementes de painço em medidor de volume Vondel MVP 1300I (Vondel,

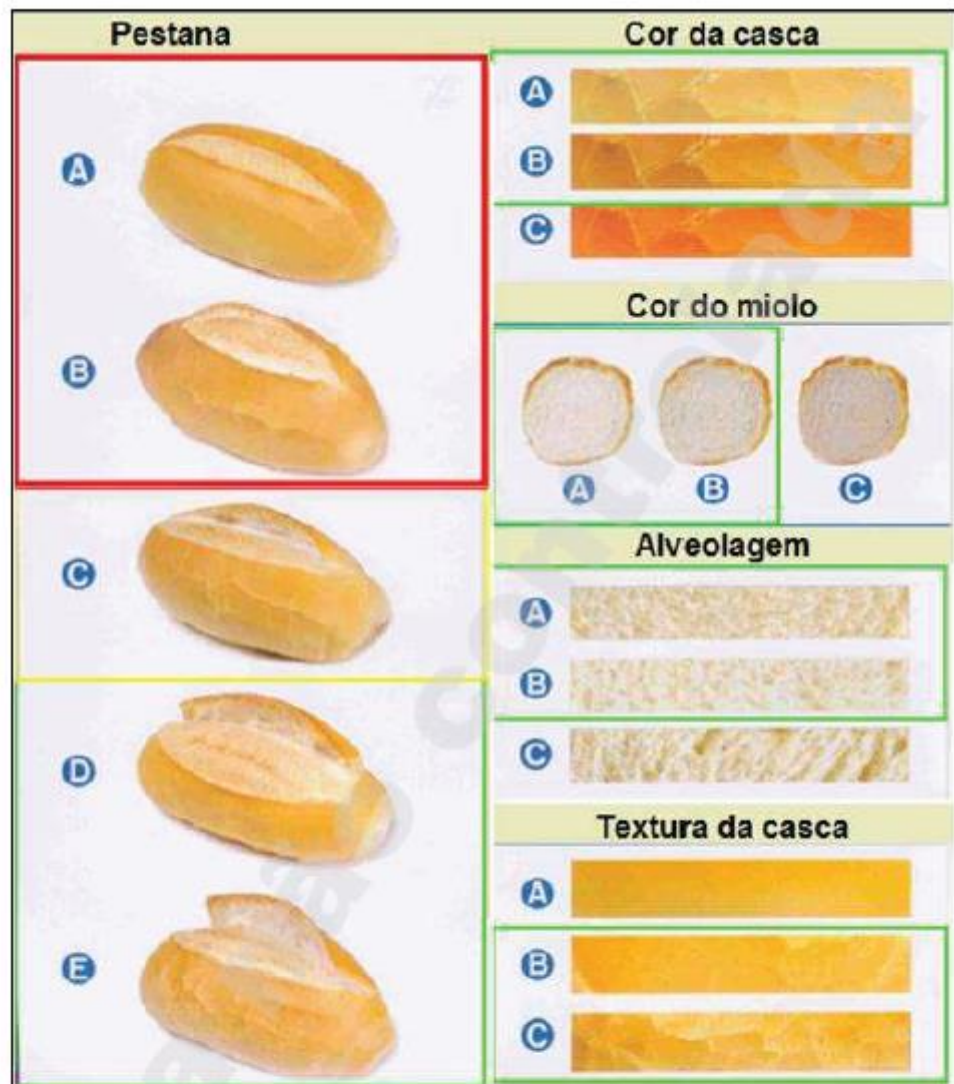
Brasil), conforme método n. 10-05 da AACCC (2000). O volume específico foi calculado pela relação volume/peso ($\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$).

4.3.6.4 Avaliação sensorial

A avaliação sensorial dos pães produzidos foi realizada conforme procedimento interno da empresa (CORP-ET-PA-P&D-000059), com 75 provadores não treinados, com idade entre 24 e 60 anos, de ambos os sexos. Os itens sensoriais pestana, coloração da casca, textura da casca, coloração do miolo, alveolagem do miolo, lastro e relaxamento, salto do forno, sabor e aroma foram avaliados de acordo com tabela de avaliação da empresa (FIGURA 20).

Figura 20 – Tabela de avaliação das características sensoriais dos pães franceses.

Tabela de classificação – Aspecto do pão



LEGENDA		
Pestana	Cor da Casca	Textura da casca
● Aprovado letra D até E	● Aprovado letra B até A	● Aprovado letra C até B
● Aprovado com restrição letra C	● Reprovado letra C	● Reprovado letra A
● Reprovado letra A e B		
Cor do miolo	Sabor e aroma	Alveolagem
● Aprovado letra B até A	● Aprovado letra A	● Aprovado letra A até B
● Reprovado letra C	● Reprovado letra B	● Reprovado letra C

Fonte: CORP-ET-PA-P&D-000059 (2021).

4.3.6.5 Índice de qualidade

O índice de qualidade dos pães foi obtido por meio das notas obtidas na avaliação da massa, no volume específico e na avaliação sensorial, de acordo com tabela apresentada na Figura 21.

Figura 21 – Parâmetros e notas atribuídas para obtenção do índice de qualidade dos pães franceses.

Parâmetros e Notas Atribuídas para Farinhas e Mistura Pão Francês, Reforçador e Fermentos Massa Doce	Pontuação Máxima Para o IQ (Pesos)
Absorção / Rendimento	20
Min 58% Absorção para Curta	
Min 51% Absorção para Longa Fermentação	
Min 51% Absorção para Longa Fermentação estressada	5
Tempo de mistura ou desenvolvimento (2ª velocidade)	
Tempo Padrão (4 a 7 min) - Curta Fermentação	
Tempo Padrão (8 a 12min) - Longa Fermentação e Longa Fermentação estressada	6
Tolerância à fermentação	
Padrão (firme)	
Média (característica de "esponja", não deforma com toque)	15
Baixa (deforma com toque)	
Volume cm³/g	
Depende de cada produto e tempo de fermentação. Ex.: Para curta min. de 10 para DB Profissional, 9 Reserva Especial. Para Longa min. De 8,5 para DB Profissional, 8,0 para Reserva Especial, para Reforçador min 8,0	10
Pestana	
Ótima abertura, com o corte bem aberto, não grosseiro (D)	
Boa abertura, com corte muito aberto, mantendo a estrutura (E)	5
Abertura regular, com corte um pouco aberto (C)	
Abertura forçada, com suave abertura no corte (B)	
Sem abertura e com leve marca do corte (A)	9
Coloração da casca	
Cor dourada, uniforme e com brilho (B)	
Cor creme e com pouco brilho (A)	7
Cor branca e sem brilho (C)	
Coloração do miolo	
Cor claro e sem pigmentos (A)	8
Cor creme ou cinza (B)	
Cor escura ou cinza bem escuro (C)	
Alveolagem do miolo	10
Alvéolos bem uniformes, miolo com ausência de túneis (A)	
Alvéolos pouco uniformes com presença de poucos túneis (B)	
Alvéolos desuniformes com presença de maior quantidade (C)	5
Textura da casca	
Com quebras e bem uniformes (C)	
Com pouca quebra (B)	10
Sem quebras e crosta lisa (A)	
Lastro e Relaxamento	
Lastro Arredondado, sem sinas de relaxamento, Altura do salto de forno mantida (A)	5
Pequeno Relaxamento mas sem visualização de dobras na lateral do pão e Lastro levemente arredondado (B)	
Lastro rente a superfície onde foi assado, Diâmetro desproporcional a altura do pão, Chinelado (C)	
Sabor e Aroma	5
Sabor agradável e característico (Característico)	
Aroma ou sabor levemente alterado (Não característico)	

Fonte: CORP-ET-PA-P&D-000059 (2021).

4.4 Análise estatística

Para análise dos dados, foi adotado o delineamento inteiramente casualizado (DIC), sendo cada tratamento composto por quatro repetições. Os dados foram avaliados usando o programa Sisvar versão 5.6. (FERREIRA, 2008), abrangendo a análise de variância (ANOVA) e comparação de médias pelo teste de scott knott ($p \leq 0,05$). Para determinar as características de qualidade das cultivares a partir dos resultados de reologia da farinha e das avaliações dos pães franceses, foram realizadas a análise de componentes principais (PCA) utilizando o programa STATISTICA 10 (STATSOFT, 2010).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização física dos grãos de trigo

A Tabela 5 apresenta os resultados de peso hectolitro (PH) dos grãos de trigo. Para os cultivos de Boa Esperança, o valor de PH variou de 79,7 a 83,7 (kg hL⁻¹), enquanto as cultivares de Cambuquira demonstraram valores entre 78,9 e 81,5 (kg.hL⁻¹). Esses resultados indicam que os trigos obtidos apresentam boa qualidade industrial, visto que, para indústria moageira grãos com PH abaixo de 78 são vistos com qualidade inferior e, para a legislação de trigo (Brasil, 2010), isoladamente, valores de PH iguais ou superiores a 78, classificam o trigo como Tipo 1.

Os valores encontrados estão acima dos relatados por Zúniga et al. (2023), que estudaram o PH dos genótipos INIA 419 e INIA 440, cultivadas em três locais diferentes e em duas safras, e obtiveram resultados que variaram de 75,60 a 80,40 (kg/hl).

Tanto os trigos cultivados em Boa Esperança, como em Cambuquira demonstraram maiores valores de PH para as cultivares BRS 404 e TBIO ATON. Os resultados mais elevados de PH para essas cultivares, podem ser explicados pela indicação prévia destas ao cultivo em ambiente de sequeiro (BIOTRIGO, 2023; EMBRAPA, 2023).

As cultivares BRS 404 e TBIO ATON foram também as únicas que apresentaram diferenças entre os locais de cultivo, evidenciando um melhor resultado para o plantio em Boa Esperança. Essas diferenças evidenciadas entre as cultivares, podem estar ligadas às condições climáticas, uma vez que em Cambuquira houve menor precipitação durante o plantio que em Boa Esperança, embora em ambos municípios tiveram baixos índices de precipitação. Deve-se levar em consideração também que em Cambuquira houve um grande atraso no plantio do trigo, sendo muito após o indicado pelo Zoneamento Agroclimático (MAPA, 2023).

A Tabela 5 traz os resultados do Índice de matérias estranhas e impurezas (ME) do grão de trigo. Tanto no plantio em Boa Esperança, como em Cambuquira a Cultivar TBIO SINTONIA apresentou o maior o valor de ME, com valores de 0,19 e 3,29% respectivamente.

Em Cambuquira, o valor obtido para essa cultivar está acima do nível tolerado pela legislação, para trigos do tipo I, que é de 1% (BRASIL, 2010). Esse resultado indica uma qualidade inferior para processamento industrial dessa cultivar, visto que, quanto maior o índice de impureza, mais tempo e recursos a indústria precisará dispor para processamento de uma farinha com maior pureza e de maior qualidade (GUARIENTI, 1996). Por outro lado, o restante dos resultados reflete em uma boa qualidade dos grãos obtidos, estando todos abaixo de 1% de ME.

Tabela 5 – Valores médios¹ ± desvios-padrão dos parâmetros físicos dos grãos de trigo das oito cultivares de trigo cultivados em Boa Esperança e Cambuquira.

CULTIVARES ²	PH (kg hL ⁻¹)		ME (%)		PMG (g)		ID	
	Boa Esperança ³	Cambuquira ³	Boa Esperança ³	Cambuquira ³	Boa Esperança ³	Cambuquira ³	Boa Esperança ³	Cambuquira ³
BRS 264	80,6 ^{bA} ± 0,82	79,7 ^{bA} ± 1,39	0,08 ^{bA} ± 0,08	0,04 ^{bA} ± 0,03	37,9 ^{bA} ± 1,09	37,2 ^{aA} ± 3,35	87,5 ^{cA} ± 9,96	92,5 ^{aA} ± 3,31
TBIO SINTONIA	79,7 ^{bA} ± 0,39	79,6 ^{bA} ± 0,56	3,29 ^{aA} ± 0,64	0,19 ^{aB} ± 0,21	32,2 ^{cA} ± 0,4	32,9 ^{bA} ± 0,49	97,5 ^{aA} ± 5,07	87,5 ^{aB} ± 9,81
ORS 1403	80,4 ^{bA} ± 1,11	80,1 ^{bA} ± 2,19	0,48 ^{bA} ± 0,33	0,01 ^{bA} ± 0,006	32,8 ^{cA} ± 1,15	33,1 ^{bB} ± 0,65	87,5 ^{cA} ± 4,65	92,5 ^{aA} ± 8,81
BRS 404	83,7 ^{aA} ± 0,26	81,5 ^{aB} ± 0,85	0,17 ^{bA} ± 0,19	0,03 ^{bA} ± 0,03	37,6 ^{bA} ± 1,68	36,5 ^{aB} ± 0,37	92,5 ^{bA} ± 3,87	92,5 ^{aA} ± 3,79
TBIO ATON	82,7 ^{aA} ± 0,24	81,02 ^{aB} ± 0,89	0,1 ^{bA} ± 0	0,06 ^{bA} ± 0,07	36,2 ^{bA} ± 0,4	36,5 ^{aA} ± 0,38	97,5 ^{aA} ± 3,87	92,5 ^{aB} ± 3,11
ORS DESTAK	81,7 ^{bA} ± 0,56	79,85 ^{bA} ± 1,67	0,44 ^{bA} ± 0,19	0,04 ^{bB} ± 0,04	34,2 ^{cA} ± 2,09	34,7 ^{bA} ± 2,0	97,5 ^{aA} ± 2,89	95 ^{aA} ± 1,63
BRS 394	80,25 ^{bA} ± 1,69	78,9 ^{bA} ± 0,57	0,08 ^{bA} ± 0,07	0,06 ^{bA} ± 0,04	39,4 ^{aA} ± 0,95	36,3 ^{aB} ± 2,0	92,5 ^{bA} ± 3,42	75 ^{bB} ± 12,06
TBIO DUQUE	81,25 ^{bA} ± 1,59	79,57 ^{bA} ± 0,51	0,18 ^{bA} ± 0,07	0,035 ^{bA} ± 0,04	33,3 ^{cA} ± 1,05	33,5 ^{bA} ± 0,63	75 ^{dA} ± 4,08	77,5 ^{bA} ± 4,50

¹Valores médios ± desvio padrão de 4 repetições.

²Valores com letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as cultivares no mesmo local de cultivo.

³Valores com letras maiúsculas diferentes apresentam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os locais de plantio para cada cultivar.

PH: Peso Hectolitro; ME: Matérias estranhas e impurezas; PMG: Peso de mil grãos; ID: Índice de dureza.

Fonte: Da autora (2023).

Houve diferença significativa entre os plantios tanto para cultivar TBIO SINTONIA, como para a ORS DESTAK, demonstrando um maior índice de ME para os trigos cultivados em Boa Esperança, nas duas cultivares. Essa diferença entre cultivares e local de cultivo, pode ser explicada por fatores ligados à colheita, ou mesmo pelo beneficiamento desse grão, que resultou em uma limpeza menos eficiente.

Os valores de peso de mil grãos dos cultivos em Boa Esperança variaram de 32,2 a 39,4 g, enquanto os de Cambuquira variaram de 32,9 a 37,2 g, conforme é mostrado na Tabela 5. Esses resultados indicam que os grãos de trigo obtidos dessas cultivares são pequenos ou médios, uma vez que, grãos pequenos apresentam tamanho entre 26 e 35g, enquanto grãos médios demonstram valores entre 36 e 45 g (WILLIAMS et al., 1988).

Grãos de tamanho médio são de interesse da indústria moageira, pois trigos de tamanho excessivo, prejudicam o processo industrial, causando perdas devido às dificuldades de regulação dos equipamentos de limpeza e moagem, por outro lado, grãos médios possuem facilidade em passar pelas peneiras de limpeza, bem como, pode apresentar melhor inclinação ao processo de trituração nos rolos de moagem (GUARIENTI, 1996).

Segundo Guarienti et al. (2003), a obtenção de grãos pequenos pode estar relacionada às condições climáticas sofridas no campo, como baixa umidade relativa do ar e excesso hídrico do solo, dessa forma, a obtenção de grãos menores no plantio em Cambuquira obtidas para as cultivares ORS 1403, BRS 404 e BRS 394, podem ser explicadas pela precipitação que ocorreu durante o cultivo nessa região.

A cultivar BRS 394 apresentou os maiores valores de PMG em Boa Esperança, por outro lado, no plantio em Cambuquira, demonstrou valores semelhantes às cultivares BRS 264, BRS 404 e TBIO ATON. Essas diferenças entre os locais de cultivo, podem estar ligadas a uma melhor adaptação ao solo e clima da região, por parte das cultivares.

Os resultados de PMG encontrados neste estudo são superiores aos relatados em outros estudos, para variedades de trigo (GUTKOSKI et al., 2008; KIBAR, 2015).

O índice de dureza dos grãos de trigo é apresentado na Tabela 5. Para o plantio em Boa Esperança, as cultivares apresentaram índice de dureza que variaram de 97,5 a 75, sendo o teor de dureza mais baixo, o da cultivar TBIO DUQUE. Esses resultados indicam a obtenção de grãos extra duros, muito duros e duros (AACCC,2000).

Para os resultados de Cambuquira o índice de dureza variou de 95 a 75. Assim como no plantio em Boa Esperança, a cultivar TBIO DUQUE apresentou o menor índice de dureza dentre as amostras, porém, na avaliação de Cambuquira, a cultivar BRS 394 também

demonstrou teor de dureza do grão semelhante a TBIO DUQUE, com um índice de 75, sendo desta forma, classificado como trigo duro.

Os resultados de ID das cultivares de trigo indicam que mesmo as cultivares com menores valores, apresentam boa qualidade para a indústria de panificação, uma vez que, grãos de trigo mais duros geralmente apresentam maior teor de proteínas e produzem farinhas com maior força de glúten, indicadas para produção de produtos de panificação mais nobres (GUARIENTI, 1996; GOLEA; CODINĂ; OROIAN, 2023; KALINIEWICZ, MARKOWSKA-MENDIK, WARECHOWSKA, 2023).

Segundo Guariente (1996), do ponto de vista químico, os trigos duros originam farinhas com alto poder de absorção de água (desejável para a panificação) e com teor de proteína superior ao do trigo mole. Dessa forma, os trigos duros são mais indicados para a fabricação de pães e macarrão, e os trigos moles, para bolachas e bolos.

Kaliniewicz, Markowska-mendik e Warechowska (2023), ao estudarem 12 cultivares de trigo encontram índice de dureza que variaram de 40 a 86, classificando a maioria dos genótipos como semi-moles, semi-duros e duros, sendo que apenas duas cultivares apresentaram textura muito dura. Já Boehm Jr et al. (2018), ao avaliarem a textura das linhagens ND2603 e Butte86, encontraram resultados de 61,6 e 63,4, indicando que os trigos estudados possuíam textura semi-dura, demonstrando resultados inferiores ao encontrado neste estudo.

A influência do local de plantio para os resultados de dureza foi evidenciada nas cultivares TBIO SINTONIA, TBIO ATON e BRS 394, demonstrando a obtenção de grãos de trigo com maior dureza, no plantio em Boa Esperança, para as três cultivares. Como já mencionado anteriormente, essas diferenças entre os locais de cultivos podem ser explicadas por fatores como condições climáticas durante o plantio, como a precipitação que ocorreu em Cambuquira no período, ou mesmo, devido a um melhor desenvolvimento dos grãos em Boa Esperança com a formulação de NKP adicionada, quando comparada a formulação de NKP no plantio em Cambuquira.

5.2 Caracterização físico-química dos grãos de trigo

A Tabela 6 mostra o teor de umidade dos grãos de trigo. As cultivares estudadas não diferiram significativamente, independente do cultivar avaliado ou local de cultivo, além disso, apresentaram valores abaixo do limite estabelecido pela legislação, que é de 13% (BRASIL, 2010). Os baixos teores de umidade do grão de trigo, indicam bons resultados, pois reduzem a chance de deterioração dos grãos durante o armazenamento e perda de qualidade, bem como, a

diminuição da possibilidade de proliferação de microrganismos danosos a saúde do consumidor (BHARATHI; JIAN; JAYAS, 2023).

Kaliniewicz, Markowska-mendik e Warechowska (2023) ao estudarem 12 cultivares de trigo, encontraram teores de umidade que variaram de 12,4% a 13,4%, sendo considerada pelos autores, uma boa umidade para armazenamento das cultivares avaliadas, e estando acima dos teores de umidade encontrados neste trabalho. Já Perišić et al. (2018), detectaram valores de umidade que variaram de 11,8% a 14,2% para algumas variedades de trigo, demonstrando resultados de umidade mais elevada aos encontrados neste estudo.

Todas as cultivares apresentaram resultado de Número de Queda (FN) acima de 220 segundos, indicando baixa atividade enzimática, como é mostrado na Tabela 6. Esses resultados indicam, a obtenção de grãos de trigo com qualidade acima do mínimo exigido, para elaboração de produtos como pães e massas alimentícias (PERTEN 1964; MIRANDA; DEMORI; LORINI, 2005).

Os resultados de FN desse estudo estão acima dos relatados por Kibar (2015), que detectou valores de FN que variaram de 220 a 310 s. Por outro lado, Costa (2013), relatou resultados de FN acima dos encontrados neste trabalho para linhagens de trigo, com valores que variaram de 466 a 700 s, porém, valores muito elevados de FN não são benéficos para elaboração de alguns produtos, podendo prejudicar a estrutura da massa obtida.

As cultivares BRS 394 e TBIO DUQUE apresentaram menores valores de FN, tanto no cultivo em Boa Esperança, como em Cambuquira. Além disso, o local de plantio teve grande influência nos resultados, uma vez que, a maioria das cultivares demonstrou maiores valores de FN para os grãos cultivados em Cambuquira, podendo essas diferenças estarem ligadas a fatores ambientais das regiões (VAN EEDEN; LABUSCHAGNE, 2012; SHAO et al., 2019), especialmente quando se leva em consideração que o plantio em Boa Esperança, ocorreu em época tardia ao que é preconizado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (BRASIL, 2021) e em Boa Esperança não houve adubação de cobertura.

Os resultados de cinzas das cultivares são apresentados na Tabela 6. As cultivares de Boa Esperança, apresentaram teores de cinza que variaram de 1,59% a 1,91%. Por outro lado, para o plantio em Cambuquira os valores de cinzas variaram de 1,47 % a 2,01%. Além disso, somente as cultivares BRS 404 e BRS 394 apresentaram diferenças no teor de cinzas quando comparados os resultados dos dois locais de cultivo.

Tabela 6 – Valores médios¹ ± desvios-padrão dos parâmetros físico-químicos dos grãos de trigo das oito cultivares de trigo cultivados em Boa Esperança e Cambuquira.

CULTIVARES ²	UMIDADE BS (%)		FN (seg)		CINZAS BS (%)		PROTEÍNAS BS (%)	
	Boa		Boa		Boa		Boa	
	Esperança ³	Cambuquira ³	Esperança ³	Cambuquira ³	Esperança ³	Cambuquira ³	Esperança ³	Cambuquira ³
BRS 264	10,6 ^{aA} ± 0,42	10,2 ^{aA} ± 0,28	414,2 ^{aA} ± 24	414,5 ^{bA} ± 20,4	1,59 ^{cA} ± 0,11	1,48 ^{cA} ± 0,19	13 ^{aB} ± 0,15	14,02 ^{aA} ± 0,04
TBIO SINTONIA	11,1 ^{aA} ± 0,29	11,1 ^{aA} ± 1,41	409 ^{aA} ± 18,7	412,5 ^{bA} ± 17,9	1,71 ^{cA} ± 0,11	1,61 ^{cA} ± 0,16	12,4 ^{bB} ± 0,77	13,48 ^{bA} ± 0,63
ORS 1403	10,3 ^{aA} ± 0,34	10,6 ^{aA} ± 0,37	411 ^{aB} ± 9,06	520,5 ^{aA} ± 20	1,65 ^{cA} ± 0,05	1,74 ^{bA} ± 0,15	12,22 ^{bB} ± 0,16	13,88 ^{aA} ± 0,07
BRS 404	11,4 ^{aA} ± 0,24	10,7 ^{aA} ± 1,33	424 ^{aA} ± 6,27	430 ^{bA} ± 19,3	1,65 ^{cB} ± 0,13	2,01 ^{aA} ± 0,06	12,39 ^{bB} ± 0,05	13,95 ^{aA} ± 0,08
TBIO ATON	11,3 ^{aA} ± 0,24	11,0 ^{aA} ± 0,56	489,5 ^{aB} ± 18,6	517,5 ^{aA} ± 28,4	1,74 ^{bA} ± 0,09	1,69 ^{bA} ± 0,05	12,82 ^{aB} ± 0,22	13,97 ^{aA} ± 0,08
ORS DESTAK	10,7 ^{aA} ± 0,65	10,9 ^{aA} ± 1,29	433,5 ^{aB} ± 5,68	494,5 ^{aA} ± 6,35	1,77 ^{bA} ± 0,09	1,76 ^{bA} ± 0,24	13,13 ^{aB} ± 0,32	14,38 ^{aA} ± 0,58
BRS 394	11,4 ^{aA} ± 1,29	11,3 ^{aA} ± 0,62	359,5 ^{bB} ± 4,12	405 ^{cA} ± 20,6	1,61 ^{cA} ± 0,07	1,47 ^{cB} ± 0,11	12,92 ^{aA} ± 0,09	13,11 ^{bA} ± 0,31
TBIO DUQUE	11,1 ^{aA} ± 0,26	10,9 ^{aA} ± 0,54	374,5 ^{bB} ± 11,7	394,5 ^{cA} ± 13,2	1,91 ^{aA} ± 0,10	1,84 ^{bA} ± 0,10	13,42 ^{aA} ± 0,17	13,88 ^{aA} ± 0,26

¹Valores médios ± desvio padrão de 4 repetições.

²Valores com letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as cultivares no mesmo local de cultivo.

³Valores com letras maiúsculas diferentes apresentam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os locais de plantio para cada cultivar.

FN: Número de Queda; BS: Base seca.

Fonte: Da autora (2023).

Em Boa Esperança a cultivar TBIO DUQUE apresentou o maior teor de cinzas com um valor de 1,91%, enquanto em Cambuquira esse comportamento foi evidenciado para a cultivar BRS 404, com resultado de 2,01%.

Os resultados acima mencionados, indicam que os grãos de trigo da cultivar BRS 404 cultivada em Cambuquira, podem apresentar um menor rendimento da farinha e uma maior extração com presença de farelo o que pode afetar negativamente nas características das massas obtidas (GUARIENTE, 1996; MERAH et al., 2001; KALINIEWICZ; MARKOWSKA-MENDIK; WARECHOWSKA, 2023).

Os menores valores de cinzas da maioria dos cultivares são interessantes para seu processamento industrial, indicando uma boa possibilidade de rendimento da farinha obtida. Resultados semelhantes foram relatados por Kaliniewicz, Markowska-mendik e Warechowska (2023), que encontraram valores de cinzas em cultivares de trigo, que variaram de 1,55 % a 2,01 %. Já Tokatlidis et al. (2004), detectaram valores de cinzas mais elevados que os encontrados neste estudo, ao avaliarem diferentes linhagens de trigos, os valores variaram de 1,92% a 2,39%.

Para Kaliniewicz, Markowska-mendik e Warechowska (2023), o grão com baixo teor de cinzas possui características de moagem mais desejáveis, pois pode ser utilizado na produção de farinha de cor clara para a indústria de panificação e confeitaria. Por sua vez, a farinha de grão de trigo com alto teor de cinzas é mais abundante em elementos minerais; tem alto valor nutricional, sendo mais adequado para a produção de pão de centeio e integral.

Os resultados de proteínas das cultivares obtidas em Boa Esperança, variaram de 12,22% a 13,42%, enquanto os resultados do plantio em Cambuquira demonstraram valores entre 13,11% e 14,38%, conforme mostra a Tabela 6. Por meio destes resultados é possível afirmar, que as cultivares obtidas do plantio em Boa Esperança apresentam teor de proteínas médio (11,6 – 13,5%), enquanto os cultivos de Cambuquira demonstram valor de proteína médio (11,6 – 13,5%) e alto (13,6 – 15,5%), predizendo que as farinhas obtidas a partir dos dois cultivos podem apresentar boa força de glúten, podendo serem bem aplicadas na indústria de panificação (WILLIAMS, 1988).

Kaur, R., Kaur, H. e Srivastava (2022), ao avaliarem 34 cultivares de trigo, encontram teor proteico que variou de 8,80% a 13,88%. Para os autores o teor de proteína da maioria das cultivares testadas no estudo, está dentro da média de conteúdo de proteínas do trigo que é de 12%. Por outro lado, Boehm Jr et al. (2018), encontraram valores de proteínas mais elevados para duas cultivares de trigo, com teores de 14,2% e 14,7%.

Em Boa Esperança as cultivares BRS 264, TBIO ATON, ORS DESTAK, BRS 394 e TBIO DUQUE, apresentaram teores proteicos maiores. Por outro lado, no cultivo em Cambuquira, além dessas cultivares, também foi observado valores mais elevados de proteínas nas cultivares ORS 1403 e BRS 404. Essas cultivares são classificadas por suas empresas obtentoras como trigos das classes pão e melhorador com teor de proteínas médio e alto (BIOTRIGO, 2023; EMBRAPA, 2023).

A partir desses resultados é possível evidenciar que o cultivo realizado neste trabalho não afetou a qualidade dos trigos, no que diz respeito ao teor proteico, mesmo com a colheita tardia em Boa Esperança, com as precipitações em Cambuquira, e com algumas cultivares não possuindo indicação para cultivo em ambiente de cerqueiro.

Quando comparamos o teor proteico dos grãos nos dois locais de plantio, é possível observar que a maioria das cultivares apresentou maior teor de proteínas no cultivo em Cambuquira, sendo essas diferenças explicadas, pelas maiores doses de N aplicadas às culturas no plantio em Cambuquira (TURNBULL; RAHMAN, 2002).

5.3 Avaliação das características físico-químicas da farinha

Os valores de extração das farinhas são mostrados na Tabela 7. As farinhas obtidas do plantio em Boa Esperança demonstraram extração com teor que variou entre 58,21% e 46,30%, sendo que as cultivares BRS 264, TBIO SINTONIA, BRS 394 e TBIO DUQUE apresentaram os maiores níveis de extração, porém ainda estão abaixo dos valores médios indicados comercialmente pelas obtentoras dessas cultivares ($\pm 65\%$) (EMBRAPA, 2023). Por outro lado, as cultivares obtidas do plantio em Cambuquira, não demonstraram diferença nos níveis de extração.

Os resultados relatados acima são inferiores aos encontrados por Gutkoski, et al. (2007), que ao analisarem cultivares da Empraba e OR Sementes obtiveram farinhas com taxas de extração variando entre 65,02% e 69,11%. Já Ribeiro (2009) encontrou teores que variaram de 61,28% e 62,49%, ao realizar a extração de farinha de trigo argentino, um dos trigos de referência mundial em qualidade de panificação.

Os teores de extração mais baixos, relatados nesse estudo podem estar ligados ao maior nível de dureza dos grãos de trigo dessas cultivares (GUARIENTI, 1996). Além disso, as diferenças encontradas neste estudo, quando comparadas a outros trabalhos, podem ser explicadas por outros fatores, como o tipo de trigo, ou o tempo na etapa de condicionamento do grão que afeta o seu percentual de umidificação (RIBEIRO, 2009; SOUZA, 2019).

Tabela 7 – Valores médios¹ ± desvios-padrão dos teores de extração, cinzas e umidade das farinhas obtidas das oito cultivares de trigo cultivadas em Boa Esperança e Cambuquira.

CULTIVARES ²	EXTRAÇÃO (%)		CINZAS BS (%)		UMIDADE BS (%)	
	Boa		Boa		Boa	
	Esperança ³	Cambuquira ³	Esperança ³	Cambuquira ³	Esperança ³	Cambuquira ³
BRS 264	55,75 ^{aA} ± 4,8	51,79 ^{aB} ± 3,97	0,39 ^{bB} ± 0,03	0,44 ^{aA} ± 0,02	15,2 ^{aA} ± 0,24	14,9 ^{aA} ± 0,52
TBIO SINTONIA	58,21 ^{aA} ± 1,21	51,65 ^{aB} ± 1,76	0,45 ^{aB} ± 0,01	0,56 ^{aA} ± 0,06	15,0 ^{aA} ± 0,62	14,6 ^{aA} ± 0,70
ORS 1403	46,30 ^{bA} ± 2,89	46,90 ^{aA} ± 3,15	0,43 ^{aA} ± 0,01	0,48 ^{aA} ± 0,06	15,5 ^{aA} ± 0,39	15,1 ^{aA} ± 0,67
BRS 404	52,03 ^{bA} ± 1,99	52,13 ^{aA} ± 0,94	0,44 ^{aA} ± 0,01	0,47 ^{aA} ± 0,09	15,1 ^{aA} ± 0,24	15,1 ^{aA} ± 0,63
TBIO ATON	51,13 ^{bA} ± 2,37	47,8 ^{aB} ± 0,56	0,38 ^{bB} ± 0,04	0,46 ^{aA} ± 0,03	15,2 ^{aA} ± 0,47	14,7 ^{aA} ± 0,50
ORS DESTAK	48,98 ^{bB} ± 6,12	56,55 ^{aA} ± 4,78	0,44 ^{aB} ± 0,04	0,50 ^{aA} ± 0,01	15,1 ^{aA} ± 0,62	15,15 ^{aA} ± 0,1
BRS 394	56,63 ^{aA} ± 4,23	52,87 ^{aB} ± 2,47	0,46 ^{aA} ± 0,05	0,41 ^{aA} ± 0,01	14,4 ^{bA} ± 0,59	15,2 ^{aA} ± 0,2
TBIO DUQUE	53,89 ^{aA} ± 2,93	52,48 ^{aA} ± 8,09	0,44 ^{aB} ± 0,04	0,52 ^{aA} ± 0,1	14,5 ^{bA} ± 0,41	14,4 ^{aA} ± 0,66

¹Valores médios ± desvio padrão de 4 repetições.

²Valores com letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as cultivares no mesmo local de cultivo.

³Valores com letras maiúsculas diferentes apresentam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os locais de plantio para cada cultivar.

BS: Base seca.

Fonte: Da autora (2023).

As diferenças no percentual de extração das farinhas, de acordo com seu local de cultivo, foram evidenciadas na maioria das amostras, com exceção das cultivares ORS 1403, BRS 404 e TBIO DUQUE. Essas diferenças podem estar ligadas aos parâmetros de PH, PGM e ID dos grãos, que por sua vez, podem afetar o grau de extração da farinha (GUARIENTI, 1996; COSTA, 2013).

Costa (2013), em estudo de 16 cultivares nacionais encontraram taxas de extração com valores entre 58,60 % e 70,71 %, onde percebeu correlação negativa entre a quantidade produzida de farinha de quebra, com o índice de dureza dos diferentes trigos, demonstrando que os grãos moles apresentaram maior rendimento de extração de farinha de quebra e menor percentual de extração. Além disso, percebeu também uma correlação positiva com o PH do grão, evidenciando que as cultivares com maior PH, apresentaram, também, maior rendimento na extração da farinha de trigo.

O menor percentual de extração dessas cultivares pode refletir em um menor teor de cinzas, indicativo de uma menor quantidade de minerais, proteínas, fibra, açúcar e lipídios, podendo se obter a partir dessas cultivares, farinhas com coloração mais clara (VETRIMANI; SUDHA; RAO, 2005).

A Tabela 7 apresenta o teor de cinzas das farinhas. Os resultados mostram que as farinhas apresentaram baixos teores de cinzas, que condizem com os resultados de extração mais baixos. Os resultados encontrados neste estudo, estão abaixo daqueles relatados por Vetricmani, Sudha e Rao (2005), que identificaram teores de cinzas que variaram de 0,52% a 1,32% em farinhas de trigo com diferentes graus de extração.

Menores teores de cinzas são avaliados como negativos do ponto de vista do processo de moagem, pois indicam menor rendimento e extração da farinha, por outro lado, do ponto de vista comercial quanto menor o teor de cinzas, maior a qualidade e valor agregado da farinha, uma vez que, valores elevados de cinzas, indicam alta extração da farinha com o farelo, o que acarretará em farinha mais escura, e com qualidade de massa inferior devido ao enfraquecimento na rede do glúten CARDOSO et al., 2019; LI et al., 2023).

Os resultados de cinzas das cultivares de Boa Esperança demonstram que as farinhas das cultivares BRS 264 e TBION ATON, obtiveram os menores teores de cinzas, enquanto as farinhas obtidas do cultivo em Cambuquira não demonstraram diferenças entre as cultivares. Por outro lado, quando comparamos os resultados dos dois locais de plantios, as farinhas obtidas do plantio em Boa Esperança apresentaram menores teores de cinzas, o que pode estar ligado às diferenças na adubação de base dos grãos durante o plantio, uma vez que, o teor de cinzas

reflete a presença de nutrientes como minerais no interior dos grãos, e as cultivares plantadas em Cambuquira tiveram uma maior aplicação de NPK nas cultivares.

A maioria das cultivares plantadas em Boa Esperança, demonstram uma umidade mais elevada, com exceção apenas das cultivares BRS 394 e TBIO DUQUE, com teores de 14,4% e 14,5% respectivamente, conforme é mostrado na Tabela 7. Já para o plantio de Cambuquira não houve diferença significativa nos resultados de umidade, que variaram de 14,4% a 15,2%. Desta forma, algumas cultivares demonstraram valores de umidades acima do limite estabelecido pela legislação brasileira, que é de 15% (BRASIL, 2022).

Teores elevados de umidade podem afetar de forma negativa o armazenamento e conservação dos produtos, visto que, podem proporcionar o crescimento de microrganismos e é um fator crítico para o crescimento de fungos e produção de micotoxinas (HADARUGA et al., 2016). Os valores encontrados para as cultivares nesse estudo, são inferiores aos relatados por Frakolaki et al. (2018), onde a farinha de trigo apresentou 15,9 % de umidade.

As farinhas obtidas do cultivo em Boa Esperança apresentaram valores de FN que variaram de 371 a 337,5 s, conforme mostrado na Tabela 8. Já para as farinhas obtidas do plantio em Cambuquira, os valores de FDN variaram de 385 a 351,5 s. Esses resultados demonstram uma grande versatilidade do uso dessas farinhas na indústria de panificação, uma vez que o FN ideal está estritamente relacionado ao tipo de produto que será elaborado.

Tabela 8 – Valores médios¹ ± desvios-padrão de número de queda (FN) e teor de glúten úmido das farinhas obtidas das oito cultivares de trigo cultivadas em Boa Esperança e Cambuquira.

CULTIVARES ²	FN (seg)		GLÚTEN (%)	
	Boa Esperança ³	Cambuquira ³	Boa Esperança ³	Cambuquira ³
BRS 264	337,5 ^{bb} ± 7,14	363 ^{ba} ± 8,04	28,6 ^{ba} ± 0,93	29,4 ^{ba} ± 0,85
TBIO SINTONIA	358,5 ^{ab} ± 9,67	370 ^{aa} ± 12,4	28,8 ^{ba} ± 0,98	29,8 ^{ba} ± 2,14
ORS 1403	343,5 ^{bb} ± 8,23	362,5 ^{ba} ± 14,0	26,9 ^{bb} ± 1,02	29,4 ^{ba} ± 0,33
BRS 404	351,5 ^{ba} ± 16,0	351,5 ^{ba} ± 11,81	28,1 ^{ba} ± 0,78	28,6 ^{ba} ± 1,18
TBIO ATON	371 ^{ab} ± 21,3	385 ^{aa} ± 4,55	27,5 ^{ba} ± 0,67	28,8 ^{ba} ± 0,45
ORS DESTAK	366 ^{ab} ± 15,1	376 ^{aa} ± 18,9	28,1 ^{bb} ± 0,65	30,0 ^{ba} ± 1,12
BRS 394	348 ^{bb} ± 9,38	357 ^{ba} ± 5,77	28,1 ^{ba} ± 1,44	28,1 ^{ba} ± 0,56
TBIO DUQUE	340,5 ^{bb} ± 4,5	354,5 ^{ba} ± 7,72	32,1 ^{ab} ± 0,21	33,8 ^{aa} ± 0,36

¹Valores médios ± desvio padrão de 4 repetições.

²Valores com letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as cultivares no mesmo local de cultivo.

³Valores com letras maiúsculas diferentes apresentam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os locais de plantio para cada cultivar.

FN: Número de Queda.

Fonte: Da autora (2023).

Para produção de biscoitos doces e bolos, valores de FN entre 200 e 250 s são aceitos, já para elaboração de pães, valores de FN acima de 280 s são necessários, uma vez que, na elaboração de tais produtos, é desejável que a alfa amilase realize a conversão do amido em açúcares diretamente fermentescíveis, resultando na formação dos compostos que atribuem as características sensoriais desses alimentos, caso contrário, os pães e massas obtidos acabam ficando com estrutura interna indesejável, seca e quebradiça ou úmida e pegajosa (PERTEN, 1967). Por outro lado, para produção de massas alimentícias são exigidos valores de FN mais elevados.

Todas as amostras apresentaram bons resultados de FN, destacando que farinhas com elevados valores de FN são muito requeridas na indústria moageira, para elaboração de mesclas com outras farinhas, a fim de atender a especificação de determinados produtos.

Os resultados encontrados estão abaixo dos valores encontrados por Vetrmani, Sudha e Rao (2005), ao avaliarem farinhas de trigo com diferentes graus de extração, relataram valores que variaram de 393 a 522 s. Valores muito elevados de FN não são benéficos para a elaboração de alguns produtos de panificação, podendo resultar em massas sem a estrutura ideal.

As cultivares TBIO SINTONIA, TBIO ATON e ORS DESTAK, apresentaram os resultados mais elevados, nos dois locais de cultivo, resultado que condiz com o descrito pelas empresas obtentoras de algumas dessas cultivares, que relatam a grande resistência desses trigos a germinação (BIOTRIGO, 2023).

Assim, como no resultado de número de queda dos grãos de trigo, o local de cultivo teve grande influência nos valores de FN da farinha. Apenas a farinha da cultivar BRS 404, apresentou resultados semelhantes de FN, nos dois locais de cultivo. Para o restante das cultivares, o plantio em Cambuquira rendeu farinhas com valores de FN mais altos, sendo que, essa mesma tendência foi observada para o número de queda dos grãos de trigo. Essas diferenças podem estar relacionadas a fatores como precipitação (durante o plantio, houve em Boa Esperança e em Cambuquira não), temperatura, umidade relativa do ar, o excesso hídrico do solo (FRANCESCHI, et al., 2009).

A Tabela 8 mostra os resultados de glúten úmido das farinhas obtidas. Todas as farinhas avaliadas, independente da cultivar ou local de plantio, apresentaram teor de glúten úmido excelente, com valores superiores a 26%. Esses resultados demonstram que as cultivares renderam farinhas com características desejáveis para obtenção de massas de qualidade, além de estarem condizentes com o índice de dureza e conteúdo proteico dos grãos (GOLEA; CODINĂ; OROIAN, 2023).

Golea, Codinã e Oroian (2023), ao estudarem diferentes espécies de trigo, encontraram valores de glúten úmido semelhantes a esse estudo, variando de 28,16% a 31,30%. Por outro lado, Vetrmani, Sudha e Rao (2005) encontraram valor de glúten úmido de 22,9% em farinha de trigo, bem abaixo dos detectados neste trabalho. Essa diferença, pode ser explicada pelo nível de extração mais elevada no estudo em questão, visto que quanto maior a taxa de extração, mais compostos das partes externas do grão são obtidas no produto final junto com o amido e proteína, afetando a quantidade e força do glúten, ou mesmo por características próprias das cultivares avaliadas.

A farinha obtida da cultivar TBIO DUQUE apresentou o maior teor de glúten úmido dentre as variedades estudadas, tanto no cultivo em Boa Esperança, como em Cambuquira. Um elevado teor de glúten úmido para essa cultivar não era esperado, visto que, a TBIO DUQUE costuma se destacar por sua característica como trigo branqueador, e não por qualidade de panificação, demonstrando que os dois plantios em sequeiro, renderam resultados positivos além do esperado para essa cultivar (BIOTRIGO, 2023).

O local de plantio causou influência nos teores de glúten úmido nas farinhas das cultivares ORS 1403, ORS DESTAK e TBIO DUQUE, sendo os resultados de Cambuquira superiores. Assim como nos teores de proteínas dos grãos de trigo, o cultivo em Cambuquira pode ter se sobressaído devido às maiores doses de NKP aplicadas nesse plantio.

Os valores de L^* , a^* e b^* das farinhas são apresentados na Tabela 9.

As farinhas obtidas do plantio em Boa Esperança, apresentaram valores de L^* excelentes, que variaram de 92,57 a 94,3, indicando a presença de farinhas mais claras, que são muito desejadas na elaboração dos produtos de panificação. A obtenção de farinhas mais claras pode estar relacionada às baixas taxas de extração durante o processo de moagem das cultivares, que refletiram também, em um menor percentual de cinzas dos produtos. Valores mais altos de L^* , indicam que esses trigos podem ser utilizados também, como branqueadores, em blends com trigos de menor qualidade, para melhorar a coloração da farinha.

Gutkoski et al. (2008) ao estudarem a coloração dos genótipos BRS 175, FUNDACEP 30, RUBI e FUNDACEP 51, encontraram valores de L^* que variaram de 91,5 a 92,5. Os autores realizaram um estudo de maturação das variedades, onde puderam perceber que a luminosidade das farinhas aumentou com o tempo de maturação do grão.

Tabela 9 – Valores médios¹± desvios-padrão dos parâmetros de coloração das farinhas obtidas das oito cultivares de trigo cultivadas em Boa Esperança e Cambuquira.

CULTIVARES ²	L*		a*		b*	
	Boa Esperança ³	Cambuquira ³	Boa Esperança ³	Cambuquira ³	Boa Esperança ³	Cambuquira ³
BRS 264	94,02 ^{aA} ± 0,35	92,68 ^{aB} ± 0,21	-0,81 ^{aB} ± 0,06	-0,45 ^{aA} ± 0,09	9,21 ^{dA} ± 0,5	9,71 ^{bA} ± 0,86
TBIO SINTONIA	93,03 ^{bA} ± 0,81	89,47 ^{bB} ± 1,92	-1,04 ^{bB} ± 0,11	-0,64 ^{bA} ± 0,08	11,92 ^{aA} ± 0,95	11,73 ^{aA} ± 0,96
ORS 1403	92,57 ^{bA} ± 1,0	91,84 ^{aB} ± 1,15	-0,95 ^{bA} ± 0,28	-0,95 ^{bA} ± 0,46	12,45 ^{aA} ± 0,35	11,86 ^{aA} ± 1,34
BRS 404	93,69 ^{aA} ± 0,52	92,25 ^{aA} ± 1,88	-1,3 ^{cA} ± 0,06	-0,88 ^{bA} ± 0,29	12,2 ^{aA} ± 0,11	12,08 ^{aA} ± 1,79
TBIO ATON	93,1 ^{bA} ± 0,18	92,83 ^{aA} ± 0,37	-0,96 ^{bA} ± 0,02	-1,06 ^{bA} ± 0,13	11,92 ^{aA} ± 0,14	11,82 ^{aA} ± 0,10
ORS DESTAK	93,17 ^{bA} ± 0,62	91,14 ^{bB} ± 0,86	-0,76 ^{aB} ± 0,15	-0,32 ^{aA} ± 0,03	10,91 ^{bA} ± 0,38	9,77 ^{bA} ± 1,23
BRS 394	93,3 ^{bA} ± 0,32	92,07 ^{aB} ± 0,33	-0,61 ^{aB} ± 0,26	-0,23 ^{aA} ± 0,18	10,36 ^{cA} ± 0,60	10,45 ^{bA} ± 0,14
TBIO DUQUE	94,3 ^{aA} ± 0,09	94,0 ^{aA} ± 0,44	-0,77 ^{aA} ± 0,05	-0,81 ^{bA} ± 0,08	8,41 ^{eA} ± 0,20	8,65 ^{bA} ± 0,15

¹Valores médios ± desvio padrão de 4 repetições.

²Valores com letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as cultivares no mesmo local de cultivo.

³Valores com letras maiúsculas diferentes apresentam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os locais de plantio para cada cultivar.

L*: luminosidade (0 preto e 100 branco); a*: vermelho/verde (positivo vermelho e negativo verde); b*: amarelo/azul (positivo amarelo e negativo azul).

Fonte: Da autora (2023).

Uma coloração mais branca da cultivar TBIO DUQUE já era esperada, visto que, essa cultivar é conhecida por suas características branqueadoras, no entanto, outras cultivares como BRS 264 e BRS 404, apresentam valores de L^* semelhantes, demonstrando a eficiência desses cultivos.

Para o plantio em Cambuquira, as farinhas também apresentaram boa coloração quanto ao parâmetro de claridade, com exceção das cultivares TBIO SINTONIA e ORS DESTAK que apresentaram L^* de 89,47 e 91,14, respectivamente. Esse resultado condiz com a diferença no teor de cinzas dessa cultivar nos dois locais de cultivo, uma vez que, o plantio em Cambuquira apresentou um teor de cinzas mais elevado, o que reflete em uma coloração mais escura.

É possível observar que o local de cultivo causou diferenças significativas na coloração das cultivares BRS 264, TBIO SINTONIA, ORS 1403, ORS DESTAK e BRS 394. Para todas essas cultivares, os cultivos de Boa Esperança demonstraram a obtenção de farinhas mais claras, e na maioria destas, os resultados condizem com as diferenças nas taxas de extração da farinha.

Os resultados de cromaticidade a^* indicam uma variação na coloração das farinhas, no entanto, demonstram valores que se aproximam de zero, se afastando das cores verdes e vermelhas, e se aproximando da escala cinza (indicativo de farinhas mais brancas), independente da cultivar ou local de cultivo. Já os resultados da coordenada b^* demonstraram valores próximos de 10, se afastando das cores amarelo e azul, e se aproximando da escala cinza assim como nos resultados de a^* , confirmando que as farinhas estudadas possuem coloração mais clara.

Os resultados de coloração obtidos para as farinhas das cultivares de trigo, são muito interessantes para a indústria moageira, visto que, grãos que possibilitam a extração de uma farinha mais branca são os mais requisitados e muito usados nos blends, para elaboração de farinhas especiais e com maior qualidade para elaboração produtos de panificação, portanto, geram produtos com maior valor agregado (ORTOLAN, 2006; FERREIRA, 2019).

5.4 Avaliação das características reológicas das farinhas

A Tabela 10 apresenta as características farinográficas das cultivares estudadas para os atributos de absorção (ABS), tempo de desenvolvimento (TD), estabilidade (EST) e índice de tolerância à mistura (ITM).

Os resultados de ABS das farinhas obtidas do cultivo em Boa Esperança, variaram de 48,5% a 59,6%, enquanto o plantio em Cambuquira rendeu valores de ABS entre 51,7% e 62%. Os valores de ABS da maioria das farinhas, refletem em um resultado positivo dessas cultivares,

no plantio em sequeiro, pois quanto maior o valor de absorção, mais facilidade a farinha possui de formação da massa (GUTKOSKI et al., 2007), podendo ser aplicadas nos mais variados produtos de panificação.

Nos dois locais de cultivo, as cultivares BRS 264 e TBIO DUQUE demonstraram valores de ABS abaixo das outras cultivares, o que pode ser explicado pelos resultados de tamanho e dureza dos grãos, visto que, essas cultivares apresentaram grãos menores e mais moles, o que resulta em uma menor capacidade de absorção de água da farinha obtida (GUARIENTE, 1996).

Quando consideramos apenas o parâmetro de ABS para as farinhas das cultivares BRS 264 e TBIO DUQUE, é possível observar que estas farinhas não apresentam o percentual mínimo de absorção (55%), para elaboração da maioria dos produtos de panificação, indicando a obtenção de farinhas mais fracas, no entanto, o resultado desse parâmetro não condiz com outros resultados importantes que predizem a força da farinha para essas aplicações, como conteúdo proteico do grão, e teor de glúten úmido da farinha (FRAKOLAKI et al., 2018).

A maioria das farinhas apresentaram uma maior capacidade de absorção de água no cultivo em Cambuquira, o que pode ser explicado pelos resultados de teor proteico dos grãos superiores nesse plantio, devido a uma adubação de base de NPK superior, quando comparado ao plantio de Boa Esperança.

Segundo Guariente (1996), grãos de trigo com maior teor proteico, originam farinhas com alto poder de absorção de água. Essa relação pode ser observada nos resultados de ABS da farinha da cultivar BRS 394 de Cambuquira. Essa cultivar foi a única que não apresentou resultado de ABS superior no plantio em Cambuquira, demonstrando comportamento semelhante ao resultado de teor proteico do grão, onde não foi evidenciado diferença entre os locais de cultivo.

Para o parâmetro de TD, o cultivo em Boa Esperança, rendeu farinhas com resultados entre 20 e 2,2 min, indicando a obtenção de farinhas muito fortes para algumas cultivares, e farinhas fracas para outras. Nesse plantio, os menores valores de TD foram relatados para as cultivares BRS 264 e ORS DESTAK, podendo esse resultado, estar relacionado a uma pior adaptação ao cultivo na região de Boa Esperança, devido a fatores como temperatura, umidade relativa do ar, o excesso hídrico do solo, visto que no plantio em Cambuquira, foram evidenciados resultados diferentes (FRANCESCHI, et al., 2009).

Tabela 10 – Valores médios¹ ± desvios-padrão das características farinográficas das farinhas obtidas das oito cultivares de trigo cultivadas em Boa Esperança e Cambuquira.

CULTIVARES ²	ABS (%)		TD (min)		EST (min)		ITM (UF)	
	Boa Esperança ³	Cambuquira ³	Boa Esperança ³	Cambuquira ³	Boa Esperança ³	Cambuquira ³	Boa Esperança ³	Cambuquira ³
BRS 264	50,8 ^{cB} ± 1,17	52,7 ^{cA} ± 3,78	2,2 ^{dB} ± 0,5	16,6 ^{aA} ± 1,96	18,8 ^{aA} ± 0,89	17,9 ^{aA} ± 1,22	29,5 ^{aA} ± 8,54	2 ^{bB} ± 2,45
TBIO SINTONIA	55,4 ^{bB} ± 1,0	58,7 ^{aA} ± 0,31	18 ^{aB} ± 1,19	20 ^{aA} ± 0,62	18,2 ^{aA} ± 0,57	17,9 ^{aA} ± 0,93	0 ^{cA} ± 0	0 ^{bA} ± 0
ORS 1403	56,6 ^{bB} ± 1,23	59,1 ^A ± 1,36	19 ^{aA} ± 1,18	16,1 ^{aB} ± 2,5	18,5 ^{aA} ± 0,68	15,4 ^{aB} ± 2,72	0 ^{cB} ± 0	1,5 ^{bA} ± 1,91
BRS 404	56,0 ^{bB} ± 0,36	58,3 ^{aA} ± 0,72	16,7 ^{bA} ± 2,08	9,2 ^{bB} ± 2,66	18,4 ^{aA} ± 0,75	14,3 ^{aB} ± 4,31	0 ^{cB} ± 0	20 ^{aA} ± 9,52
TBIO ATON	58,8 ^{aB} ± 1,42	61,7 ^{aA} ± 0,61	14,2 ^{cB} ± 1,53	18 ^{aA} ± 0,52	18,3 ^{aA} ± 0,75	13,8 ^{aB} ± 4,78	2 ^{cA} ± 4	0 ^{bB} ± 0
ORS DESTAK	59,6 ^{aB} ± 2,31	62 ^{aA} ± 1,07	2,7 ^{dB} ± 0,58	19 ^{aA} ± 1,97	18,4 ^{aA} ± 0,80	16,4 ^{aB} ± 1,87	16 ^{bA} ± 9,93	1 ^{bB} ± 2
BRS 394	57 ^{aA} ± 1,16	55,7 ^{bB} ± 3,75	20 ^{aA} ± 0,36	17,8 ^{aB} ± 2,59	18,2 ^{aA} ± 0,44	15,7 ^{aB} ± 3,02	0 ^{cB} ± 0	2 ^{bA} ± 2,45
TBIO DUQUE	48,5 ^{dB} ± 0,6	51,7 ^{cA} ± 0,58	19,5 ^{aA} ± 0,79	19,7 ^{aA} ± 1,40	16,9 ^{bB} ± 2,19	18,6 ^{aA} ± 0,85	0 ^{cA} ± 0	0 ^{bA} ± 0

¹Valores médios ± desvio padrão de 4 repetições.

²Valores com letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as cultivares no mesmo local de cultivo.

³Valores com letras maiúsculas diferentes apresentam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os locais de plantio para cada cultivar.

ABS: Absorção de água; TD: Tempo de desenvolvimento; EST: Estabilidade; ITM: Índice de Tolerância à Mistura.

Fonte: Da autora (2023).

Para as farinhas obtidas do plantio em Cambuquira, os valores de TD variaram de 9,2 a 20 min, indicando a obtenção de farinhas fortes e muito fortes, ou seja, nessas amostras é necessário um maior tempo de batimento para que a massa fique com a consistência ideal (GUARIENTI, 1996; WILLIAMS et al., 1988).

A obtenção de farinhas fortes e muito fortes para a maioria das cultivares nesse estudo, indica uma boa adaptação dessas cultivares ao cultivo em sequeiro. Farinhas com maior força, são muito desejadas na indústria moageira, especialmente para realização de mesclas com farinhas mais fracas, a fim de atender a especificação de determinados produtos de panificação (WILLIAMS et al., 1988).

Os valores de EST das farinhas obtidas do plantio em Boa Esperança variaram de 16,9 a 18,8 minutos, conforme mostrado na Tabela 10. Com exceção das cultivares BRS 264 e ORS DESTAK, que apresentaram baixo tempo de desenvolvimento, os valores de tempo de estabilidade condizem com os resultados de tempo de desenvolvimento das cultivares, indicando a obtenção de farinhas muito fortes, que resistem a um maior tempo de batimento.

Por outro lado, as farinhas obtidas de algumas cultivares plantadas em Cambuquira apresentaram tempos de estabilidade mais baixos, como a BRS 404 e TBIO ATON, no entanto, mesmo com menores tempo de estabilidade, os resultados obtidos indicam a obtenção de farinhas fortes. Essas diferenças entre os locais de cultivo para essas cultivares, também foram evidenciadas para os resultados de TD, evidenciando que as divergências entre os locais de cultivo, como clima, precipitação e adubação de base diferente, tiveram efeito nessas cultivares.

Segundo Frakolaki et al. (2018), altos valores de tempo de desenvolvimento e estabilidade da massa em combinação com baixos valores de grau de amolecimento, indicam alta qualidade da farinha, e melhor capacidade da massa de suportar longos tratamentos mecânicos de processamento.

Com relação aos valores de ITM das farinhas, tanto as cultivares obtidas em Cambuquira, como em Boa Esperança, apresentaram resultados indicativos de farinhas fortes (valores entre 0 e 49), estando de acordo com outros parâmetros de farinografia (WILLIAMS et al., 1988), sendo evidenciado também, forte influência do local de cultivo nos resultados.

A Tabela 11 apresenta os resultados de alveografia das farinhas para os parâmetros de força geral do glúten ($W \times 10^{-4}J$), relação elasticidade e extensibilidade (P/L) e Índice de Elasticidade (IE).

As farinhas obtidas dos dois locais de cultivo, em sua maioria, apresentaram excelentes valores de W. O valor de W mais baixo, foi evidenciado para cultivar TBIO DUQUE tanto em Boa Esperança, como em Cambuquira com W de 129,5 e 214,5 ($10^{-4}J$), respectivamente. Um

menor valor de W para essa cultivar já era esperado, pois a TBIO DUQUE é comercialmente conhecida por suas características de cultivar branqueadora, porém, em quesitos de panificação como força de glúten não apresenta resultados elevados (BIOTRIGO, 2023). Mesmo com menor valor de W, pode ser utilizada na elaboração de produtos de panificação como bolos e biscoitos doces (WILLIANS et al., 1988; MELINI et al., 2017).

Valores de W abaixo dos relatados neste estudo, foram encontrados por Chavoushi et al. (2022), ao estudarem diferentes tipos de cultivares de trigo. Os autores detectaram valores de W entre 27 e 134 (10^{-4} J), que refletiram em uma massa pegajosa, de menor qualidade para aplicação na panificação. Segundo os autores, esse resultado se deve à maior atividade de α -amilase e menor proporção de proteína de glúten polimérica para monomérica nesses materiais.

O local de plantio influenciou significativamente o resultado de força de glúten. Quando comparamos os resultados de W das farinhas entre as amostras de Boa Esperança e Cambuquira, é possível observar que as cultivares ORS 1403, BRS 404 e BRS 394, apresentaram maior força de glúten nas farinhas obtidas de Boa Esperança, enquanto as cultivares BRS 264, TBIO SINTONIA, TBIO ATON, ORS DESTAK e TBIO DUQUE demonstraram valores de W mais elevados em Cambuquira. Essas diferenças na força de glúten podem ser explicadas, pela variação de condições ambientais (clima e solo) e doses de NKP aplicadas à cultura de trigo, que refletiram na dureza, tamanho e teor proteico dos grãos, e que afeta os parâmetros de alveografia (TURNBULL; RAHMAN, 2002).

A relação entre a elasticidade e extensibilidade (P/L) das farinhas cultivadas em Boa Esperança, variou de 1,08 a 1,81 sem apresentar diferença significativa, classificando esses produtos com glúten balanceado e tenaz. Esses resultados demonstram bons valores de P/L indicando uma massa com boas características para elaboração de diversos produtos de panificação, condizendo com os valores de W. Por outro lado, as farinhas obtidas do plantio em Cambuquira apresentaram valores de P/L entre 0,76 e 1,97 (mm), indicando que talvez algumas cultivares não tenham elasticidade/tenacidade suficiente para suportar o processo de alguns produtos de panificação.

Os valores de P/L obtidos nesse trabalho para a maioria das cultivares, indicam que as massas obtidas a partir dessas farinhas, se apresentam com característica mais elástica e com maior força de glúten (MELINI et al., 2017, SANCHEZ - GARCIA et al., 2015). Outros estudos relataram valores inferiores de P/L ao encontrados nesse estudo, o que reforça ainda mais, a qualidade superior dessas farinhas para indústria de panificação (BARANZELLI et al., 2018; CAPPELLI et al., 2018), visto que, valor de P/L um dos fatores mais utilizados na indústria moageira, para avaliação de qualidade da farinha de trigo e destino de aplicação.

Tabela 11 – Valores médios¹ ± desvios-padrão das características alveograficas das farinhas obtidas das oito cultivares de trigo cultivadas em Boa Esperança e Cambuquira.

CULTIVARES ²	W (10 ⁻⁴ Joules)		P/L (mm)		IE (%)	
	Boa Esperança ³	Cambuquira ³	Boa Esperança ³	Cambuquira ³	Boa Esperança ³	Cambuquira ³
BRS 264	336 ^{cB} ± 25,5	415,5 ^{cA} ± 28,2	1,08 ^{aA} ± 0,06	1,15 ^{bA} ± 0,22	71,2 ^{aA} ± 0,21	71,6 ^{aA} ± 0,25
TBIO SINTONIA	479,5 ^{aB} ± 9,15	557 ^{aA} ± 6,48	1,13 ^{aA} ± 0,26	1,38 ^{bA} ± 0,09	68,8 ^{bB} ± 0,42	73,9 ^{aA} ± 0,25
ORS 1403	453 ^{aA} ± 9,49	319 ^{eB} ± 12,51	1,53 ^{aA} ± 0,31	1,67 ^{aA} ± 0,08	64,0 ^{dB} ± 1,22	73,8 ^{aA} ± 5,6
BRS 404	453 ^{aA} ± 33,7	362,5 ^{dB} ± 17,9	1,17 ^{aA} ± 0,13	1,16 ^{bA} ± 0,12	67,2 ^{cA} ± 2,31	66,9 ^{bA} ± 3,70
TBIO ATON	471 ^{aB} ± 18,6	559 ^{aA} ± 6,98	1,81 ^{aA} ± 0,20	1,97 ^{aA} ± 0,55	64,6 ^{dA} ± 2,54	66,2 ^{bA} ± 0,11
ORS DESTAK	376 ^{bB} ± 4,32	476 ^{bA} ± 28,9	1,63 ^{aA} ± 0,72	1,87 ^{aA} ± 0,53	66,1 ^{cB} ± 3,87	77 ^{aA} ± 1,68
BRS 394	393,5 ^{bA} ± 19,4	328 ^{eB} ± 16,4	1,57 ^{aA} ± 0,53	1,23 ^{bA} ± 0,11	68,3 ^{bB} ± 2,60	73,4 ^{aA} ± 3,75
TBIO DUQUE	129,5 ^{cB} ± 9,8	214 ^{fA} ± 11,4	1,18 ^{aA} ± 0,54	0,76 ^{bB} ± 0,24	70,9 ^{aA} ± 2,54	72,9 ^{aA} ± 3,12

¹Valores médios ± desvio padrão de 4 repetições.

²Valores com letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as cultivares no mesmo local de cultivo.

³Valores com letras maiúsculas diferentes apresentam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os locais de plantio para cada cultivar.

W: Energia de deformação; P: Tenacidade; L: Extensibilidade; P/L: Configuração e Equilíbrio da Curva; IE: índice de elasticidade.

Fonte: Da autora (2023).

Os resultados de IE indicam que independe da cultivar ou local de plantio, o índice de elasticidade das farinhas apresenta bons resultados, uma vez que, valores de IE superiores a 50 são bons indicativos para a indústria de panificação (KITISSOU, 1995), demonstrando que as farinhas obtidas apresentam bom desempenho reológico.

Para Furlan (2018), a farinha para pão deve ter as propriedades elásticas e extensíveis bem equilibradas, tendo extensibilidade suficiente para que o produto possa crescer sem ocorrer o achatamento.

As Tabelas 12, 13 e 14 apresentam as propriedades extensográficas das cultivares avaliadas nos três tempos estudados. As farinhas obtidas das cultivares apresentaram valores R característicos de uma farinha forte no tempo de 45 min, independente da cultivar ou local de plantio, sendo que algumas cultivares apresentaram valores mais elevados em Boa Esperança, enquanto outras, tiveram maior resistência a extensão no plantio em Cambuquira, variações que demonstram a influência do local de cultivo nos parâmetros reológicos.

De uma forma geral, as cultivares apresentaram um aumento na resistência à extensão após o período de descanso nos tempos de 90 e 135 min de elaboração da massa, ou seja, a elasticidade da massa aumentou para quase todas as farinhas no tempo de 90 min em relação ao tempo de 45 min, no entanto, algumas cultivares apresentaram divergências após os períodos de repouso.

As farinhas obtidas das cultivares apresentaram valores R característicos de uma farinha forte no tempo de 45 min, independente da cultivar ou local de plantio, sendo que algumas cultivares apresentaram valores mais elevados em Boa Esperança, enquanto outras, tiveram maior resistência a extensão no plantio em Cambuquira. De uma forma geral, as cultivares apresentaram um aumento na resistência à extensão após o período de descanso nos tempos de 90 e 135 min de elaboração da massa, ou seja, a elasticidade da massa aumentou para quase todas as farinhas no tempo de 90 min em relação ao tempo de 45 min, no entanto, algumas cultivares apresentaram divergências após os períodos de repouso.

Tabela 12 – Valores médios¹ ± desvios-padrão das características extensográficas das farinhas obtidas das oito cultivares de trigo cultivadas em Boa Esperança e Cambuquira no tempo de 45 min.

CULTIVARES ²	R (U.E.)		RM (U.E.)		EX (mm)	
	Boa Esperança ³	Cambuquira ³	Boa Esperança ³	Cambuquira ³	Boa Esperança ³	Cambuquira ³
BRS 264	413 ^{cB} ± 15,2	468,5 ^{bA} ± 27,2	617,5 ^{bB} ± 28,6	637 ^{bA} ± 7,48	179,5 ^{bA} ± 5,45	170 ^{bB} ± 7,39
TBIO SINTONIA	385 ^{dB} ± 4,24	507,5 ^{aA} ± 29,6	609 ^{aB} ± 14,5	664 ^{aA} ± 11,4	188,5 ^{aA} ± 3,41	180,5 ^{aB} ± 10,0
ORS 1403	446,5 ^{bB} ± 21,7	485,5 ^{aA} ± 5,69	559 ^{dB} ± 7,39	639,5 ^{bA} ± 9,81	142,5 ^{dA} ± 13,8	141 ^{cA} ± 3,74
BRS 404	424 ^{cA} ± 14,3	391 ^{cB} ± 7,07	589,5 ^{cA} ± 26,2	543 ^{dB} ± 17,6	161,5 ^{cB} ± 3,87	165 ^{bA} ± 3,65
TBIO ATON	372,5 ^{dB} ± 9,15	495,5 ^{aA} ± 4,20	477,5 ^{eB} ± 6,6	550 ^{dA} ± 13	151 ^{dA} ± 3,46	156 ^{cA} ± 9,2
ORS DESTAK	474 ^{aA} ± 12,1	460 ^{bB} ± 23,8	599 ^{cA} ± 18,9	569 ^{cB} ± 3,65	144,5 ^{dA} ± 4,43	146 ^{cA} ± 12,25
BRS 394	461 ^{aA} ± 8,25	410 ^{cB} ± 25,8	569 ^{eB} ± 8,83	644 ^{bA} ± 8,6	174 ^{bA} ± 7,83	173,5 ^{bA} ± 13,2
TBIO DUQUE	407 ^{cA} ± 9,06	392 ^{cB} ± 14,6	701,5 ^{aA} ± 3,87	651 ^{abB} ± 2,58	178,5 ^{bB} ± 3,87	189 ^{aA} ± 12,1

¹Valores médios ± desvio padrão de 4 repetições.

²Valores com letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as cultivares no mesmo local de cultivo.

³Valores com letras maiúsculas diferentes apresentam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os locais de plantio para cada cultivar.

R: Resistência a Extensão; RM: Resistência Máxima; EX: Extensibilidade.

Fonte: Da autora (2023).

Tabela 13 – Valores médios¹ ± desvios-padrão das características extensográficas das farinhas obtidas das oito cultivares de trigo cultivadas em Boa Esperança e Cambuquira no tempo de 90 min.

CULTIVARES ²	R (U.E.)		RM (U.E.)		EX (mm)	
	Boa Esperança ³	Cambuquira ³	Boa Esperança ³	Cambuquira ³	Boa Esperança ³	Cambuquira ³
BRS 264	662 ^{aB} ± 17,2	718 ^{aA} ± 15,7	944,5 ^{aB} ± 3,41	1008 ^{aA} ± 10,6	157,5 ^{bA} ± 9,39	155,5 ^{aA} ± 10,1
TBIO SINTONIA	531 ^{dB} ± 11,4	569,5 ^{cA} ± 27,4	720 ^{eB} ± 27,9	1007,75 ^{aA} ± 11,8	172 ^{aA} ± 15,6	153,5 ^{aA} ± 12,7
ORS 1403	601 ^{bB} ± 22,6	700,5 ^{aA} ± 6,6	742 ^{dB} ± 12,4	887,5 ^{cA} ± 5,26	136 ^{dA} ± 14,3	139 ^{bA} ± 11,9
BRS 404	503 ^{dA} ± 24,5	465,5 ^{dB} ± 16,2	704,2 ^{eA} ± 19,7	593,5 ^{eB} ± 8,7	150,5 ^{cA} ± 7,77	157 ^{aA} ± 5,77
TBIO ATON	525,5 ^{dB} ± 10,2	641 ^{bA} ± 22,7	623,5 ^{fB} ± 7,55	867 ^{dA} ± 7,61	139,5 ^{dA} ± 12,3	146 ^{bA} ± 3,83
ORS DESTAK	625 ^{bB} ± 6	728 ^{aA} ± 17	751,7 ^{dB} ± 9,53	984 ^{bA} ± 8,33	132 ^{dA} ± 5,35	133,5 ^{bA} ± 3,51
BRS 394	574,5 ^{cB} ± 25,1	665,5 ^{bA} ± 23,9	806,5 ^{cB} ± 6,56	985,5 ^{bA} ± 9,57	172 ^{aA} ± 3,74	160 ^{aA} ± 13,4
TBIO DUQUE	535 ^{dB} ± 8,37	648 ^{bA} ± 11,0	877,5 ^{bB} ± 6,14	978,5 ^{bA} ± 15,8	169,5 ^{aA} ± 3,41	159,5 ^{aA} ± 14,2

¹Valores médios ± desvio padrão de 4 repetições.

²Valores com letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as cultivares no mesmo local de cultivo.

³Valores com letras maiúsculas diferentes apresentam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os locais de plantio para cada cultivar.

R: Resistência a Extensão; RM: Resistência Máxima; EX: Extensibilidade.

Fonte: Da autora (2023).

Tabela 14 – Valores médios¹ ± desvios-padrão das características extensográficas das farinhas obtidas das oito cultivares de trigo cultivadas em Boa Esperança e Cambuquira no tempo de 135 min.

CULTIVARES ²	R (U.E.)		RM (U.E.)		EX (mm)	
	Boa Esperança ³	Cambuquira ³	Boa Esperança ³	Cambuquira ³	Boa Esperança ³	Cambuquira ³
BRS 264	699,5 ^{aA} ± 5,51	627,5 ^{cB} ± 13,7	1005,5 ^{aA} ± 14,0	1001,5 ^{aA} ± 18,3	159,5 ^{aA} ± 3,41	155 ^{aB} ± 5,03
TBIO SINTONIA	503 ^{dB} ± 9,63	630 ^{cA} ± 21,5	747 ^{dB} ± 20,7	871,5 ^{bA} ± 20,9	163,5 ^{aA} ± 4,43	160 ^{aA} ± 6,83
ORS 1403	638 ^{bB} ± 12,2	707,5 ^{bA} ± 9,15	738,5 ^{dB} ± 14	871,5 ^{bA} ± 9,15	129,5 ^{cA} ± 11,7	131 ^{cA} ± 9,87
BRS 404	540 ^{cB} ± 28,3	624,5 ^{cA} ± 15,3	678 ^{cA} ± 12,8	595,5 ^{dB} ± 14	140,5 ^{bA} ± 3,87	141,5 ^{bA} ± 4,43
TBIO ATON	558,5 ^{cB} ± 27,2	622 ^{cA} ± 23,6	705 ^{eB} ± 24,2	810,7 ^{cA} ± 25	132,5 ^{cB} ± 9,88	136,5 ^{bA} ± 4,80
ORS DESTAK	643 ^{bB} ± 5,03	809,5 ^{aA} ± 19,3	806 ^{cB} ± 27,8	986 ^{aA} ± 25,9	123,5 ^{dB} ± 6,58	125,5 ^{cA} ± 6,19
BRS 394	579,5 ^{cB} ± 6,80	653 ^{cA} ± 28,5	876 ^{bB} ± 19,9	998,5 ^{aA} ± 22,6	168 ^{aA} ± 8,49	149,5 ^{aB} ± 22,6
TBIO DUQUE	557 ^{cA} ± 6,38	451,5 ^{dB} ± 12,2	883,5 ^{bA} ± 5,74	806 ^{cB} ± 3,16	158,5 ^{aA} ± 4,43	158,5 ^{aA} ± 12,0

¹Valores médios ± desvio padrão de 4 repetições.

²Valores com letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as cultivares no mesmo local de cultivo.

³Valores com letras maiúsculas diferentes apresentam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os locais de plantio para cada cultivar.

R: Resistência a Extensão; RM: Resistência Máxima; EX: Extensibilidade.

Fonte: Da autora (2023).

As cultivares TBIO SINTONIA cultivada em Boa Esperança, TBIO ATON cultivada em Cambuquira, BRS 394 cultivada em Cambuquira e TBIO DUQUE cultivada em Cambuquira, apresentaram um aumento de R no tempo de 45 para 90 min e uma diminuição no tempo de 135 min, indicando que após o repouso houve uma diminuição da força da massa desses materiais, demonstrando que essas cultivares não respondem bem a sovas de fermentação, necessitando, portanto, de um processamento mais rápido (MARTI et al., 2015). Esse resultado para a TBIO DUQUE já era esperado, por essa cultivar não possuir indicação com relação a força elevada de glúten e comportamento reológico para aplicação em produtos mais nobres, porém, quando se trata da cultivar TBIO SINTONIA, os resultados não refletem a indicação da empresa obtentora (BIOTRIGO, 2023; EMBRAPA, 2023).

Os resultados de Resistência Máxima (RM) à extensão também indicam a obtenção de farinhas fortes a partir das cultivares, visto que farinhas fracas possuem RM por volta de 130 U.E. A cultivar TBIO ATON, apresentou o menor valor de RM no tempo de 45 min nos dois locais de plantio, demonstrando ser a farinha mais fraca dentre as amostras. Além disso, o comportamento da cultivar BRS 264 de Cambuquira no tempo de 90 min e no tempo de 135 min nos dois locais de cultivo, foi irregular quando a resistência máxima foi considerada, pois apresentou valores acima de 1000 U.B.

Os resultados de Resistência Máxima (RM) indicam também, que em Boa Esperança a maioria das farinhas apresentou aumento de RM com o tempo de repouso demonstrando um ganho de elasticidade das massas com o tempo, com exceção apenas das obtidas das cultivares ORS 1403 e BRS 404, que apresentaram um aumento de RM no tempo de 45 para 90 min e uma diminuição no tempo de 135 min. Por outro lado, nas farinhas obtidas a partir do plantio em Cambuquira, apenas as cultivares ORS DESTAK, BRS 394 e TBIO DUQUE tiveram aumento no valor de RM com o tempo de repouso, indicando que nesse plantio a maioria das cultivares perdeu elasticidade ao longo do tempo, demonstrando que essas farinhas talvez tenham mais dificuldade para tolerar o processo de panificação.

Os resultados de extensibilidade da massa de todas as cultivares avaliadas, indicam que o maior tempo de repouso causou pouca diminuição na extensibilidade da massa, independente da cultivar ou local de plantio. Para Costa (2013), farinhas fortes apresentam extensibilidade aproximada a 150 mm, enquanto farinhas fracas, demonstram valores próximos ou maiores a 180 mm, dessa forma, a maioria das cultivares apresentou características de farinhas fortes no que diz respeito ao nível de extensibilidade das massas.

Os valores obtidos em todos os parâmetros da extensografia indicam o uso da maioria das farinhas na elaboração de produtos com processo de fermentação mais complexo, porém, o

comportamento da massa de alguns cultivares durante o repouso, geram dúvidas sobre a resistência dessas massas ao processo industrial, podendo ser mais bem aplicadas em processos mais simples (COSTA, 2013; MARTI et al., 2015).

5.5 Classificação dos trigos

O trigo é classificado segundo a Instrução Normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010 (BRASIL, 2010), conforme mostra a Tabela 15. Essa legislação define as classes de trigo com base nos seus resultados de força de glúten (W), obtido por meio da análise de alveografia; estabilidade (EST) proveniente dos parâmetros farinográficos; e número de queda (FN).

Tabela 15 – Classificação de trigo do Grupo II, destinado à moagem e outras finalidades.

Classe	Força do glúten – W (valor mínimo, expresso em 10^{-4} J)	Estabilidade (tempo expresso em minutos)	Número de queda (valor mínimo expresso em segundos)
Melhorador	300	14	250
Pão	220	10	220
Doméstico	160	6	220
Básico	100	3	200
Outros usos	Qualquer	Qualquer	Qualquer

Fonte: Adaptado de BRASIL (2010).

Com base nos resultados obtidos para as oito cultivares de trigo, cultivadas em Boa Esperança e Cambuquira, podemos realizar a sua classificação e assim definir a melhor aplicação dessas farinhas dentre os diversos tipos de produtos de panificação existentes no mercado. A classificação das cultivares é mostrada na Tabela 16.

Tabela 16 – Classificação das oito cultivares de trigo cultivadas em Boa Esperança e Cambuquira.

CULTIVARES	Classe	
	Boa Esperança ³	Cambuquira ³
BRS 264	Melhorador	Melhorador
TBIO SINTONIA	Melhorador	Melhorador
ORS 1403	Melhorador	Melhorador
BRS 404	Melhorador	Melhorador
TBIO ATON	Melhorador	Pão
ORS DESTAK	Melhorador	Melhorador
BRS 394	Melhorador	Melhorador
TBIO DUQUE	Doméstico	Doméstico

Fonte: Da autora (2023).

Por meio da classificação obtidas pelas farinhas, podemos evidenciar que a cultivar TBIO ATON proveniente do plantio em Cambuquira se classificou com trigo pão, diferente do cultivo em Boa Esperança, onde ela se classificou com trigo melhorador. Essas divergências, se devem aos diferentes valores de estabilidade obtidos nas farinhas, o que indica a influência do local de cultivo na qualidade final do produto obtido.

Com base nessa classificação, a cultivar TBIO ATON de Cambuquira seria mais bem aplicada em pão francês, pão de forma, massa seca e biscoito tipo cracker (EMBRAPA, 2023). Outra possibilidade de uso da farinha dessa cultivar, seria em mesclas com trigo de força de glúten mais baixo para uso doméstico.

A cultivar TBIO DUQUE, independente do local de cultivo se classificou como um trigo de classe doméstico, indicando que essa cultivar não possui qualidade suficiente para aplicação em produtos como pães industriais, e que apresentariam melhor qualidade em produtos de confeitaria, massa instantânea, pizza, waffer e uso doméstico (pão caseiro, massa caseira fresca, bolacha e bolo) (ABITRIGO, 2023; EMBRAPA, 2023; SINDUSTRIGO, 2023).

Por fim, o restante das cultivares, independente do local de cultivo se classificaram como trigos melhoradores, ou seja, as farinhas obtidas apresentaram excelentes força de glúten, podendo ser bem aplicadas em massas alimentícias, bolachas tipo água e sal (crackers), pães industriais, além de possuírem versatilidade para serem usadas em trigos com força de glúten mais baixas, para fins de panificação (ABITRIGO, 2023; EMBRAPA, 2023; SINDUSTRIGO, 2023).

5.6 Avaliação das características tecnológicas e sensoriais de pão francês

Mesmo com as indicações de diferentes aplicações das cultivares, as farinhas obtidas das oito cultivares de Boa Esperança e Cambuquira, foram usadas na elaboração de formulações de pão francês, sem adição de aditivos de panificação, a fim de verificar a sua viabilidade de aplicação conforme é mostrado na Figura 22.

Figura 22 – Pães franceses das farinhas obtidas de algumas cultivares de trigo cultivadas em Boa Esperança e Cambuquira.



Fonte: Da autora (2023).

Na elaboração da massa de cada formulação, foi determinado a absorção de água para cada uma das farinhas, como demonstrado na Tabela 17.

Não houve diferença significativa para a capacidade de absorção de água entre as massas avaliadas independente da cultivar ou local de plantio, no entanto, quando comparamos esse resultado com a absorção obtida no farinograma, é possível perceber que foi necessário realizar uma correção nos valores, para que as massas adquirissem o ponto ideal de desenvolvimento.

Uma quantidade de água maior que o ideal compromete a qualidade da massa, fazendo-a ficar úmida e pegajosa, por outro lado, uma quantidade insuficiente de água, faz com que a massa fique dura, sendo necessário um maior tempo de batimento para chegar ao ponto de véu (formação da rede de glúten), podendo gerar massas de difícil fermentação e pães que envelhecem mais rápido com menor volume (MORETTO; FETT, 1999).

Os pães produzidos com as farinhas obtidas do cultivo em Boa Esperança demonstraram valores de volume específico entre 9,10 e 10,9 $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$, sendo os pães que apresentaram o menor volume, aqueles produzidos com as farinhas das cultivares ORS 1403, BRS 404 e TBIO ATON. Por outro lado, os pães elaborados com as farinhas obtidas do cultivo em Cambuquira demonstraram volume específico que variaram de 9,20 a 10,8 $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$ sem apresentar diferença significativa.

De uma forma geral, os pães estudados apresentaram valores bons de volume específico, demonstrando que as farinhas aplicadas renderam bons resultados para aplicação em pão, uma vez que, na indústria moageira, pães com melhor qualidade são aqueles que apresentam valores próximos a 10 $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$.

Tabela 17 – Valores médios¹ ± desvios-padrão das características tecnológicas dos pães franceses obtidos das farinhas das oito cultivares de trigo cultivadas em Boa Esperança e Cambuquira.

CULTIVARES ²	ABS (%)		VOL (cm ³ g ⁻¹)		NS		IQ	
			Boa		Boa		Boa	
	Boa Esperança ³	Cambuquira ³	Esperança ³	Cambuquira ³	Esperança ³	Cambuquira ³	Esperança ³	Cambuquira ³
BRS 264	55,0 ^{aA} ± 1,63	55,5 ^{aA} ± 4,12	10,9 ^{aA} ± 1,15	10,55 ^{aA} ± 0,66	8,90 ^{aA} ± 0,63	8,90 ^{aA} ± 1	71,0 ^{aA} ± 2,94	68,0 ^{aA} ± 8,33
TBIO SINTONIA	55,0 ^{aA} ± 4,08	57,5 ^{aA} ± 3,32	10,7 ^{aA} ± 0,60	9,95 ^{aA} ± 1,20	9,80 ^{aA} ± 0,57	8,20 ^{bB} ± 0,94	75,5 ^{aA} ± 4,43	63,0 ^{aB} ± 19,8
ORS 1403	56,0 ^{aA} ± 1,15	56,5 ^{aA} ± 5,80	9,30 ^{cA} ± 0,38	9,35 ^{bA} ± 1,11	8,70 ^{bA} ± 0,48	8,00 ^{bA} ± 1,89	55,0 ^{dA} ± 6,16	54,0 ^{bA} ± 20
BRS 404	55,0 ^{aA} ± 3,27	57,5 ^{aA} ± 7,37	9,30 ^{cA} ± 0,50	9,20 ^{bA} ± 0,67	9,30 ^{aA} ± 0,43	8,20 ^{bB} ± 0,43	59,5 ^{bA} ± 2,08	54,0 ^{bA} ± 11,4
TBIO ATON	56,5 ^{aA} ± 5,26	58,0 ^{aA} ± 7,07	9,10 ^{cB} ± 0,26	10,15 ^{aA} ± 0,34	8,30 ^{bA} ± 0,54	8,70 ^{bA} ± 0,72	52,5 ^{dB} ± 3,32	72,5 ^{aA} ± 12,7
ORS DESTAK	56,5 ^{aA} ± 3,32	58,5 ^{aA} ± 3,32	9,70 ^{bA} ± 0,48	9,50 ^{bA} ± 1,35	9,20 ^{aA} ± 0,42	7,30 ^{bB} ± 1,96	62,0 ^{bB} ± 9,06	68,0 ^{aA} ± 12,2
BRS 394	55,5 ^{aA} ± 5,74	56,5 ^{aA} ± 1,29	10,9 ^{aA} ± 0,77	10,8 ^{aA} ± 0,5	9,60 ^{aA} ± 0,75	9,40 ^{aA} ± 0,50	73,0 ^{aA} ± 3,83	73,0 ^{aA} ± 5,03
TBIO DUQUE	55,0 ^{aA} ± 2,94	55,0 ^{aA} ± 3,27	10,1 ^{bA} ± 0,19	9,30 ^{bB} ± 0,45	7,70 ^{cA} ± 0,62	7,60 ^{bA} ± 0,49	62,0 ^{bA} ± 7,16	49,0 ^{bB} ± 4,69

¹Valores médios ± desvio padrão de 4 repetições.

²Valores com letras minúsculas diferentes apresentam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as cultivares no mesmo local de cultivo.

³Valores com letras maiúsculas diferentes apresentam diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os locais de plantio para cada cultivar.

ABS: Absorção de água; VOL: Volume específico; NS: Nota sensorial; IQ: Índice de qualidade.

Fonte: Da autora (2023).

Rebellato et al. (2017), ao estudarem pão francês elaborado com farinhas biofortificadas com ferro, encontraram valores de volume específico que variaram de 4,7 a 5,93 cm³ g⁻¹, valores inferiores aos encontrados neste estudo. Já Carr et al. (2006), ao estudarem o volume de pão fresco e armazenado sob congelamento, encontraram volume de 5,21 cm³ g⁻¹ para pão fresco, que diminuiu até 4,16 cm³/g com o armazenamento por 6 dias.

O local de cultivo teve influência no volume do pão nas cultivares TBIO ATON e TBIO DUQUE. O pão obtido da cultivar TBIO ATON apresentou maior volume no plantio em Cambuquira, enquanto o pão obtido da cultivar TBIO DUQUE demonstrou melhor resultado no plantio em Boa Esperança. Estas diferenças podem estar ligadas às diferenças apresentadas nos parâmetros de farinografia e alveografia das farinhas, que predizem o comportamento da massa na elaboração do pão.

Para obtenção da Nota Sensorial (NS) dos pães, foram avaliados os seguintes parâmetros: pestana, coloração da casca, coloração do miolo, textura da casca, alveolagem do miolo, lastro e relaxamento, sabor, aroma e salto do forno. Para medição da nota sensorial usou-se uma escala de 0 a 10, onde 0 é o nível mais baixo das características sensoriais e 10 o nível mais alto.

Os resultados de avaliação sensorial dos pães obtidos das cultivares plantadas em Boa Esperança variaram de 7,70 a 9,80, conforme mostrado na Tabela 17. Para esse plantio, a maioria das cultivares apresentou excelente resultado, sendo o pão com pior avaliação sensorial aquele produzido a partir da farinha da cultivar TBIO DUQUE. Já na avaliação sensorial dos pães obtidos das cultivares de Cambuquira, as notas ficaram entre 7,30 e 9,40, sendo as notas mais baixas para os pães obtidos das cultivares ORS DESTAK e TBIO DUQUE.

Os baixos índices de aceitação sensorial para cultivar TBIO DUQUE já eram esperados, visto que essa cultivar foi classificada como trigo doméstico, ou seja, não apresenta força de glúten suficiente para elaboração de pão francês, a não ser em combinação de blends com outras farinhas.

Com relação às outras cultivares, é possível observar que os pães obtidos apresentaram boa aceitação, evidenciando que estas farinhas podem ser utilizadas a nível industrial, na elaboração desses produtos, obtendo-se ao final um pão francês com as características sensoriais desejáveis, crosta crocante e acastanhada atraente, um agradável aroma torrado e uma textura de miolo macio e elástico (CARR et al., 2006).

Os resultados da avaliação sensorial desse trabalho, são melhores que os relatados por Carr et al. (2006), que realizaram estudo sensorial com 87 consumidores, a fim de avaliar a aceitação de pão francês pré-assado congelado, quanto a quesitos relacionados à aparência, cor,

sabor, aroma e textura. No estudo em questão, foi utilizado escala hedônica de 9 pontos, onde 1 correspondia a “desgostei extremamente” e 9 correspondia a “gostei extremamente”. Os pães avaliados obtiveram notas entre 6,7 e 7,6 para os quesitos avaliados, sendo as melhores notas para brilho e firmeza do miolo.

O local de cultivo influenciou de forma significativa os resultados da avaliação sensorial das cultivares TBIO SINTONIA, BRS 404 e ORS DESTAK, sendo as cultivares de Boa Esperança melhor avaliadas pelos consumidores. Essas diferenças podem estar ligadas às divergências evidenciadas no teor proteico dos grãos, glúten úmido, valor de W, dentre outros fatores que afetam a qualidade e força da farinha, refletindo na sua aplicação.

A fim de avaliar a qualidade geral dos pães obtidos, desde a avaliação da massa até o produto final, foi gerado um índice de qualidade para cada um dos pães levando em consideração a capacidade de absorção de água, tempo de desenvolvimento da massa, tolerância à fermentação, volume específico dos pães, pestana, coloração da casca, coloração do miolo, textura da casca, alveolagem do miolo, lastro e relaxamento, sabor, aroma e salto do forno.

O resultado do índice de qualidade é mostrado na Tabela 17. A nota máxima para o índice de qualidade, se todos os atributos tivessem nota máxima de avaliação seria 92 pontos. Os valores obtidos variaram de 52,5 a 75,5 para os pães obtidos das cultivares de Boa Esperança e 49,0 a 72,5 para os pães elaborados com as farinhas obtidas no plantio em Cambuquira. Dentre os pães avaliados aqueles que apresentaram qualidade mais baixa foram os obtidos das cultivares ORS 1403 independente do local de cultivo, TBIO ATON de Boa Esperança, BRS 404 e TBIO DUQUE obtidos do plantio em Cambuquira.

Esses resultados de qualidade mais baixa estão diretamente ligados a avaliação das características da massa durante a elaboração dos pães, visto que quando foram considerados apenas os quesitos sensoriais não foram obtidas notas tão baixas. Essa avaliação é de suma importância visto que, atributos como absorção de água, tempo de desenvolvimento da massa e fermentação são parâmetros determinantes para obtenção de pão francês com qualidade superior, no entanto, neste trabalho, é possível observar que esses quesitos não comprometeram de forma significativa as características sensoriais dos produtos.

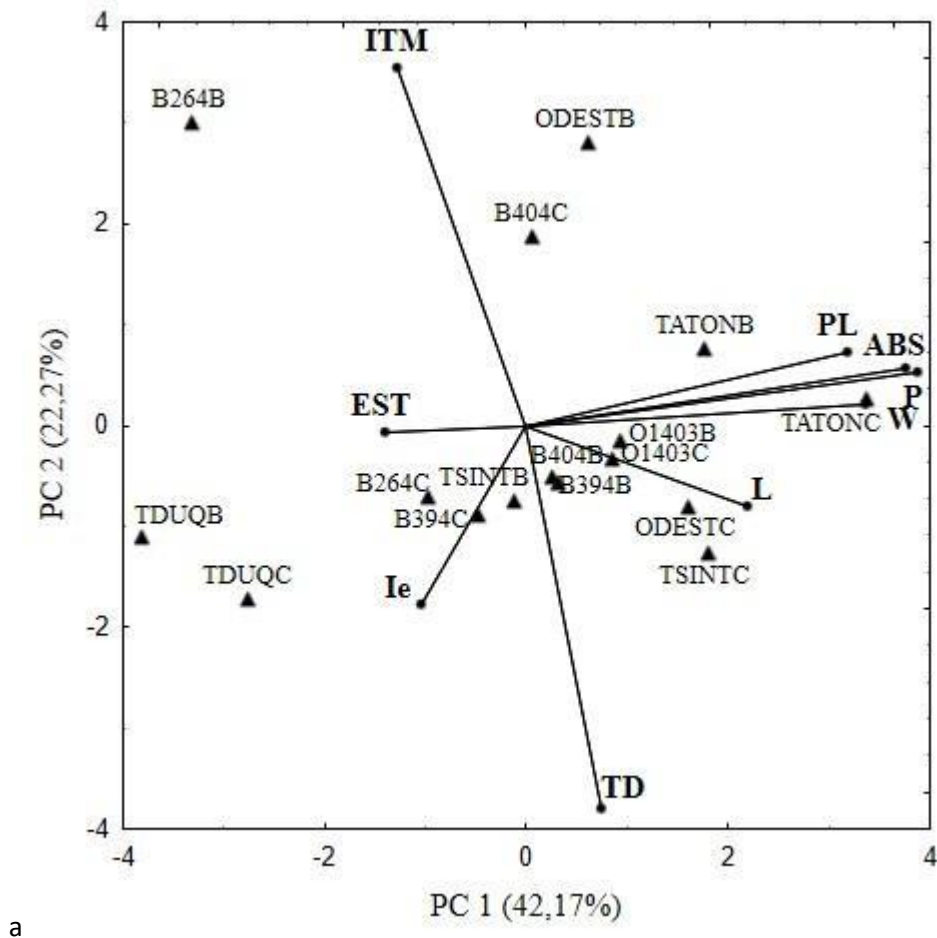
5.6 Análise de componentes principais

A análise de componentes principais (ACP ou PCA), foi utilizada para determinar as características de qualidade dos genótipos analisados, a partir de suas propriedades reológicas

de farinografia e alveografia, bem como, das características tecnológicas e sensoriais do pão francês.

A Figura 23 mostra a projeção das variáveis estudadas no primeiro grupo de ACP, definida no primeiro plano por 2 fatores (1 e 2), os quais descrevem cerca de 42% e 22% de variância, respectivamente. O gráfico mostra que as variáveis cujos vetores estão próximos uns dos outros representam variáveis positivas e fortemente correlacionadas entre si.

Figura 23 – Análise de componentes principais dos parâmetros de farinografia e alveografia da farinha obtida das oito cultivares cultivadas em Boa Esperança e Cambuquira.



Variáveis: ABS: Absorção de água; TD: Tempo de desenvolvimento; EST: Estabilidade; ITM: Índice de Tolerância à Mistura; W: Energia de deformação; P: Tenacidade; L: Extensibilidade; P/L: Configuração e Equilíbrio da Curva; IE: Índice de elasticidade.

Cultivares: B264C: BRS 264 Cambuquira; B264B: BRS 264 Boa Esperança; TSINTC: TBIO SINTONIA Cambuquira; TSINTB: TBIO SINTONIA Boa Esperança; O1403C: ORS 1403 Cambuquira; O1403B: ORS 1403 Boa Esperança; B404C: BRS 404 Cambuquira; B404B: BRS 404 Boa Esperança; TANTONC: TBIO ANTON Cambuquira; TANTONB: TBIO ANTON Boa Esperança; ODESTC: ORS DESTAK Cambuquira; ODESTB: ORS DESTAK Boa Esperança; B394C: BRS 394 Cambuquira; B394B: BRS 394 Boa Esperança; TDUQC: TBIO DUQUE Cambuquira; TDUQB: TBIO DUQUE Boa Esperança.

Fonte: Da autora (2023).

Se correlacionam fortemente os parâmetros de P/L, Absorção, P, L e W. Essa correlação pode ser explicada pelo fato de que, farinhas com maior capacidade de absorção de água, são consideradas farinhas mais fortes, ou seja, apresentam maior força de glúten (W), bem como, mais tenacidade e menos extensibilidade da massa, que reflete em um valor de P/L mais elevado.

As cultivares TBIO ANTON, independentemente do local de cultivo, se caracterizaram melhor pelos parâmetros de P/L, Absorção, P e W, se destacando por apresentar o maior valor de força de glúten (W), bem como, maior valor de P/L. Por outro lado, as cultivares ORS 1403 (independe do local de cultivo), BRS 404 de Boa Esperança, BRS 394 de Boa Esperança, ORS DESTAK de Cambuquira e TBIO SINTONIA de Cambuquira, foram melhor representados pelo valor de L.

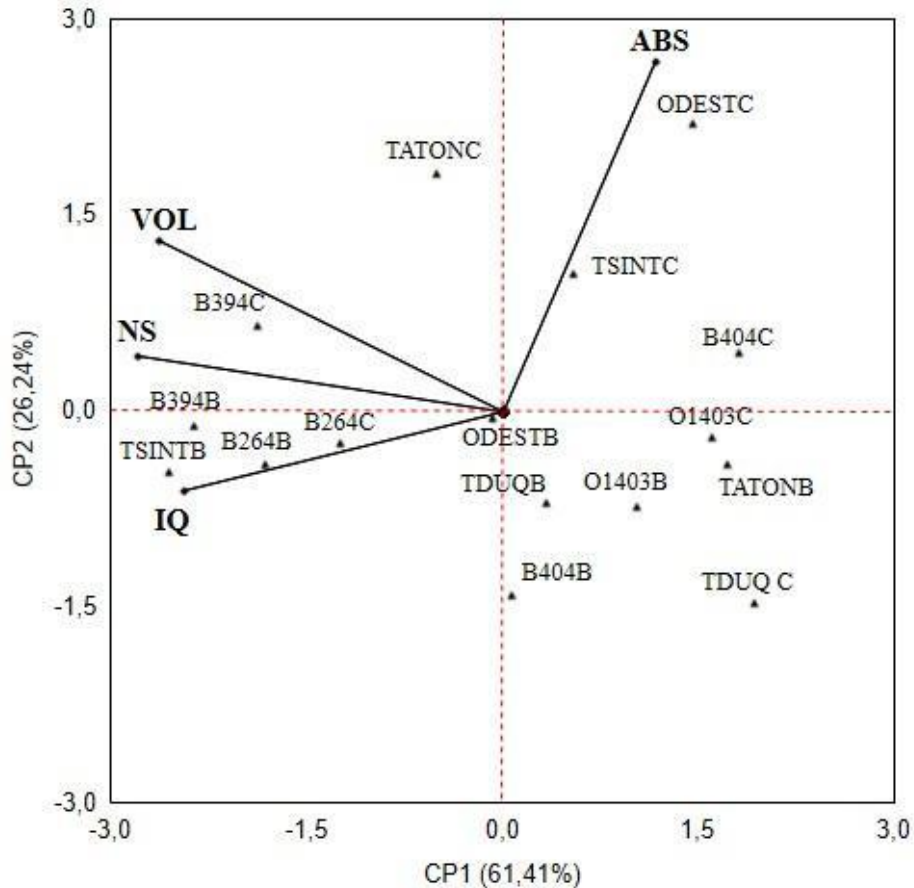
As cultivares BRS 264 de Cambuquira, TBIO SINTONIA de Boa Esperança, BRS 394 de Cambuquira e TBIO DUQUE ((independe do local de cultivo), foram melhor representados pelos parâmetros de estabilidade e índice de elasticidade. Já as cultivares BRS 264 de Boa Esperança, ORS DESTAK de Boa Esperança e BRS 404 de Cambuquira, foram agrupadas por apresentar os valores mais altos de índice de tolerância à mistura (ITM), demonstrando serem as farinhas com menor força de glúten, dentre as avaliadas, no entanto, ainda assim apresentam bons resultados de força de glúten.

A Figura 24 mostra a projeção das variáveis estudadas, sendo que o CP1 descreve 61% de variância, enquanto o CP2 define cerca de 26%. Os parâmetros de Volume, Nota Sensorial e Índice de qualidade se correlacionaram fortemente, visto que as cultivares que possuem maior volume, conseqüentemente também apresentaram melhor nota sensorial e melhor índice de qualidade.

A cultivar ORS DESTAK cultivada em Cambuquira, se caracterizou por apresentar maior capacidade de absorção de água, por outro lado, apresentou menor valores de volume, nota sensorial e índice de qualidade que outras cultivares, indicando pães de qualidade inferior com relação às outras cultivares.

A cultivar BRS 394 cultivada em Cambuquira se destacou por apresentar melhores resultados de nota sensorial e volume, demonstrando que os pães obtidos apresentaram características sensoriais superiores. Por outro lado, as cultivares BRS 394 cultivadas em Boa Esperança, TBIO SINTONIA cultivada em Boa Esperança e BRS 264 (independentemente do local de cultivo), também demonstraram bons resultados de nota sensorial e índice de qualidade, fortalecendo os resultados obtidos de reologia e glúten da farinha, que predisseram boa qualidade para panificação.

Figura 24 – Análise de componentes principais dos parâmetros de qualidade dos pães franceses das farinhas obtidas das oito cultivares cultivadas em Boa Esperança e Cambuquira.



Variáveis: ABS: Absorção; VOL: Volume específico; NS: Nota Sensorial; IQ: Índice de qualidade.
 Cultivares: B264C: BRS 264 Cambuquira; B264B: BRS 264 Boa Esperança; TSINTC: TBIO SINTONIA Cambuquira; TSINTB: TBIO SINTONIA Boa Esperança; O1403C: ORS 1403 Cambuquira; O1403B: ORS 1403 Boa Esperança; B404C: BRS 404 Cambuquira; B404B: BRS 404 Boa Esperança; TANTONC: TBIO ANTON Cambuquira; TANTONB: TBIO ANTON Boa Esperança; ODESTC: ORS DESTAK Cambuquira; ODESTB: ORS DESTAK Boa Esperança; B394C: BRS 394 Cambuquira; B394B: BRS 394 Boa Esperança; TDUQC: TBIO DUQUE Cambuquira; TDUQB: TBIO DUQUE Boa Esperança.

Fonte: Da autora (2023).

As cultivares ORS DESTAK e TBIO DUQUE cultivados em Boa Esperança apresentaram pão de qualidade intermediária quando comparada às outras cultivares, demonstrando valores de volume e índice de qualidade mais baixos.

O restante das cultivares se caracterizaram por apresentar baixos valores dos parâmetros avaliados, demonstrando que os pães obtidos apresentam qualidade inferior. Dentre estas, a cultivar TBIO DUQUE plantada em Cambuquira foi o que apresentou menor índice de qualidade, assim como baixa nota sensorial. Esse resultado pode ser explicado pelo menor valor de P/L dessa cultivar, visto que a relação entre a tenacidade e elasticidade reflete na

capacidade de absorção de água pela farinha, e conseqüentemente, na capacidade de expansão da massa, refletindo no volume do pão e na sua aceitação sensorial.

Para as características de qualidade do pão, foi possível observar que o local de cultivo influenciou nos parâmetros de todas as cultivares, com exceção apenas da cultivar BRS 264. Como já mencionado anteriormente, essas diferenças podem ser explicadas pela composição química e nutricional do solo de cultivo, ou condições climáticas durante a colheita.

6 CONCLUSÕES

A avaliação física e físico-química dos grãos evidencia que as cultivares avaliadas apresentam boa qualidade. A extração da farinha de trigo das oito cultivares plantadas em Boa Esperança e Cambuquira é viável. A maioria das cultivares apresentam excelente qualidade, se destacando pela obtenção de farinhas fortes, além de apresentar coloração clara, cuja busca na indústria moageira é constante, no entanto, seu processo de extração industrial precisa ser avaliado para aumentar o rendimento das farinhas obtidas.

A avaliação reológica das farinhas corrobora com os resultados físico-químicos, e indicam que a maioria das cultivares estudadas produzem farinhas com glúten forte, demonstrando seu potencial para a indústria moageira para aplicação em produtos de panificação.

Os resultados das análises dos grãos e farinhas evidenciam a influência das condições de cultivo nas oito cultivares, demonstrando a importância dos fatores climáticos e da adubação de base, para obtenção de trigos com maior qualidade industrial.

A classificação das farinhas demonstra que a farinha da cultivar TBIO DUQUE não é indicada para elaboração de pães, o que reflete em menor qualidade quando aplicada nesse produto, devendo ser utilizada para fins domésticos, ou como trigo branqueador em blends, devido à sua coloração mais clara.

Os pães franceses obtidos, em sua maioria, apresentam bom volume e boa aceitabilidade das suas características sensoriais, constatando que as farinhas obtidas possuem qualidade industrial para a elaboração de pães, mesmo com classificação de trigo melhorador.

REFERÊNCIAS

- AACC, Approved methods of the American association of cereal chemists. **Guidelines for measurement of volume by rapeseed displacement**. 7 ed., 2 v., St, Paul, Minnesota, 2000.
- ABIP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PANIFICAÇÃO E CONFEITARIA. Pão francês é o preferido dos Brasileiros. Pouso Alegre, 2023.
<https://www.abip.org.br/site/pao-frances-e-o-preferido-dos-brasileiros/> . Acesso em: 25 ago. 2023.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Panificação - Pão tipo francês Diretrizes para avaliação da qualidade e classificação NBR16170:2013**. Rio de Janeiro, 2013.
- ABITRIGO - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO TRIGO. Pesquisa da abitrigo indica estabilidade na moagem de trigo em 2022. Pouso Alegre, 2023. Disponível em: <https://www.abitrigo.com.br/pesquisa-da-abitrigo-indica-estabilidade-na-moagem-de-trigo-em-2022/#:~:text=Pesquisa%20da%20Abitrigo%20indica%20estabilidade%20na%20moagem%20de%20trigo%20em%202022,-%C3%81rea%20de%20imprensa&text=A%20compila%C3%A7%C3%A3o%20de%20dados%20referentes,trigo%20mo%C3%ADdo%20no%20ano%20anterior>. Acesso em: 25 ago. 2023.
- AGROLINK. Seca reduz produção de trigo na Europa. Pouso Alegre, 2023. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/noticias/seca-reduz-producao-de-trigo-na-europa_482433.html#:~:text=A%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20trigo%20na,indica%20pelo%20relat%C3%B3rio%20da%20produ%C3%A7%C3%A3o. Acesso em: 05 nov. 2023.
- AHMED, H. G. M. D.; MUSTAFA, S. Designate the inheritance pattern of yield related indices in spring wheat. **J. Agric. Basic Sci**, v. 2, n. 01, 2017.
- ALMEIDA, Eveline Lopes; CHANG, Yoon Kil. Effect of the addition of enzymes on the quality of frozen pre-baked French bread substituted with whole wheat flour. **LWT**, v. 49, n. 1, p. 64-72, 2012.
- BARANZELLI, Julia et al. Changes in enzymatic activity, technological quality and gamma-aminobutyric acid (GABA) content of wheat flour as affected by germination. **LWT**, v. 90, p. 483-490, 2018.
- BEACH, Robert H. et al. Combining the effects of increased atmospheric carbon dioxide on protein, iron, and zinc availability and projected climate change on global diets: a modelling study. **The Lancet Planetary Health**, v. 3, n. 7, p. e307-e317, 2019.
- BERTOFT, Eric. Understanding starch structure: Recent progress. **Agronomy**, v. 7, n. 3, p. 56, 2017.

BETA, Trust; LI, Wende; APEA-BAH, Franklin B. Flour and bread from black, purple, and blue-colored wheats. In: **Flour and breads and their fortification in health and disease prevention**. Academic Press, 2019. p. 75-88.

BIOTRIGO GENETICA. TBIO ATON CERRADO.2023. Disponível em: <https://biotrigo.com.br/cultivares/tbio-aton/>. Acesso em: 15.nov.2023.

BHARATHI, Vimala SK; JIAN, Fuji; JAYAS, Digvir S. Study on 300 t of wheat stored in corrugated steel bin for two years in Canada. Part I–Temperature and moisture profiles of the grain. **Journal of Stored Products Research**, v. 100, p. 102057, 2023.

BOEHM JR, Jeffrey D. et al. Genetic analysis of kernel texture (grain hardness) in a hard red spring wheat (*Triticum aestivum* L.) bi-parental population. **Journal of Cereal Science**, v. 79, p. 57-65, 2018.

BOUKID, Fatma et al. A compendium of wheat germ: Separation, stabilization and food applications. **Trends in Food Science & Technology**, v. 78, p. 120-133, 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF, p.398, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010. **Regulamento técnico de identidade e de qualidade do trigo**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, p. 2-4, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola. Portaria nº 4, de 11 de janeiro de 2021. Aprova o Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a cultura de trigo de sequeiro no Estado de Minas Gerais, ano-safra 2020/2021. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 14 jan. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscosseguro/programanacionaldezoneamentoagricoladeriscoclimatico/portarias/safravigente/minasgerais/word/PORTN04TRIGODESEQUEIROMG.ret.pdf>. Acesso em: 12 nov.2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Resolução RDC nº 711, de 1 de julho de 2022. **Resolução dispõe sobre os requisitos sanitários dos amidos, biscoitos, cereais integrais, cereais processados, farelos, farinhas, farinhas integrais, massas alimentícias e pães**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 1 jul. 2022.

CALDEIRA, N. Q. N. et al. Diversidade de trigos, tipificação de farinhas e genotipagem. **Biociência e Desenvolvimento**, v. 1, n. 1, p. 44-48, 2003.

CARR, Laura G. et al. Physical, textural and sensory characteristics of 7-day frozen part-baked French bread. **LWT-Food Science and Technology**, v. 39, n. 5, p. 540-547, 2006.

CAPPELLI, Alessio et al. Predictive models of the rheological properties and optimal water content in doughs: An application to ancient grain flours with different degrees of refining. **Journal of Cereal Science**, v. 83, p. 229-235, 2018.

- CARDOSO, Rossana VC et al. Physicochemical characterization and microbiology of wheat and rye flours. **Food Chemistry**, v. 280, p. 123-129, 2019.
- CORP-ET-PA-P&D-000059. Especificação técnica de produto acabado. 2021. Disponível em: <https://dc1wsesuite.jmacedo.com.br/softexpert/workspace?page=3200231,73>. Acesso em: 26 set.2022.
- CHAVOUSHI, Mahsa et al. Relationships between grain, flour, and dough quality characteristics and solvent retention capacity tests of twelve triticale cultivars and parental species. **Food Chemistry**, v. 371, p. 131283, 2022.
- COLLINS, Helen M. et al. Variability in fine structures of noncellulosic cell wall polysaccharides from cereal grains: potential importance in human health and nutrition. **Cereal Chemistry**, v. 87, n. 4, p. 272-282, 2010.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Trigo Análise Mensal**. 2023. Disponível em :<https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-trigo>. Acesso em: 20 jul.2023.
- COSTA, Mariana Souza. **Avaliação da qualidade industrial de linhagens de trigo por meio de métodos físico-químicos, reológicos e de panificação**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita, São José do Rio Preto, SP. 2013.
- DELCOUR, Jan A.; HOSENEY, R. Carl. **Principles of cereal science and technology**, **AACC International**. Inc., St. Paul, MN, USA, p. 229-235, 2010.
- DEROOVER, Lise et al. Modifying wheat bran to improve its health benefits. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 60, n. 7, p. 1104-1122, 2020.
- DHUA, Subhamoy et al. Composition, characteristics and health promising prospects of black wheat: A review. **Trends in food science & technology**, v. 112, p. 780-794, 2021.
- DONELSON, J. R. et al. Prediction of test weight from a small volume specific gravity measurement. **Cereal chemistry**, v. 79, n. 2, p. 227-229, 2002.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Trigo. **Embrapa Trigo, Passo Fundo**. Pouso Alegre, 2023. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/trigo.htm> . Acesso em: 16 jun. 2023.
- FAN, Mingsheng et al. Improving crop productivity and resource use efficiency to ensure food security and environmental quality in China. **Journal of experimental botany**, v. 63, n. 1, p. 13-24, 2012.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Wheat production statistics**. Pouso Alegre, 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data> , Acesso em: 10 ago. 2023.
- FELDMANN, Neuri Antonio et al. QUALIDADE DE GRÃOS DE TRIGO. **Revista Inovação: Gestão e Tecnologia no Agronegócio**, v. 2, p. 188-212, 2023.

FERREIRA, Daniel Furtado. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Científica Symposium**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 36-41, jul./dez. 2008.

FERREIRA, Eloisi Galindo. **Estudo para estabelecer os parâmetros de relação entre o teor de cinzas e a colorimetria na farinha de trigo**. 2019. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, PR, 2019.

FURLAN, Flávia Juliana Ferreira. **Caracterização agrônômica e qualidade industrial da farinha de linhagens melhoradas de trigo para a região dos Campos Gerais**. 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR, 2018.

FRAKOLAKI, Georgia et al. Chemical characterization and breadmaking potential of spelt versus wheat flour. **Journal of cereal science**, v. 79, p. 50-56, 2018.

FRANCESCHI, Lucia de et al. Fatores pré-colheita que afetam a qualidade tecnológica de trigo. **Ciência Rural**, v. 39, p. 1625-1632, 2009.

GERITS, Lien R. et al. Lipases and their functionality in the production of wheat-based food systems. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 13, n. 5, p. 978-989, 2014.

GNABA, Abdu. Anthropologie des mangeurs de pain. **Anthropologie des mangeurs de pain**, p. 1-194, 2011.

GOESAERT, Hans et al. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. **Trends in food science & technology**, v. 16, n. 1-3, p. 12-30, 2005.

GOLEA, Camelia Maria; CODINĂ, Georgiana Gabriela; OROIAN, Mircea. Prediction of wheat flours composition using fourier transform infrared spectrometry (FT-IR). **Food Control**, v. 143, p. 109318, 2023.

GUARIENTI, E. M. **Qualidade industrial de trigo**. 2nd. Passo Fundo: Ed. EMBRAPA-CNPT, p. 1-36, 1996.

GUARIENTI, Eliana M. et al. Avaliação do efeito de variáveis meteorológicas na qualidade industrial e no rendimento de grãos de trigo pelo emprego de análise de componentes principais. **Food Science and Technology**, v. 23, p. 500-510, 2003.

GUTKOSKI, Luiz Carlos et al. Características tecnológicas de genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) cultivados no cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 786-792, 2007.

GUTKOSKI, Luiz Carlos et al. Efeito do período de maturação de grãos nas propriedades físicas e reológicas de trigo. **Food Science and Technology**, v. 28, p. 888-894, 2008.

HĂDĂRUGĂ, Daniel I. et al. Differentiation of rye and wheat flour as well as mixtures by using the kinetics of Karl Fischer water titration. **Food chemistry**, v. 195, p. 49-55, 2016.

- HEMDANE, Sami et al. Wheat (*Triticum aestivum* L.) bran in bread making: A critical review. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, v. 15, n. 1, p. 28-42, 2016.
- HIDALGO, A.; BRANDOLINI, A. Bread: Bread from Wheat Flour. In: **Encyclopedia of Food Microbiology**, vol 1. Elsevier Ltd, Academic Press, 2014. p. 303-308.
- ICC, Standard methods of the International Association for Cereal Science and Technology. 1 **Determination of ash in cereals and cereal products**. Vienna, Austria, 2003. Disponível em: <https://www.icc.or.at/publications/icc-standards/standards-overview/104-1-standardmethod>. Acesso em: 01 jul 2023.
- KALINIEWICZ, Zdzisław; MARKOWSKA-MENDIK, Agnieszka; WARECHOWSKA, Małgorzata. An analysis of the correlations between the hardness index and selected physicochemical properties of wheat grain. **Journal of Cereal Science**, v. 110, p. 103643, 2023.
- KAUR, Rupinder; KAUR, Harinderjeet; SRIVASTAVA, Puja. Role of tryptophan content in determining gluten quality and wheat grain characteristics. **Heliyon**, v. 8, n. 10, 2022.
- KIBAR, Hakan. Influence of storage conditions on the quality properties of wheat varieties. **Journal of Stored Products Research**, v. 62, p. 8-15, 2015.
- 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, p. 957-961, 1999.
- KITISSOU, P. Un nouveau paramètre alvéographique: l'indice d'élasticité (Ie). **Industries des Céréales**, n. 92, p. 9-17, 1995.
- KOROMPOKIS, Konstantinos; DELCOUR, Jan A. Components of wheat and their modifications for modulating starch digestion: Evidence from in vitro and in vivo studies. **Journal of Cereal Science**, p. 103743, 2023.
- LEMMENS, Elien et al. Impact of cereal seed sprouting on its nutritional and technological properties: A critical review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 18, n. 1, p. 305-328, 2019.
- LI, Jiacong et al. Characterization of ash content in wheat flour using data fusion. **Infrared Physics & Technology**, v. 133, p. 104792, 2023.
- MANDARINO, J.M.G. **Aspectos importantes para a qualidade do trigo** Londrina: EMBRAPA/CNPSo. 32p. (EMBRAPA/CNPSo. Documentos, 60), 1993.
- MANDARINO, J. M. G. **Componentes do trigo: características físico-químicas, funcionais e tecnológicas**, Londrina: EMBRAPA/CNPSo, 36p. (EMBRAPA/CNPSo. Documentos, 75), 1994.
- MANLEY, M. et al. Assessment of variance in the measurement of hectolitre mass of wheat, using equipment from different grain producing and exporting countries. **Biosystems engineering**, v. 103, n. 2, p. 176-186, 2009.

- MARTI, Alessandra et al. Characterization of common wheat flours (*Triticum aestivum* L.) through multivariate analysis of conventional rheological parameters and gluten peak test indices. **LWT-Food Science and Technology**, v. 64, n. 1, p. 95-103, 2015.
- MERAH, Othmane et al. Ash content might predict carbon isotope discrimination and grain yield in durum wheat. **New Phytologist**, v. 149, n. 2, p. 275-282, 2001.
- MELINI, Francesca et al. Current and forward-looking approaches to technological and nutritional improvements of gluten-free bread with legume flours: a critical review. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, v. 16, n. 5, p. 1101-1122, 2017.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. Zoneamento agrícola 2020, 2023. Disponível em: <https://mapa-indicadores.agricultura.gov.br/publico/extensions/Zarc/Zarc.html>. Acesso em: 26.nov.2023.
- MIRANDA, Martha Z de; DEMORI, Cláudia; LORINI, Irineu. **Qualidade do trigo brasileiro – safra 2004**. Passo Fundo: Ed. Embrapa Trigo, 92p 2005.
- MORETTO, Eliane; FETT, Roseane. **Processamento e análise de biscoitos**. 1ª ed. São Paulo: Editora Varela, 1998.
- NUTTALL, J. G. et al. Models of grain quality in wheat—A review. **Field crops research**, v. 202, p. 136-145, 2017.
- ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnología de alimentos**: Componentes dos alimentos e processos. Porto Alegre: Artmed Editora, 2005.
- ORTOLAN, Fernanda. **Genótipos de trigo do Paraná – Safra 2004: Caracterização e fatores relacionados à alteração da cor de farinha**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2006.
- ORTOLAN, Fernanda et al. Effect of extruded wheat flour and pre-gelatinized cassava starch on process and quality parameters of French-type bread elaborated from frozen dough. **Food Research International**, v. 76, p. 402-409, 2015.
- PAREYT, Bram et al. Lipids in bread making: Sources, interactions, and impact on bread quality. **Journal of Cereal Science**, v. 54, n. 3, p. 266-279, 2011.
- PEQUENO, Diego NL et al. Climate impact and adaptation to heat and drought stress of regional and global wheat production. **Environmental Research Letters**, v. 16, n. 5, p. 054070, 2021.
- PERIŠIĆ, Vesna et al. Insecticidal activity of three diatomaceous earths on lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* F., and their effects on wheat, barley, rye, oats and triticale grain properties. **Journal of Stored Products Research**, v. 75, p. 38-46, 2018.
- PERTEN, Harald. Application of the falling number method for evaluating alpha-amylase activity. **Cereal Chemistry**, v. 41, n. 3, p.127-140, 1964.

PERTEN, H. arald Factors influencing of the falling number values. **Separata de Cereal Science Today**, v. 12, n. 12, p.516-519, Dec. 1967.

PERIŠIĆ, Vesna et al. Insecticidal activity of three diatomaceous earths on lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* F., and their effects on wheat, barley, rye, oats and triticale grain properties. **Journal of Stored Products Research**, v. 75, p. 38-46, 2018.

PRÁTICA. Ponto-de-véu: o que é e como atingir o ideal?. Pouso Alegre, 2023. Disponível em : <https://blog.praticabr.com/ponto-de-veu-o-que-e-e-como-atingir-o-ideal/>, Acesso em: 1 ago. 2023.

POLACHINI, Tiago Carregari et al. Post-sprouting thermal treatment of green barley malt to produce functional clean-label ingredients: Impact on fermentation, bread-making properties and bread quality. **Food Research International**, v. 167, p. 112696, 2023.

RAY, Deepak K. et al. Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. **PloS one**, v. 8, n. 6, p. e66428, 2013.

REBELLATO, Ana Paula et al. Mineral bioaccessibility in French breads fortified with different forms iron and its effects on rheological and technological parameters. **Journal of cereal science**, v. 74, p. 56-63, 2017.

RIBEIRO, Marinês Nunes. **Influência do tempo de condicionamento do trigo na qualidade tecnológica da farinha**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. 2009.

ROSA-FILHO, Ottoni. **Effect of the six glutenin loci on selected bread quality traits in wheat**. Oregon State University, 1997.

RUSTGI, Sachin et al. Wheat seed proteins: factors influencing their content, composition, and technological properties, and strategies to reduce adverse reactions. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, v. 18, n. 6, p. 1751-1769, 2019.

SANCHEZ-GARCIA, Miguel et al. Changes in bread-making quality attributes of bread wheat varieties cultivated in Spain during the 20th century. **European Journal of Agronomy**, v. 63, p. 79-88, 2015.

SANTOS, Fernanda G.; AGUIAR, Etienne V.; CAPRILES, Vanessa D. Analysis of ingredient and nutritional labeling of commercially available gluten-free bread in Brazil. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 70, n. 5, p. 562-569, 2019.

SHAO, Yijing et al. Reduction of falling number in soft white spring wheat caused by an increased proportion of spherical B-type starch granules. **Food chemistry**, v. 284, p. 140-148, 2019.

SHAPTER, Frances M.; HENRY, R. J.; LEE, L. S. Endosperm and starch granule morphology in wild cereal relatives. **Plant Genetic Resources**, v. 6, n. 2, p. 85-97, 2008.

SHEWRY, Peter R. et al. Spatial distribution of functional components in the starchy endosperm of wheat grains. **Journal of cereal science**, v. 91, p. 102869, 2020.

SINDUSTRIGO. Classificação do Trigo. Pouso Alegre, 2023. Disponível em: <https://www.sindustrigo.com.br/classificacao-do-trigo/>. Acesso em: 19.nov.2023.

SOUZA, Daiana de Fátima Militão. **Influência do tempo de condicionamento do trigo na qualidade tecnológica da farinha**. 2019. Dissertação (Mestrado profissional em Tecnologia de Alimentos) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, PR. 2019.

STATSOFT, INC. **Statistica** (data analysis software system), version 10. 2010.

TESTER, R. F.; KARKALAS, J.; QI, X. Starch composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, v. 39, n. 2, p. 151–165, 1 mar. 2004.

TOKATLIDIS, I. S. et al. Variation within a bread wheat cultivar for grain yield, protein content, carbon isotope discrimination and ash content. **Field Crops Research**, v. 86, n. 1, p. 33-42, 2004.

TROADEC, Romane et al. Effect of leavening agent on Maillard reaction and the bifidogenic effect of traditional French bread. **Food Chemistry**, v. 393, p. 133387, 2022.

TOSI, Paola et al. Trafficking of storage proteins in developing grain of wheat. **Journal of experimental botany**, v. 60, n. 3, p. 979-991, 2009.

TURNBULL, K. M.; RAHMAN, S. Endosperm Texture in Wheat. **Journal of Cereal Science**, v. 36, p.327-337, 2002.

USDA - US DEPARTMENT OF AGRICULTURE. World agricultural supply and demand estimates. Pouso Alegre, 2023. Disponível em: <https://www.usda.gov/>, Acesso em: 06 ago. 2023.

VAN EEDEN, E.; LABUSCHAGNE, M. T. Sprouting tolerance and falling number in South African hybrid bread wheat cultivars and their parent lines. **Journal of cereal science**, v. 56, n. 3, p. 754-759, 2012.

VERAVERBEKE, Wim S.; DELCOUR, Jan A. Wheat protein composition and properties of wheat glutenin in relation to breadmaking functionality. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 42, n. 3, p. 179-208, 2002.

VETRIMANI, R.; SUDHA, M. L.; RAO, P. Haridas. Effect of extraction rate of wheat flour on the quality of vermicelli. **Food Research International**, v. 38, n. 4, p. 411-416, 2005.

WATERSCHOOT, Jasmien et al. Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches. **Starch-Stärke**, v. 67, n. 1-2, p. 14-29, 2015.

WILLIAMS, Phil et al. Crop quality evaluation methods and guidelines. **Crop quality evaluation methods and guidelines.**, n. 14, Ed. 2., Aleppo, Syria: ICARDA, 1988.

ZHAO, Kaimin et al. 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.

ZÚNIGA, Rigoberto E. et al. New wheat variety INIA 440-K'ANCHAREQ: Selection and agronomic and commercial characterization in Cusco, Peru. **Heliyon**, v. 9, n. 1, 2023.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Imagens dos pães franceses das farinhas obtidas das cultivares de trigo cultivadas em Boa Esperança e Cambuquira.















