



**MAIARA OLIVEIRA FERNANDES**

**SELEÇÃO PARA VÁRIOS CARACTERES AGRONÔMICOS E  
REOLÓGICOS EM MULTIAMBIENTES NO  
MELHORAMENTO DE TRIGO**

**LAVRAS – MG  
2023**

**MAIARA OLIVEIRA FERNANDES**

**SELEÇÃO PARA VÁRIOS CARACTERES AGRONÔMICOS E REOLÓGICOS EM  
MULTIAMBIENTES NO MELHORAMENTO DE TRIGO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas da UFLA, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. José Airton Rodrigues Nunes  
Orientador

Dra. Aurinelza Batista Teixeira Condé  
Coorientadora

**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).**

Fernandes, Maiara Oliveira.

Seleção para vários caracteres agronômicos e reológicos em  
multiambientes no melhoramento de trigo / Maiara Oliveira  
Fernandes. - 2023.

55 p. : il.

Orientador(a): José Airton Rodrigues Nunes.

Coorientador(a): Aurinelza Batista Teixeira Condé.

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

Bibliografia.

1. melhoramento de trigo. 2. componentes de média. 3.  
interação genótipo por ambientes. I. Nunes, José Airton Rodrigues.  
II. Condé, Aurinelza Batista Teixeira. III. Título.

**MAIARA OLIVEIRA FERNANDES**

**SELEÇÃO PARA VÁRIOS CARACTERES AGRONÔMICOS E REOLÓGICOS EM  
MULTIAMBIENTES NO MELHORAMENTO DE TRIGO**

**SELECTION FOR MULTIPLE AGRONOMIC AND RHEOLOGICAL TRAITS IN  
MULTI-ENVIRONMENTS IN WHEAT BREEDING**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas da UFLA, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 29 de junho de 2023.  
Dr. José Maria Villela de Pádua – UFLA  
Dr. Magno Antonio Patto Ramalho – UFLA  
Dr. João Luis da Silva Filho – Embrapa Algodão  
Dra. Aurinelza Batista Teixeira Condé - Epamig

Prof. Dr. José Airton Rodrigues Nunes  
Orientador

Dra. Aurinelza Batista Teixeira Condé  
Coorientadora

**LAVRAS - MG  
2023**

## AGRADECIMENTOS

É com imensa gratidão e alegria que expresso meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram de forma significativa para a realização desta tese. Este trabalho não teria sido possível sem o apoio, orientação e incentivo de pessoas especiais que estiveram ao meu lado ao longo desta jornada.

Primeiramente, gostaria de agradecer ao Professor José Airton por sua orientação dedicada. Suas orientações não apenas me ajudaram academicamente, mas também moldaram meu pensamento crítico e minha abordagem à pesquisa. Agradeço também à Pesquisadora Aurinelza, minha co-orientadora, por sua expertise no campo de estudo e apoio ao longo do processo, que foram essenciais para manter o foco e a direção deste projeto.

Ao Professor Magno Antonio Patto Ramalho, colaborador fundamental, expresso minha profunda gratidão. Sua contribuição foi valiosa, com percepções significativas que enriqueceram substancialmente esta pesquisa. Estendo meus agradecimentos a todos os demais professores que participaram do meu percurso acadêmico. Seus ensinamentos, conselhos e críticas construtivas moldaram toda minha visão e me prepararam para este desafio.

Agradeço aos meus pais por seu apoio incondicional, amor e crença em mim. E ao Vitor, que sinto uma gratidão especial. Sua paciência, compreensão e encorajamento foram a base que me sustentou durante os momentos finais e mais desafiadores dessa jornada.

Por fim, gostaria de agradecer a todos os amigos e colegas que estiveram ao meu lado na condução de todo o trabalho, em especial à Brena Kelly, que sempre se fez presente durante o doutorado, oferecendo apoio moral e incentivando meu crescimento acadêmico e pessoal.

Este trabalho representa não apenas minha dedicação, mas também o apoio e colaboração de muitos. Cada um de vocês contribuiu de maneira única para esta conquista, e por isso sou profundamente grata e feliz por compartilhar este marco com todos vocês.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e do Programa de pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Muito obrigada!

## RESUMO GERAL

A triticultura vem crescendo com a expansão do cultivo na região do cerrado brasileiro, contudo grandes desafios são expostos. Majoritariamente, as cultivares atualmente recomendadas para esta região foram desenvolvidas em programas de melhoramento conduzidos na região Sul do Brasil. Na medida que há notórias diferenças macroambientais, o desenvolvimento e avanço de populações de melhoramento, bem como a avaliação da adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares nas condições específicas torna-se relevante. Esta tese foi estruturada em dois artigos, os quais têm por objetivo: *i*) a identificação e seleção de populações segregantes superiores em um programa de melhoramento de trigo por meio da estimação de componentes de médias; *ii*) o estudo da adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares comerciais de trigo recomendadas para a região de Minas Gerais com foco em caracteres agrônômicos e de qualidade de farinha. Para o primeiro artigo, foram geradas populações de trigo a partir de um dialelo envolvendo 16 linhagens, avaliadas quanto aos caracteres altura de plantas, produtividade de grãos e peso de mil grãos. Em 2019, 70 populações F<sub>2</sub> e três testemunhas (as cultivares BRS 264, BRS 404 e TBIO Sintonia) foram avaliadas em experimento no delineamento parcialmente replicado (*p-rep*) na estação experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG). Na safra de 2021, as populações F<sub>3</sub> foram avaliadas em experimento conduzido no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária da UFLA (CDCTA). O experimento foi realizado também em delineamento *p-rep*. Procedeu-se às análises por safra e combinada com testemunhas comuns e análise multivariada com a utilização do índice de seleção Z. A partir das médias ajustadas estimou-se os componentes genéticos de média. O teste F foi significativo para todos os caracteres, exceto para produtividade na geração F<sub>3</sub>. As acurácias obtidas são consideradas altas, exceto para produtividade na geração F<sub>3</sub>. A acurácia de seleção ao usar o índice I<sub>z</sub> foi de 43%, considerada moderada. Foram identificadas populações promissoras com base em  $m + a'$ . Para o estudo de adaptabilidade e estabilidade, foram avaliadas 11 cultivares comerciais de trigo em diferentes ambientes de cultivo no estado de Minas Gerais. Foram avaliadas as características agrônômicas: rendimento de grãos, peso de mil grãos e altura de plantas; e de qualidade de farinha: número de queda, peso do hectolitro, extração, índice de elasticidade, relação P/L, força do glúten e luminosidade. Análises de variância foram feitas para todos os caracteres e, em sequência, procedeu-se ao teste Scott-Knott. As análises de adaptabilidade e estabilidade foram feitas pelos métodos GGE biplot e índice Z com gráfico radar. Foram identificadas diferenças entre as cultivares quanto a adaptabilidade e, sobretudo, quanto a estabilidade. Também foi possível distinguir ambientes semelhantes que podem ser agrupados em mega-ambientes.

**Palavras-chave:** Dialelo; componentes de média; índice de seleção; interação genótipos por ambientes; melhoramento de trigo.

## GENERAL ABSTRACT

Wheat cultivation has been growing with the expansion of cultivation in the Brazilian *cerrado* region, however major challenges are exposed. Mostly, the cultivars currently recommended for this region were developed in breeding programs conducted in southern Brazil. As there are notable macro environmental differences, the development and advancement of breeding populations, as well as the assessment of adaptability and phenotypic stability of cultivars under specific conditions, becomes relevant. This thesis was structured in two articles, which aim to: i) the identification and selection of superior segregating populations in a wheat breeding program through the estimation of mean components; ii) the study of adaptability and phenotypic stability of commercial wheat cultivars recommended for the region of Minas Gerais with a focus on agronomic traits and flour quality. For the first article, wheat populations were generated from a diallel involving 16 lines, evaluated for plant height, grain yield and thousand-grain weight. In 2019, 70 F<sub>2</sub> populations and three controls (the cultivars BRS 264, BRS 404 and TBIO Sintonia) were evaluated in an experiment in a partially replicated design (p-rep) at the experimental station of the Agricultural Research Company of Minas Gerais (EPAMIG). In the 2021 harvest, the F<sub>3</sub> populations were evaluated in an experiment conducted at the Center for Scientific and Technological Development in Agriculture at UFLA (CDCTA). The experiment was also carried out in a p-rep design. The analyzes were carried out by season and combined with common controls and multivariate analysis using the Z selection index. From the adjusted means, the genetic components of the mean were estimated. The F test was significant for all traits, except for productivity in the F<sub>3</sub> generation. The accuracies obtained are considered high, except for productivity in the F<sub>3</sub> generation. The selection accuracy when using the I<sub>z</sub> index was 43%, considered moderate. Promising populations were identified based on  $m + a'$ . For the study of adaptability and stability, 11 commercial wheat cultivars were evaluated in different growing environments in the state of Minas Gerais. Some agronomic characteristics were evaluated: grain yield, weight of a thousand grains and plant height and flour quality characteristics: falling number, hectoliter weight, extraction, elasticity index, P/L ratio, gluten strength and luminosity. Analysis of variance was carried out for all characters and, subsequently, the Scott-Knott test was carried out. Adaptability and stability analysis were carried out using the GGE biplot and Z index with radar graph methods. Differences were identified between cultivars in terms of adaptability and, above all, in terms of stability. It was also possible to distinguish similar environments that can be grouped into mega environments.

**Keywords:** Diallel, mean components; selection index; genotype by environment interaction; wheat breeding.

## SUMÁRIO

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
|            | <b>PRIMEIRA PARTE.....</b>  | <b>9</b>  |
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>  | <b>10</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS .....</b>  | <b>11</b> |
|            | <b>SEGUNDA PARTE.....</b>   | <b>12</b> |
|            | <b>ARTIGO 1 - ESTIMATIVAS DE COMPONENTES DE MÉDIAS PARA<br/>CARACTERES AGRONÔMICOS EM TRIGO (Triticum aestivum L.).....</b>   | <b>13</b> |
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>16</b> |
| <b>2</b>   | <b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>  | <b>18</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Linhagens parentais, cruzamentos dialélicos e populações.....</b>  | <b>18</b> |
| <b>2.2</b> | <b>Análises estatístico-genética .....</b>  | <b>19</b> |
| <b>2.3</b> | <b>Estimação dos componentes de média.....</b>  | <b>20</b> |
| <b>2.4</b> | <b>Análise envolvendo os três caracteres .....</b>  | <b>20</b> |
| <b>3</b>   | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>   | <b>21</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS .....</b>  | <b>26</b> |
|            | <b>ARTIGO 2 - ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE FENOTÍPICA DE<br/>CULTIVARES COMERCIAIS DE TRIGO (Triticum aestivum L.) QUANTO<br/>A CARACTERES AGRONÔMICOS E DE QUALIDADE DE FARINHA EM<br/>MINAS GERAIS .....</b> | <b>29</b> |
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>32</b> |
| <b>2</b>   | <b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>  | <b>34</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Caracteres agronômicos .....</b>   | <b>35</b> |
| <b>2.2</b> | <b>Qualidade da farinha .....</b>   | <b>36</b> |
| <b>2.3</b> | <b>Adaptabilidade e estabilidade .....</b>  | <b>38</b> |
| <b>3</b>   | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>   | <b>38</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS .....</b>  | <b>50</b> |
|            | <b>APÊNDICE.....</b>  | <b>54</b> |

**PRIMEIRA PARTE**

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O trigo (*Triticum aestivum*) é o segundo cereal mais produzido no mundo com cerca de 866 milhões de toneladas. Na safra 2022, o Brasil produziu cerca de 10 milhões de toneladas de trigo com produtividade média de 3,19 t.ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2023). A cultura do trigo é mais adaptada a climas amenos, o que explica o fato de o cultivo do trigo no Brasil ocorrer, em maior parte, na região Sul do país, cuja produção corresponde a cerca de 80 % da produção total (IBGE, 2023). Entretanto, a valorização da triticultura nas últimas safras e as vantagens do sistema de cultivo do trigo em relação a outras culturas tem gerado grande interesse dos produtores da região central do Brasil - Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais dentre outros, na utilização do trigo como opção na sucessão de culturas. A produção nessas regiões tem grande potencial competitivo, pois a colheita ocorre no período de entressafra da região sul do país e da Argentina, principal fornecedor do cereal para o Brasil (LOBATO, 2019).

A produção de trigo vem crescendo significativamente em Minas Gerais, principalmente como opção de cultivo no período de entressafra das culturas de verão, a exemplo da soja. A área cultivada com trigo em Minas Gerais passou de 21,5 mil hectares em 2012 para 108,9 mil hectares em 2022 (CONAB, 2023). O crescimento da triticultura no estado aliado ao cenário projetado de expansão do cultivo (SEAPA, 2018), remete à necessidade de obtenção de cultivares adaptadas.

Para atender esta demanda, é possível nos basearmos na avaliação de cultivares já desenvolvidas em programas de melhoramento voltados para outras regiões, o que não necessariamente pode lograr êxito (COELHO *et al.*, 2011). Uma estratégia mais recomendável é iniciar um programa de melhoramento de trigo com o objetivo de intensificar pesquisas voltadas para o desenvolvimento de cultivares de trigo adaptadas às condições macro ambientais e níveis tecnológicos de cultivo nas mesorregiões do Campo das Vertentes e Sul de Minas Gerais, o que contribuirá para maior sustentabilidade da triticultura nestas regiões. As cultivares de trigo a serem lançadas devem, além de apresentar elevada produtividade, associar alta qualidade de farinha e resistência/tolerância aos principais estresses bióticos e abióticos.

Dessa forma, objetivou-se *i)* avaliar e selecionar populações de trigo obtidas em cruzamentos dentro de um programa de melhoramento de trigo da Universidade Federal de Lavras (UFLA); *ii)* avaliar a adaptabilidade e estabilidade de cultivares recomendadas para o cultivo em Minas Gerais para caracteres agrônômicos e de qualidade de farinha.

## REFERÊNCIAS

COELHO, MA de O. *et al.* **Expansão e cultivo da cultura do trigo em Minas Gerais.** 2011.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira – Grãos 2022/23 6º levantamento.** Março, v. 10, nº 6, 2023.

SEAPA – Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio Minas Gerais 2017 a 2027.** p. 1–98, 2018.

LOBATO, Breno. **O cultivo de trigo beneficia sistemas de produção agrícola do Brasil Central.** EMBRAPA Cerrados. Disponível em: <https://www.embrapa.br/cultivos/busca-de-noticias/-/noticia/46875954/cultivo-do-trigo-beneficia-sistemas-de-producao-agricola-do-brasil-central>. 2019

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola.** 2023.

**SEGUNDA PARTE**

**ARTIGO 1 - ESTIMATIVAS DE COMPONENTES DE MÉDIAS PARA  
CARACTERES AGRONÔMICOS EM TRIGO (*Triticum aestivum* L.)**

## RESUMO

A expansão da triticultura em Minas Gerais nos últimos anos remete à necessidade de obtenção de cultivares adaptadas às condições de cultivo no estado. Dessa forma, o primeiro passo de um programa de melhoramento é a identificação de populações promissoras que agreguem características desejáveis. As estimativas dos componentes de média fornecem informações importantes sobre a média e variabilidade potencial dessas populações. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi estimar os componentes genéticos de média ( $m + a$  e  $d$ ) para populações de trigo obtidas a partir de um dialelo entre 16 linhagens de trigo, avaliadas para três caracteres de interesse e para o índice Z. Em 2019, a geração F<sub>2</sub> das populações foi semeada na estação experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) localizada no campus da UFLA, em delineamento parcialmente replicado (*p-rep*), no qual havia 70 populações com uma ou duas repetições e três testemunhas (os cultivares BRS 264, BRS 404 e TBIO Sintonia) repetidas três vezes. A parcela foi composta por uma linha de 1,0 m, com espaçamento entrelinhas de 0,2 m e densidade de semeadura de 50 sementes/ metro linear. Na safra de 2021, as populações F<sub>3</sub> foram avaliadas em experimento conduzido no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária da UFLA (CDCTA). O experimento foi realizado em delineamento *p-rep*, no qual 20 populações tinham apenas uma repetição e as demais 42 populações e as três testemunhas tinham duas repetições. A parcela foi composta por duas linhas de 2,0 m, com espaçamento 0,2 m entrelinhas e densidade de semeadura de 50 sementes/ metro linear. Em ambas as safras foram avaliados os seguintes caracteres: altura de plantas (ALT, cm), produtividade de grãos (PROD, kg.ha<sup>-1</sup>) e peso de mil grãos (PMG, g). Procedeu-se à análise individual (por safra) e análise combinada com testemunhas comuns. A partir das médias fenotípicas ajustadas das populações estimou-se os componentes genéticos de média para cada caráter e população. O índice Z (Iz) foi obtido a partir do somatório dos dados padronizados. O teste F foi significativo para todos os caracteres, exceto para PROD na geração F<sub>3</sub>. As acurácias obtidas foram altas, exceto para PROD na geração F<sub>3</sub>. A acurácia do Iz foi de 0,43, considerada moderada. Em plantas autógamas é esperado que as estimativas de  $m + a$  sejam superiores às estimativas de  $d$ . Contudo, era esperado que as estimativas de  $d$  fossem positivas, o que não ocorreu. Não foi possível identificar populações com média alta e estimativas de  $d$  positivas.

**Palavras-chave:** índice de seleção; dialelo; melhoramento vegetal.

## ABSTRACT

The expansion of wheat crop in Minas Gerais in recent years leads to the need for cultivars adapted to the cultivation conditions in the state. Thus, the first step of a breeding program is the identification of promising populations that add desirable characteristics. Estimates of mean components provide important information about the mean and potential variability of these populations. In this context, the objective of this work was to estimate the average genetic components ( $m+a$  and  $d$ ) for wheat populations obtained from a diallel among 16 wheat lines, evaluated for three traits of interest and for the  $Z$  index. The  $F_2$  generation of the populations was sown at the experimental station of the Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) located on the UFLA campus, in a partially replicated design (p-rep), in which there were 70 populations with one or two replications and three controls (the BRS 264, BRS 404 and TBIO Sintonia cultivars) were repeated three times. The plot consisted of a row of 1.0 m, with spacing between rows of 0.2 m and sowing density of 50 seeds/linear meter. In the 2021 harvest, the  $F_3$  populations were evaluated in an experiment conducted at the Center for Scientific and Technological Development in Agriculture at UFLA (CDCTA). The experiment was carried out in a p-rep design, in which 20 populations had only one replication and the remaining 42 populations and the three controls had two replications. The plot consisted of two rows of 2.0 m, spaced 0.2 m between rows and sowing density of 50 seeds/linear meter. In both seasons, the following traits were evaluated: plant height (ALT, cm), grain yield (PROD,  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) and thousand-grain weight (PMG, g). Individual analysis (by season) and combined analysis with common controls were carried out. Based on the adjusted phenotypic means of the populations, the mean genetic components were estimated for each character and population. The  $Z$  index ( $I_z$ ) was obtained from the sum of standardized data. The  $F$  test was significant for all characters except for PROD in the  $F_3$  generation. The obtained accuracies were high, except for PROD in the  $F_3$  generation. The accuracy of  $I_z$  was 0.43, considered moderate. In autogamous plants it is expected that the  $m+a$  estimates are higher than the  $d$  estimates. However, it was expected that  $d$  estimates would be positive, which did not occur. It was not possible to identify populations with high mean and positive  $d$  estimates.

**Keywords:** selection index; diallel; plant breeding

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo a CONAB (2022) na safra 2022 o Brasil bateu recorde de produção de trigo com cerca de 10,5 milhões de toneladas de grãos, porém a demanda interna ainda é superior à produção, ou seja, ainda é necessária a importação de outros países. A projeção do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) é que haja crescimento anual de 1,4% a.a. no próximo decênio (MAPA 2019). Em Minas Gerais, a triticultura vem crescendo nos últimos 20 anos, principalmente como opção de cultivo no período de entressafra das culturas de verão. A área cultivada com o cereal no estado passou de 22,5 mil hectares em 2010 para 73,2 mil hectares em 2021 (CONAB 2022), elevando a produção de trigo mineiro a um patamar de maior importância no cenário brasileiro.

O crescimento da triticultura em Minas Gerais, especialmente nas mesorregiões Sul/Sudoeste e Campos das Vertentes, remete à necessidade de obtenção de cultivares adaptadas. A primeira estratégia nessa condição é ter um programa de melhoramento visando a obtenção de cultivares adaptadas às condições de cultivo. Na condução de um programa de melhoramento, o mais importante é ter informações a respeito das populações a serem submetidas ao processo seletivo (BERNARDO 2020).

Na escolha das populações, a etapa inicial é identificar os prováveis genitores a serem envolvidos no processo. Nesse contexto existem várias alternativas, a que tem sido mais utilizada é a dos cruzamentos dialelos, ou seja, a hibridação duas a duas dos  $p$  genitores envolvidos. Há diferentes alternativas de se realizarem os dialelos, incluindo o modo em que os genitores serão cruzados, podendo envolver os recíprocos ou não, e quais gerações serão envolvidas nas avaliações dos cruzamentos (CRUZ et al. 2012; BERNARDO 2020).

Uma vez obtidos os dados do dialelo, partimos para o procedimento de análise. Essas análises têm sido realizadas ao longo do tempo por diferentes metodologias, dentre elas a de Griffing (1956), Gardner e Eberhart (1966) e Hayman (1954). A mais utilizada, sobretudo em plantas autógamas, é a de Griffing (1956), que estima as capacidades geral e específica de combinação – CGC e CEC, respectivamente. Diversos trabalhos já foram conduzidos com a cultura do trigo visando estimar CGC e CEC para caracteres relacionados principalmente aos componentes de produção e qualidade de farinha (HASSAN et al. 2007, VALERIO et al. 2009, AKRAM et al. 2011, DHOLARIYA et al. 2014, PATEL et al. 2018) e, mais recentemente, na estimação do potencial de heterose em híbridos de trigo (AKEL et al. 2019, ADHIKARI et al. 2020, EASTERLY et al. 2020, HANAFI et al. 2022, SCHWARZWÄLDER et al. 2022).

No emprego da análise dialélica em casos de desbalanceamento, isto é, quando algumas combinações híbridas não foram obtidas, há alternativas para proceder às análises. Contudo, nessa situação, a utilização de outras estratégias pode fornecer resultados mais comparáveis. Uma delas é a estimação dos componentes de média  $m + a$  e  $d$ , em que:  $m + a$  é a contribuição dos locos em homozigose e  $d$  a contribuição dos locos em heterozigose. A vantagem desse procedimento é que ele possibilita estimar a média esperada das linhagens na geração  $F_{\infty}$ , ou seja, o  $m + a$ . Já a estimativa de  $d$  fornece a contribuição dos locos em heterozigose, conseqüentemente, possibilita comparar as futuras populações segregantes em termos da variância genética que será liberada. Esse procedimento tem sido amplamente utilizado em várias culturas, e no Brasil, especialmente com a cultura do feijoeiro. Infelizmente não foram encontrados relatos do emprego desses componentes de média com a cultura do trigo. Nessa condição, o seu emprego poderá fornecer informações importantes para a escolha de populações de trigo que possam efetivamente produzir novos cultivares adaptadas ao cultivo no estado de Minas Gerais.

Na condução de um programa de melhoramento de trigo vários caracteres devem ser observados para que a futura cultivar tenha sucesso. Para isso, durante o processo de identificação das populações mais promissoras devem ser consideradas mais de uma característica. Quando estão envolvidos múltiplos caracteres, uma alternativa frequentemente usada é estabelecer um índice de seleção envolvendo todos eles. Vários índices têm sido desenvolvidos ao longo do tempo, como o índice ótimo de Smith e Hazel (SMITH 1936, HAZEL 1943), índice de James (1968), índice de Tai (1977), índice de Mulamba e Mock (1978), dentre outros. O índice Z, obtido a partir do somatório dos valores dos caracteres padronizados (MENDES et al. 2009, RAMALHO et al. 2012) apresenta vantagens relacionadas à facilidade de implementação e interpretação. Ao que tudo indica esse índice não foi utilizado com a cultura do trigo, e mais ainda, não foram encontradas informações do seu emprego durante o processo de escolha de populações segregantes em nenhuma espécie cultivada.

Do exposto, neste trabalho objetivou-se selecionar populações segregantes promissoras de trigo por meio de estimativas dos componentes genéticos de média ( $m + a$  e  $d$ ) quanto aos caracteres agrônômicos avaliados, bem como com base no índice Z.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Linhagens parentais, cruzamentos dialélicos e populações

Em 2018, foram realizados cruzamentos dialélicos envolvendo 16 cultivares de trigo (Tabela 1). Os cruzamentos foram obtidos em casa de vegetação do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras (UFLA). As 112 populações F<sub>1</sub> obtidas foram então semeadas em vasos em casa de vegetação para multiplicação das sementes, avançando para a geração F<sub>2</sub>.

**Tabela 1.** Cultivares de trigo usadas na obtenção dos cruzamentos e informações quanto ao obtentor, ciclo e tipo de cultivo.

| Cultivar      | Obtentor | Ciclo                 | Cultivo <sup>(1)</sup> |
|---------------|----------|-----------------------|------------------------|
| BRS 264       | EMBRAPA  | Super precoce/Precoce | Irrigado/Sequeiro      |
| BRS 254       | EMBRAPA  | Precoce               | Irrigado               |
| BRS 248       | EMBRAPA  | Precoce               | -                      |
| BRS 404       | EMBRAPA  | Precoce/Médio         | Sequeiro               |
| BRS 394       | EMBRAPA  | Precoce               | Irrigado               |
| BRS 179       | EMBRAPA  | Médio                 | -                      |
| BRS Guamirim  | EMBRAPA  | Super precoce         | -                      |
| BR 18         | EMBRAPA  | Precoce               | Sequeiro               |
| CD 151        | COODETEC | Médio                 | Irrigado/Sequeiro      |
| CD 123        | COODETEC | Médio                 | -                      |
| CD 104        | COODETEC | Precoce               | -                      |
| CD 154        | COODETEC | Médio                 | Irrigado/Sequeiro      |
| TBIO Sintonia | BIOTRIGO | Precoce               | Irrigado/Sequeiro      |
| IPR Catuara   | IAPAR    | Precoce               | -                      |
| MGS Brilhante | EPAMIG   | Precoce               | Sequeiro               |
| MGS Aliança   | EPAMIG   | Precoce               | Sequeiro               |

‘-’: informação não disponível. <sup>(1)</sup> Sequeiro: para altitudes acima de 800m; Irrigado: para altitudes acima de 400m. Fonte: Do autor (2023).

Durante o avanço das gerações, na F<sub>1</sub> e mesmo na F<sub>2</sub>, houve perdas de algumas populações. Na safra de 2019, a geração F<sub>2</sub> foi semeada na estação experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) localizada em Lavras, Minas Gerais,

em delineamento parcialmente replicado (*p-rep*) (CULLIS *et al.* 2006), no qual havia 70 populações com uma ou duas repetições e três testemunhas repetidas três vezes, as cultivares BRS 264, BRS 404 e TBIO Sintonia. A parcela foi composta por uma linha de 1,0 m, com espaçamento entre linhas de 0,20 m e densidade de sementeira de 50 sementes/ metro linear. Foram avaliados os seguintes caracteres:

- i.* Altura de plantas (cm) – medida da superfície do solo até o ápice da espiga com auxílio de uma régua;
- ii.* Peso de mil grãos (g) – estimado a partir do peso de uma amostra de 100 grãos da parcela;
- iii.* Produtividade de grãos (kg.ha<sup>-1</sup>) – medido a partir do peso de grãos da parcela, em gramas, por meio de balança de bancada e, em seguida, convertido para quilogramas por hectares.

Na safra de 2021, as populações F<sub>3</sub> foram semeadas. Nessa geração 62 populações foram avaliadas em experimento conduzido no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária da Universidade Federal de Lavras (CDCTA). O experimento foi instalado no delineamento *p-rep*, no qual 20 populações tinham apenas uma repetição e as demais 42 populações e as três testemunhas com duas repetições. A parcela foi composta por 2 linhas de 2,0 m, com espaçamento 0,20 m entre linhas e densidade de sementeira de 50 sementes/ metro linear. Foram avaliados os caracteres altura de plantas (cm), peso de mil grãos (g) e produtividade de grãos (kg.ha<sup>-1</sup>).

## 2.2 Análises estatístico-genética

A análise dos dados foi inicialmente realizada por safra, de acordo com o modelo:

$$y_{ij} = \mu + g_i + b_j + e_{ij} \quad (1)$$

em que:  $y_{ij}$  é a observação da parcela que recebeu a  $j$ -ésima repetição da população  $i$ ;  $\mu$  é uma constante;  $g_i$  é o efeito da população  $i$ ;  $b_j$  é o efeito do bloco  $j$ ;  $e_{ij}$  é o efeito do erro associado à observação  $y_{ij}$ .

A partir das médias fenotípicas ajustadas das populações, procedeu-se uma análise combinada das duas gerações, ou seja, análise de grupo de experimentos com testemunhas comuns.

### 2.3 Estimação dos componentes de média

A partir das médias fenotípicas ajustadas das análises combinadas foram estimados os componentes de média. No modelo aditivo-dominante, a média da geração  $F_2$  é igual a  $m + a + d$  e da  $F_3$  é igual a  $m + a + 1/2d$ , em que:  $m$  é o estimador da média,  $a$  é o estimador dos desvios do homozigoto em relação à média e  $d$  é o estimador dos desvios do heterozigoto em relação à média (RAMALHO *et al.*, 2012). Assim,  $m + a$ , que corresponde à média das linhagens na  $F_\infty$ , pode ser estimado a partir do seguinte contraste:

$$m + a = 2\bar{F}_2 - \bar{F}_3 \quad (2)$$

A partir do pressuposto de que a contribuição dos locos em heterozigose é semelhante, pode-se inferir que quanto maior a estimativa de  $d$  a população deverá ter maior variação genética. O  $d$  é obtido pela expressão:

$$d = 2(\bar{F}_2 - \bar{F}_3) \quad (3)$$

em que:  $\bar{F}_2$  e  $\bar{F}_3$  representam as estimativas das médias das populações em cada geração.

### 2.4 Análise envolvendo os três caracteres

Para realização da análise envolvendo simultaneamente os três caracteres, utilizou-se o índice  $Z$  ( $I_z$ ) (MENDES *et al.*, 2009; RAMALHO *et al.*, 2012). Para isso as três características foram padronizadas utilizando a seguinte expressão:

$$Z_{ijk} = \frac{(Y_{ijk} - \bar{Y}_{.jk})}{s_{.jk}} \quad (4)$$

em que:  $Y_{ijk}$  é o valor observado da população  $i$  na geração  $j$  e característica  $k$ ;  $\bar{Y}_{.jk}$  é a média das populações dentro da geração  $j$  para a característica  $k$ ; e  $s_{.jk}$  é o desvio padrão das populações na geração  $j$  para a característica  $k$ .

Como a variável ou índice  $Z$  apresenta distribuição normal padronizada, ocorrem valores de  $Z$  negativos e positivos. Para que todos os valores fossem positivos foi adicionado uma constante igual a cinco. A partir do somatório de  $Z_{ijk}$ , foram obtidos os escores do índice  $Z$  para cada população e geração. Posteriormente, foram realizadas as análises do índice  $Z$  visando estimar a acurácia, parâmetros relacionados aos componentes de médias e

identificação de populações promissoras levando em conta os múltiplos caracteres simultaneamente.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Constatou-se nas análises de variância que o teste F foi significativo para os três caracteres, exceto para a produtividade de grãos na geração F<sub>3</sub> (Tabela 2). Observa-se ainda que a acurácia seletiva pode ser considerada de média a alta para os três caracteres, exceto para a produtividade de grãos na F<sub>3</sub>, conforme classificação sugerida por Resende e Duarte (2007). Deve ser enfatizado que, no caso da produtividade de grãos na geração F<sub>3</sub>, a baixa magnitude da acurácia se deveu a influência de fatores ambientais aleatórios, na medida que o coeficiente de variação experimental foi de 33%, mas também em grande parte à não existência de variância genética significativa entre as populações. A acurácia é um parâmetro que somente reflete adequadamente a precisão com a qual a seleção é praticada quando há diferenças genéticas significativas.

As condições macro ambientais na geração F<sub>3</sub> foram mais favoráveis relativo à geração F<sub>2</sub>, a exemplo do maior aporte de água via irrigação que fora feito no experimento da geração F<sub>3</sub>. Com isso, para todos os caracteres a média da F<sub>3</sub> foi superior em relação a geração F<sub>2</sub>, com acréscimo de 18,6% na altura de plantas, 38% na produtividade de grãos e 4% no peso de mil grãos (Tabela 2, Figura 1). Deve ser salientado que na ausência de estresses, como pode ter ocorrido na geração F<sub>3</sub>, pode ser mais difícil detectar diferenças entre as populações.

**Tabela 2.** Resumo das análises de variância dos caracteres altura de plantas (ALT, cm), produtividade de grãos (PROD, kg.ha<sup>-1</sup>) e peso de mil grãos (PMG, g) e do índice de seleção (Iz) obtido na avaliação de populações segregantes de trigo, nas gerações F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>.

| Parâmetros                | F <sub>2</sub> |          |          | F <sub>3</sub> |       |          | Iz     |
|---------------------------|----------------|----------|----------|----------------|-------|----------|--------|
|                           | ALT            | PROD     | PMG      | ALT            | PROD  | PMG      |        |
| F <sub>C</sub> populações | 3,506          | 3,239    | 4,185    | 1,876          | 1,009 | 7,866    | 1,232  |
| p-valor                   | 1,34E-07       | 1,44E-06 | 6,00E-08 | 0,0228         | 0,50  | 2,64E-09 | 0,1511 |
| Acurácia                  | 0,85           | 0,83     | 0,87     | 0,68           | 0,10  | 0,93     | 0,43   |
| Média                     | 59             | 2021     | 36       | 70             | 2791  | 38       | 15     |

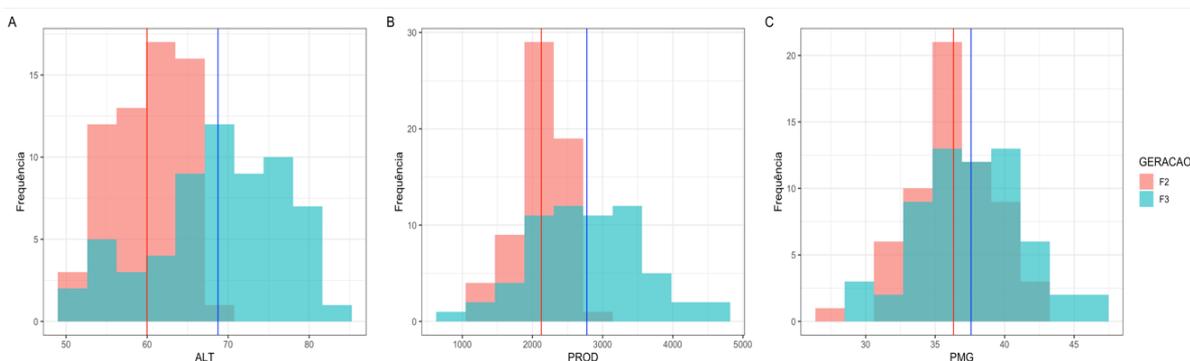
Fonte: Do autor (2023).

Como já mencionado, na seleção de uma população segregante a produtividade não é o único caráter de interesse. Ocorrem outras demandas, no caso do trigo, sem mencionar os aspectos de qualidade de panificação. A altura da planta é uma característica relacionada com

a arquitetura da planta de grande importância, pois está relacionada com a tolerância ao acamamento. O tamanho dos grãos é um componente de produção intimamente relacionado com o rendimento e economicidade. Assim, para decidir qual população dentre as avaliadas reúne melhores condições para a seleção, considerando esses três caracteres, é interessante a utilização de um índice de seleção. A literatura possui uma série de opções (SMITH, 1936; HAZEL, 1943; JAMES, 1968; TAI, 1977; MULAMBA; MOCK, 1978), contudo, o índice deve ser de fácil estimação e interpretação. Nesse quesito, o índice Z se destaca (MENDES *et al.* 2009; RAMALHO *et al.* 2012). Neste trabalho ele foi empregado padronizando as variáveis independentemente nas gerações F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>. Embora pudessem ser adicionados pesos no índice, considerou-se os três caracteres com a mesma importância.

Com relação ao índice (I<sub>z</sub>), os resultados da análise de variância foram coerentes com os obtidos para cada caráter individualmente (Tabela 1). Ressalta-se que a média geral igual a 15 reflete exatamente o esperado, já que após a padronização dos dados foi adicionado uma constante igual a 5 para possibilitar a análise de variância. A acurácia do índice de seleção foi 0,43, considerada baixa segundo classificação de Resende e Duarte (2007).

**Figura 1.** Histogramas das médias de altura de plantas (A), produtividade de grãos (B) e peso de mil grãos (C) nas gerações F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>. As linhas vermelha e azul representam a média geral das gerações F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub> respectivamente.



Fonte: Do autor (2023)

As distribuições de frequência das médias das populações nas gerações F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub> estão apresentadas na figura 1. Os valores mínimos e máximos das produtividades médias de grãos foram de 1271,6 a 2811,4 kg.ha<sup>-1</sup> em F<sub>2</sub> e 869,6 a 4639,7 kg.ha<sup>-1</sup> em F<sub>3</sub>. Para altura de plantas as médias variaram de 50 a 69 cm na geração F<sub>2</sub>, enquanto na geração F<sub>3</sub> foram de 50 a 83 cm. Já para peso de mil grãos, a amplitude de variação foi menos expressiva, com mínimos e máximos de 27,4 a 42,9 g na geração F<sub>2</sub> e 29,9 a 46,4 g na F<sub>3</sub>.

Normalmente na estimação dos componentes genéticos de média  $m + a$  e  $d$  é aconselhável que as gerações envolvidas sejam avaliadas simultaneamente e no delineamento em faixa. Nesse caso é realizado uma restrição na casualização, fazendo com que uma mesma população nas gerações  $g$  e  $g'$  fiquem o mais próximo possível. Com isso, espera-se redução na variação ambiental entre as gerações para uma mesma população (RAMALHO *et al.* 2012). Infelizmente esse trabalho não foi possível, de forma que foi então utilizado uma análise combinada com testemunhas comuns visando minimizar o efeito do ambiente. A partir da média das três testemunhas nas duas gerações foi feito um ajuste nas médias das populações, de forma a compensar aquelas avaliadas no ambiente menos favorável e reduzir o valor daquelas avaliadas no ambiente mais favorável. Esse ajuste se fundamenta no fato de que as testemunhas não apresentam comportamento diferencial diante das variações ambientais (CRUZ *et al.* 2014).

Como era esperado, para todos os três caracteres ocorreu ampla variação nas estimativas de  $m + a$  (Tabela 3). As estimativas de  $m + a$  refletem, como já mencionado, a contribuição dos locos que já estão fixados nas duas linhagens genitoras. Ao mesmo tempo ela indica a média esperada das linhagens obtidas na população segregante na geração  $F_{\infty}$ . Isso porque, não havendo seleção, os efeitos dos locos em heterozigose da geração  $F_1$  serão anulados na geração  $F_{\infty}$ . Em se tratando de plantas autógamas, a contribuição de  $m + a$  para a média de cada população é esperada que seja muito superior à contribuição dos locos em heterozigose (ABREU, 1997; RAMALHO *et al.* 2012). Contudo, em plantas alógamas ocorre o contrário (SCAPIM *et al.* 2006). Entretanto, há evidências que mesmo no milho a contribuição de  $m + a$  tem incrementado em uma proporção maior do que o  $d$  a heterose com o decorrer dos anos (TROYER; WELLIN, 2009).

Com relação às estimativas de  $d$  era esperado, especialmente para a produtividade de grãos, que o  $d$  fosse positivo, isto é, que ocorresse dominância no sentido de aumentar a expressão fenotípica do caráter. Na literatura são encontrados relatos de que ocorre dominância no sentido comentado, isto é, ocorre heterose para produtividade de grãos em trigo (SOUGHY *et al.* 2019; SCHWARZWÄLDER *et al.* 2022). Contudo, há relatos em que a heterose foi praticamente nula (EASTERLY *et al.* 2020), ou seja, os genitores envolvidos na hibridação não se complementavam.

**Tabela 3.** Estimativas dos cinco maiores e menores valores de  $m + a$  e respectivas estimativas de  $d$  para altura de planta (ALT, cm), produtividade de grãos (PROD, kg.ha<sup>-1</sup>) e peso de mil grãos (PMG, g) para populações de trigo.

| <b>Caráter</b>   | <b>População</b>    | <b>m + a</b> | <b>d</b> |
|------------------|---------------------|--------------|----------|
| <b>ALT</b>       | BRS 394 x BRILHANTE | 104,15       | -43,80   |
|                  | CD 123 x BRS 179    | 103,19       | -53,48   |
|                  | SINTONIA x BRS 394  | 102,00       | -41,59   |
|                  | BRS 404 x CD 154    | 100,63       | -46,37   |
|                  | CD151 x CD123       | 51,25        | 6,54     |
|                  | CD151 x BRS179      | 49,22        | 12,82    |
|                  | BRS394 x CD123      | 48,06        | 10,77    |
|                  | BRS394 x CD154      | 40,93        | 21,40    |
|                  | CD123 x BRS254      | 34,19        | 30,81    |
| <b>PROD</b>      | BRS 404 x CD 154    | 7014,71      | -5737,34 |
|                  | BRS 248 x CD 154    | 6956,23      | -4632,92 |
|                  | BRS 404 x CATUARA   | 6704,32      | -4337,38 |
|                  | CD 123 x BRS 179    | 6668,21      | -5020,26 |
|                  | BRS 394 x BRILHANTE | 5638,55      | -3392,75 |
|                  | BRS404 x BRS254     | 1200,22      | 1327,07  |
|                  | CD151 x BRS179      | 598,74       | 1887,42  |
|                  | BRS248 x GUAMIRIM   | 291,92       | 1993,94  |
|                  | ALIANÇA x GUAMIRIM  | 129,59       | 2181,89  |
| BRS264 x CD123   | -433,06             | 2605,27      |          |
| <b>PMG</b>       | BRS 404 x BR 18     | 59,40        | -25,89   |
|                  | SINTONIA x BRS 404  | 50,80        | -17,77   |
|                  | BR 18 x BRILHANTE   | 49,71        | -10,48   |
|                  | CD 151 x CATUARA    | 49,41        | -11,25   |
|                  | CD 151 x SINTONIA   | 48,40        | -10,68   |
|                  | ALIANÇA x BRILHANTE | 30,00        | 6,11     |
|                  | BRS404 x GUAMIRIM   | 29,99        | 4,58     |
|                  | CD151 x ALIANÇA     | 28,40        | 12,51    |
|                  | SINTONIA x BRS179   | 24,85        | 11,17    |
| ALIANÇA x BRS248 | 24,10               | 12,03        |          |

Fonte: Do autor (2023).

A ocorrência de heterose negativa tem sido explicada em função da epistasia do tipo aditivo-aditivo. Estudos de predição genômica e mapeamento associativo relatam grande importância da epistasia aditiva-aditiva para a heterose no caráter produtividade de grãos em populações híbridas advindas de linhagens elite de trigo (JIANG et al. 2017; BOEVEN et al. 2020). Uma outra explicação é que mesmo com o ajuste do ambiente utilizando as testemunhas, a geração  $F_3$  continuou com resposta superior à da geração  $F_2$  e, nessa condição,  $d$  seria negativo. Para todos os caracteres foram obtidas estimativas de  $d$  negativas, contudo, quando se pensa em altura de plantas as estimativas de  $d$  negativas podem ser desejáveis uma vez que plantas muito altas são mais suscetíveis ao acamamento.

A partir da análise de variância das variáveis padronizadas (índice  $Z$ ) estimou-se os componentes de média para as populações. As estimativas de  $m + a$  para  $I_z$  variaram de 5,8 a 23,47, evidenciando que existem populações potencialmente superiores considerando os três caracteres. Por outro lado, as estimativas de  $d$  variaram de -8,56 a 10,76. A correlação entre  $m + a$  e  $d$  foi negativa e alta (-0,95), indicando que maiores valores de  $m + a$  estão associados a menores valores de  $d$ , de modo que não foi possível identificar populações com média alta e  $d$  positivo. Em trigo, a utilização de índices de seleção é comum (OLIVEIRA, 2008, ASSIS, 2011; PATEL et al. 2019), contudo a estimação de componentes de médias a partir do índice  $Z$  não foi encontrada na literatura.

Pode-se concluir que houve variabilidade entre as populações avaliadas, sendo possível identificar populações com médias elevadas para os três caracteres. As estimativas dos componentes de média indicam predominância dos locos em homozigose para todos os caracteres. De modo geral, as populações com maiores médias apresentam valores de  $d$  negativos.

## REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira da Indústria do Trigo. Disponível em: <https://www.abitrigo.com.br/wp-content/uploads/2021/02/IMPORTAAO-DE-TRIGO-2022-8.pdf>. Acesso em: 01/06/2023.
- ADHIKARI, A. *et al.* **Estimation of heterosis and combining abilities of U.S. winter wheat germplasm for hybrid development in Texas.** *Crop Science* 1. 1–16, 2020.
- AKEL, W. *et al.* **Hybrid durum wheat: heterosis of grain yield and quality traits and genetic architecture of anther extrusion.** *Theoretical and Applied Genetics* 132. 921–932, 2019.
- AKRAM, Z. *et al.* **Combining ability estimates of some yield and quality related traits in spring wheat (*Triticum aestivum* L.).** *Pakistan Journal of Botany* 1. 221–231, 2011.
- ABREU, Â.F.B. **Predição do potencial genético de populações segregantes do feijoeiro utilizando genitores inter-raciais.** Tese de doutorado. 79 p, 1997.
- ASSIS, J.C. **Progresso genético em três ciclos de seleção recorrente para tolerância ao calor em trigo.** Tese de doutorado. p69, 2011.
- BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants.** Stemma Press, Woodbury, Minnesota, 422p, 2020.
- BERNARDO, R. **Reinventing quantitative genetics for plant breeding: something old, something new, something borrowed, something BLUE.** *Heredity* 125. p375-385, 2020.
- BOEVEN, P.H.G. *et al.* **Negative dominance and dominance-by-dominance epistatic effects reduce grain-yield heterosis in wide crosses in wheat.** *Science Advances* 6. p1-12, 2020.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim da safra de grãos.** Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso: 20 de Marco, 2022.
- CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S.; REGAZZI A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** Editora UFV, Viçosa, Minas Gerais, v.1, 514p, 2012.
- CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** Editora UFV, Viçosa, Minas Gerais, v. 2, 668p, 2014.
- CULLIS, B.R.; SMITH, A.B.; COOMBES, N.E. **On the design of early generation variety trials with correlated data.** *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics* 11. p381-396, 2006.
- DHOLARIYA, N.D. *et al.* **Combining ability and gene action study for grain yield and its attributing traits in bread wheat.** *Electronic Journal of Plant Breeding* 5. 402–407, 2014.
- EASTERLY, A.C. *et al.* **Evaluation of hybrid wheat yield in Nebraska.** *Crop Science* 60. 1210–1222, 2020.

- GRIFFING, B. **Concept of General and Specific combining ability in relation to diallel crosses systems.** Australian Journal of Biological Science. p463-493, 1956.
- GARDNER, C.O.; EBERHART, A.S. **Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations.** Biometrics 22. p439-452, 1966.
- HANAFI, S.E. *et al.* **Hybrid seed set in relation with male floral traits, estimation of heterosis and combining abilities for yield and its components in wheat (*Triticum aestivum* L.).** Plants 11. p1-19, 2022.
- HASSAN, G. *et al.* **Combining Ability in the F<sub>1</sub> Generations of Diallel Cross for Yield and Yield Components in Wheat.** Sarhad Journal of Agriculture 23. p937, 2007.
- HAZEL, L.N. **The genetic basis for constructing selection indexes.** Genetics 28. p476-490, 1943.
- HAYMAN, B.I. **The theory and analysis of diallel crosses.** Genetics 39. p789-809, 1954.
- JAMES, J.W. **Index Selection with Restrictions.** Biometrics 24. p.1015-1018, 1968.
- JIANG, Y. *et al.* **A quantitative genetic framework highlights the role of epistatic effects for grain-yield heterosis in bread wheat.** Nature genetics 49. p.1741-1745, 2017.
- MAPA - Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2018-2019-2028-2029>>. Acesso em: 20 mar. 2022.
- MENDES, F.F. *et al.* **Index to select the best segregating populations of common bean.** Annual Report of the Bean Improvement Cooperative v. 52. p14-15. 2009
- MULAMBA, N.N.; MOCK, J.J. **Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits.** Egyptian Journal of Genetics and Cytology, v.7, p.40-57, 1978.
- OLIVEIRA, D. M. de. **Seleção em populações de trigo visando tolerância ao estresse de calor.** 2008. Dissertação de mestrado – UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA, VIÇOSA, 2008.
- PATEL, N.A. *et al.* **Combining ability analysis of some yield and quality traits in durum wheat (*Triticum durum* Desf.).** Electronic Journal of Plant Breeding. v. 9, p.1443–1449, 2018.
- PATEL, J.M. *et al.* **Evaluation of selection indices in screening durum wheat genotypes combining drought tolerance and high yield potential.** International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. v. 8, p. 1165-1178, 2019.
- RAMALHO, M.A.P *et al.* **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas.** Editora UFLA, Lavras, 522p, 2012.

RESENDE, M.D.V.; DUARTE, J.B. **Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares.** Pesquisa Agropecuária Tropical 37. p182-19, 2007.

SCAPIM, C.A. *et al.* **Componentes genéticos de médias e depressão por endogamia em populações de milho-pipoca.** Ciência Rural 36. p36-41, 2006.

SCHWARZWÄLDER, L. *et al.* **Hybrid wheat: quantitative genetic parameters and heterosis for quality and rheological traits as well as baking volume.** Theoretical and Applied Genetics 135. p1131-1141, 2022.

SMITH, H.F. **A discriminant function for plant selection.** Annals of eugenics 7. p240-250, 1936.

SOUGHI, H *et al.* **Estimation of heritability and some genetic parameters for yield and yield-related traits of wheat using Diallel design.** J Plant Mol Breed 7. p45-55, 2019.

TAI, G.C.C. **Index selection with desired gains.** Crop Science 17. p182-183, 1977.

TROYER, A.F.; WELLIN, E.J. **Heterosis decreasing in hybrids: yield test inbreds.** Crop Science 49. p1969-1976, 2009.

VALÉRIO, I.P. *et al.* **Combining ability of wheat genotypes in two models of diallel analyses.** Cropp Breeding and Applied Biotechnology 9. p100–107. 2009.

**ARTIGO 2 - ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE FENOTÍPICA DE  
CULTIVARES COMERCIAIS DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) QUANTO A  
CARACTERES AGRONÔMICOS E DE QUALIDADE DE FARINHA EM MINAS  
GERAIS**

## RESUMO

A interação genótipos x ambientes (GE) é frequentemente reportada na cultura do trigo. Para mitigar os efeitos da interação GE na recomendação, tem-se como alternativa a obtenção de cultivares que associem alta adaptabilidade e estabilidade fenotípica, garantindo a segurança alimentar e sustentabilidade do sistema de cultivo. As metodologias GGE biplot e *radarchart* surgiram como ferramentas na análise de dados de ensaios multiambientes no melhoramento de plantas, permitindo aos melhoristas a identificação de genótipos com alto potencial, além de um melhor entendimento da relação entre os caracteres e os ambientes. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a adaptabilidade e estabilidade de cultivares comerciais de trigo cultivadas em diferentes ambientes de cultivo no estado de Minas Gerais quanto a características agronômicas e de qualidade da farinha. Na safra 2020, 11 cultivares comerciais de trigo foram testadas em sete ambientes (CAM1, CAM2, BE1, BE2, ITU, NAZ e PATOS), em delineamento de blocos casualizados (DBC), nos quais foram avaliadas características agronômicas: rendimento de grãos (RG), peso de mil grãos (PMG) e altura de plantas (ALT); e caracteres de qualidade de farinha: número de queda (FNG), peso do hectolitro (PH), extração (EXT), índice de elasticidade (IE), relação P/L (PL), força do glúten (W) e luminosidade (LUM). Análises multiambientes foram feitas para todos os caracteres. Em sequência procedeu-se ao teste de agrupamento de médias Scott-Knott. Depois foram realizadas as análises com modelo GGE biplot e a construção do gráfico radar a partir dos dados padronizados. O efeito de cultivares foi significativo a 5% de probabilidade para todos os caracteres, agronômicos e reológicos, exceto para PMG. As acurácias foram de alta magnitude sugerindo boa precisão experimental. As cultivares BRS 404 e ORS Feroz foram identificadas como mais adaptadas e estáveis considerando múltiplos caracteres. Os ambientes puderam ser agrupados em 3 mega ambientes: CAM2, NAZ e ITU; PATOS e BE1; BE2 e CAM1.

**Palavras-chave:** recomendação de cultivares; GGE biplot; melhoramento de trigo; interação genótipo por ambiente.

## ABSTRACT

The genotype x environment (GE) interaction is frequently reported in wheat. To mitigate the effects of GE interaction on the recommendation, the alternative is to obtain cultivars that combine high adaptability and phenotypic stability, guaranteeing food security and sustainability of the cultivation system. The GGE biplot and radarchart methodologies emerged as tools for analyzing data from multi-environment trials in plant breeding, allowing breeders to identify genotypes with high potential, in addition to a better understanding of the relationship between characters and environments. In this context, the objective of this work was to evaluate the adaptability and stability of commercial wheat cultivars grown in different growing environments in the state of Minas Gerais in terms of agronomic characteristics and flour quality. In the 2020 harvest, 11 commercial wheat cultivars were tested in seven environments (CAM1, CAM2, BE1, BE2, ITU, NAZ and PATOS), in a randomized block design (DBC), in which agronomic characteristics were evaluated: grain yield (RG), thousand grain weight (PMG) and plant height (ALT); and flour quality traits: falling number (FNG), hectoliter weight (PH), extraction (EXT), elasticity index (IE), P/L ratio (PL), gluten strength (W) and lightness (LUM). Multi-environment analyzes were performed for all characters. Next, the Scott-Knott mean grouping test was carried out. Then the analyzes were carried out with the GGE biplot model and the construction of the radar graph from the standardized data. The effect of cultivars was significant at 5% probability for all agronomic and rheological traits, except for PMG. The accuracies were of high magnitude suggesting good experimental precision. The BRS 404 and ORS Feroz cultivars were identified as more adapted and stable considering multiple characters. The environments could be grouped into 3 mega environments: CAM2, NAZ and ITU; DUCKS and BE1; BE2 and CAM1.

**Keywords:** cultivar recommendation; GGE biplot; wheat breeding; genotype by environment interaction.

## 1 INTRODUÇÃO

O trigo é um cereal de grande importância socioeconômica mundial, compondo a base alimentar de grande parte da população mundial. No Brasil, a produção é concentrada na região sul, no Rio Grande do Sul e Paraná, contudo, a triticultura tem crescido no sul de Minas Gerais e outras regiões do cerrado (CONAB, 2023), aumentando a demanda por cultivares adaptadas para essas regiões.

A recomendação de cultivares é o objetivo final de qualquer programa de melhoramento de plantas. A obtenção de genótipos superiores pode ser baseada no ideótipo almejado, isto é, um genótipo ideal, que agregue características fisiológicas, morfológicas, bioquímicas e anatômicas, as quais otimizam o desempenho do genótipo em termos de produtividade e qualidade (DONALD, 1968, 1987). Por exemplo, em trigo, a menor estatura de plantas está relacionada à maior resistência ao acamamento, que confere maior qualidade dos grãos e maior capacidade de afilamento, conseqüentemente, maior número de espiga por área (SIGNORINI, 2022). A concepção do ideótipo em um programa de melhoramento depende do ambiente alvo e do contexto socioeconômico para os quais a potencial cultivar será recomendada (ANDRIVON *et al.*, 2013).

É comum em programas de melhoramento a condução de ensaios multi-ambientes ao longo do ciclo, que permitem *i)* a avaliação da performance dos genótipos em condições ambientais diferentes e, conseqüentemente, o estudo da interação genótipo-ambiente (GE); *ii)* o estudo da adaptabilidade e estabilidade fenotípica; *iii)* predizer os *breeding values* dos genótipos em outros ambientes (BURGUEÑO *et al.*, 2012).

A interação GE ocorre porque diferentes conjuntos de genes são expressos em diferentes ambientes ou porque o mesmo conjunto de genes responde de maneira diferente em ambientes distintos (YANG; BAKER, 1991), sendo intensificada quando ocorre alteração no ranking dos genótipos dentre os ambientes, chamada interação complexa. Quando a diferença no desempenho dos genótipos nos ambientes é constante, não implicando em alteração no ranking dos genótipos de um ambiente para outro, a interação é chamada simples (RAMALHO *et al.*, 2012).

No caso da produtividade de grãos não é novidade que o efeito da interação GE exerce grande impacto no desempenho de cultivares de trigo (BOSI *et al.*, 2022; KAYA *et al.*, 2006; SAID *et al.*, 2022). Já para os caracteres de qualidade de farinha alguns trabalhos relatam que a magnitude da interação GE é menor (ou até mesmo nula) que os efeitos de genótipo e

ambiente (NEHE *et al.*, 2019; WILLIAMS *et al.*, 2008) e outros evidenciam a ocorrência da interação GE (BOSI *et al.*, 2022; DENČIĆ *et al.*, 2010; TAGHOUTI *et al.*, 2010).

O melhoramento visando qualidade de farinha é um dos grandes desafios contemporâneos (JIN *et al.*, 2016), isso porque na avaliação dos caracteres associados à qualidade da panificação geralmente são feitos testes destrutivos e dispendiosos, levando os melhoristas a adiar a avaliação dessas características para as últimas fases do ciclo de melhoramento, uma vez que o número de genótipos avaliados no final do ciclo é reduzido (MICHEL *et al.*, 2018).

A utilização de cultivares com alta adaptabilidade e estabilidade é uma alternativa na mitigação dos problemas acarretados pela interação GE nos programas de melhoramento de plantas (COAN *et al.*, 2018). A adaptabilidade pode ser definida como a adaptação ecológica a ambientes diversos (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992) ou ainda como a habilidade intrínseca de um determinado genótipo em aproveitar de modo benéfico um estímulo ambiental (MARIOTTI *et al.*, 1976). Por outro lado, a estabilidade fenotípica refere-se à capacidade de um genótipo em apresentar desempenho semelhante ao desempenho médio de todos os genótipos avaliados (LIN; BINNS, 1988; RAMALHO *et al.*, 2012).

Existem diversas metodologias para o estudo da adaptabilidade e estabilidade de cultivares: Annicchiarico (1992), AMMI (*Additive Main effects and Multiplicative Interaction*) (ZOBEL *et al.*, 1988), Lin e Binns (1988), Wricke (1965), Eberhart e Russell (1966), Cruz *et al.* (1989), Nunes *et al.* (2005), GGE biplot (YAN; TINKER, 2006). Dentre estas, as metodologias de análise gráfica, como os *radarcharts* e os *biplots*, têm se tornado valiosas para o melhoramento de plantas por permitirem uma visualização mais clara das diferenças de resposta dos genótipos, facilitando a identificação daqueles com alta adaptabilidade e estabilidade.

O GGE biplot foi proposto por Yan (2000) e tem sido amplamente utilizado em pesquisas de melhoramento de plantas (ALAYEW; WONDALE; TESHAGER, 2014; BILGIN *et al.*, 2015; BOSI *et al.*, 2022; OLANREWAJU *et al.*, 2021; YILDIRIM *et al.*, 2018). A teoria por trás da análise GGE biplot é baseada na análise de componentes principais (PCA) e na decomposição dos valores singulares (SVD). Por meio da análise GGEBiplot é possível gerar diferentes biplots que fornecem uma representação gráfica do inter-relacionamento dos genótipos e ambientes.

Outra metodologia muito usada são os *radarcharts*, conhecidos também como *spider charts* ou 'bola-cheia-bola-murcha' (AHMED *et al.*, 2022; SILVA *et al.*, 2016). Nunes *et al.* (2005) propuseram a utilização dos *radarcharts* para o estudo da estabilidade e adaptabilidade

de cultivares baseado na padronização das médias dos genótipos em cada ambiente. A partir dos dados padronizados ( $Z_{ij}$ ) é possível estimar o coeficiente de variação (CV) e a média de  $Z_{ij}$ , que representam respectivamente a estabilidade e adaptabilidade de cada genótipo. Em outras palavras, as cultivares com maior média  $Z_{ij}$  são mais adaptadas e as cultivares com menor CV são consideradas mais estáveis.

Nesse contexto, este trabalho teve por objetivos elucidar o efeito da interação genótipo por ambientes no desempenho de cultivares de trigo cultivadas no cerrado brasileiro, mais especificamente em Minas Gerais, e avaliar a adaptabilidade e estabilidade fenotípica dessas cultivares para caracteres relacionados à qualidade da farinha e características agronômicas de interesse.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Em 2020 foram avaliados 11 cultivares em diferentes ambientes no estado de Minas Gerais, de acordo com a tabela abaixo.

**Tabela 1.** Informações de ciclo e classe comercial das cultivares de acordo com os obtentores.

| <b>Cultivares</b> | <b>Ciclo</b>          | <b>Classe comercial</b> |
|-------------------|-----------------------|-------------------------|
| BRS 264           | Super precoce/Precoce | Pão                     |
| BRS 394           | Precoce               | Pão                     |
| BRS 404           | Precoce/Médio         | Pão                     |
| ORS 1403          | Médio                 | Pão                     |
| ORS Destak        | Médio/Precoce         | Pão                     |
| ORS Senna*        | Super precoce         | Melhorador              |
| ORS Feroz*        | Precoce               | Melhorador              |
| ORS Guardiã*      | Precoce/Médio         | Pão                     |
| TBIO Aton         | Médio                 | Pão                     |
| TBIO Duque        | Precoce               | Pão/Branqueador         |
| TBIO Sintonia     | Precoce               | Melhorador              |

\*Cultivares avaliadas somente em três ambientes (Nazareno, Itutinga e Patos de Minas). Fonte: Do autor (2023).

As cultivares foram avaliadas nos ambientes abaixo:

- i. Boa Esperança (BE1) – primeira época de plantio (05/04/2020), na Agropecuária Santo Antônio;

- ii. Boa Esperança (BE2) – segunda época de plantio (20/04/2020) na Agropecuária Santo Antônio;
- iii. Cambuquira (CAM1) – primeira época de plantio (21/04/2020) na Fazenda Floresta do Grupo 3 Irmãos;
- iv. Cambuquira (CAM2) – segunda época de plantio (05/05/2020) na Fazenda Floresta do Grupo 3 Irmãos;
- v. Itutinga (ITU) – Fazenda 3W;
- vi. Nazareno (NAZ) – Fazenda G7;
- vii. Patos de Minas (PATOS) – Estação experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG).

Nos municípios de Boa Esperança e Cambuquira foram instaladas unidades demonstrativas de 1000 m<sup>2</sup> para cada cultivar. Nessa área foram colhidas aleatoriamente 4 amostras de 3 linhas de 5m de comprimento que foram usadas como parcelas experimentais para as avaliações. Nos demais locais as parcelas foram compostas por 5 linhas de 5,0 m de comprimento, espaçadas de 0,20 ou 0,17 m, considerando-se a área útil como sendo as 3 linhas centrais da parcela. O delineamento utilizado foi o de blocos completos (DBC) com 4 repetições. As cultivares ORS Senna, ORS Feroz e ORS Guardião foram avaliadas somente em três ambientes: Nazareno, Itutinga e Patos de Minas. Detalhes relacionados ao sistema de cultivo e manejo cultural estão descritos na Tabela 5 (APÊNDICE).

## 2.1 Caracteres agronômicos

As características agronômicas avaliadas foram:

- i. Rendimento de grãos (RG, kg.ha<sup>-1</sup>) – rendimento em gramas da área útil da parcela posteriormente transformado para kg.ha<sup>-1</sup> e corrigido para umidade de 13%;
- ii. Altura de plantas (ALT, cm) – medida com auxílio de régua da superfície do solo até o ápice da espiga desconsiderando as aristas;
- iii. Peso de mil grãos (PMG, g) – peso estimado a partir do peso de cem grãos;

Os dados agronômicos foram analisados por análise de variância individual (por ambiente) de acordo com o seguinte modelo:

$$y_{ij} = \mu + g_i + b_j + e_{ij} \quad (1)$$

em que:

$y_{ij}$ : observação da parcela que recebeu a cultivar  $i$  no bloco  $j$ ;

$\mu$ : média geral;

$g_i$ : efeito da cultivar  $i$ ;

$b_j$ : efeito do bloco  $j$ ;

$e_{ij}$ : erro experimental associado à observação  $y_{ij}$ , sendo  $e_{ij} \sim N(0, \sigma_e^2)$ . ;

Após a análise de variância individual procedeu-se à análise de variância conjunta segundo modelo abaixo:

$$y_{ijk} = \mu + a_k + b_{j(k)} + g_i + ga_{ik} + e_{ijk} \quad (2)$$

em que:

$y_{ijk}$ : observação da parcela que recebeu a cultivar  $i$  no bloco  $j$  no ambiente  $k$ .

$\mu$ : média geral;

$a_k$ : efeito do ambiente  $k$ ;

$b_{j(k)}$ : efeito do bloco  $j$  no ambiente  $k$ ;

$g_i$ : efeito da cultivar  $i$ ;

$ga_{ik}$ : efeito da interação da cultivar  $i$  com o ambiente  $k$ ;

$e_{ijk}$ : erro experimental associado à observação  $y_{ijk}$ , sendo  $e_{ij} \sim N(0, \sigma_e^2)$ .

## 2.2 Qualidade da farinha

Amostras de grãos das cultivares colhidos em cada ambiente foram enviadas para o moinho JMacêdo, onde as seguintes características foram avaliadas:

- i. Peso do hectolitro (PH, kg) – quantificação da massa de 1 hectolitro (100 L) de grãos com auxílio de balança Dallemolle de 250mL e metodologia descrita no Regulamento Técnico de identidade e qualidade do trigo (BRASIL, 2001).
- ii. Número de queda (FNG) – estimado de acordo com o método padronizado internacionalmente n. 56-81B do *Approved methods of the American Association of Cereals Chemists* (AACC, 2000).
- iii. Extração (EXT, %) – calculado a partir da seguinte equação:

$$EXT = \frac{\text{Farinha de rotura} + \text{Farinha de redução}}{\text{Quantidade moída}} * 100 \quad (3)$$

- iv. Cor da farinha (LUM) – corresponde à luminosidade da cor, que varia de zero (preto) a 100 (branco) avaliada em colorímetro CR-400/410 – Konica Minota pelo sistema CIE (*Comission Internationale de l'Eclairage*).

- v. Alveografia – o alveograma foi realizado pelo método 54-30<sup>a</sup> da AACC (2000), obtendo-se as características força de glúten ( $W$ ,  $10^{-4}$  J), tenacidade ( $P$ ), extensibilidade ( $L$ ) e então a razão  $P/L$  que expressa o equilíbrio da massa.
- vi. Índice de elasticidade ( $IE$ , %) – o índice de elasticidade relaciona a extensão da massa à força aplicada e foi calculado pela seguinte equação:

$$IE = \frac{P_{200}}{P_{m\acute{a}x}} * 100 \quad (4)$$

As parcelas experimentais de cada cultivar colhidas em determinado ambiente foram agrupadas, de modo a compor uma amostra única da cultivar para tal ambiente. Esta amostra foi usada nas avaliações de qualidade de farinha.

As análises de variância dos caracteres reológicos foram realizadas segundo o modelo abaixo:

$$y_{ik} = \mu + a_k + g_i + e_{ik} \quad (5)$$

em que:

$y_{ik}$  é a observação da parcela que recebeu a cultivar  $i$  no ambiente  $k$

$\mu$  é a média geral

$a_k$  é o efeito do ambiente  $k$

$g_i$  é o efeito da cultivar  $i$

$e_{ik}$  é o erro experimental associado à observação  $y_{ik}$ .

A partir das análises foram obtidas as médias ajustadas das cultivares e então procedeu-se o teste de agrupamento de médias Scott-Knott (SCOTT; KNOTT, 1974) para todos os caracteres. Como medidas de qualidade experimental foram estimados o coeficiente de variação ( $CV_e$ ) e acurácia seletiva ( $r_{g\hat{g}}$ ) (RESENDE; DUARTE, 2007) de acordo com as seguintes equações:

$$CV_e = \frac{\sqrt{\sigma_e^2}}{\mu} \quad (6)$$

$$r_{g\hat{g}} = \sqrt{1 - \frac{1}{Fc}} \quad (7)$$

### 2.3 Adaptabilidade e estabilidade

O estudo da adaptabilidade e estabilidade de cultivares foi realizado usando a análise gráfica proposta por Nunes *et al.* (2005). Inicialmente as médias das cultivares foram padronizados de acordo com a equação:

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_{.j}}{s_{.j}} \quad (8)$$

em que

$Z_{ij}$  é o valor padronizado da cultivar  $i$  para a característica  $j$ ;

$x_{ij}$  é a média da cultivar  $i$  para a característica  $j$ ;

$\bar{x}_{.j}$  é a média geral da característica  $j$ ;

$s_{.j}$  é o desvio padrão das médias das cultivares na característica  $j$ .

Ao padronizar as médias são obtidos valores acima e abaixo de zero, uma vez que a média passa a ser zero. Para que todos os valores fossem positivos uma constante foi somada aos valores padronizados. Procedeu-se então à construção do gráfico *radarchart* utilizando as médias padronizadas de cada cultivar para cada caráter avaliado. O índice  $Z$  foi calculado para os múltiplos caracteres. Foram também estimados a média e CV dos valores padronizados  $Z_{ij}$ , como parâmetros indicativos da adaptabilidade e estabilidade fenotípica. A metodologia GGE biplot (YAN; TINKER, 2006) foi usada na construção dos gráficos média vs estabilidade e outros biplots no estudo da interação GE, com auxílio do pacote Metan (OLIVOTO, 2020). Todas as análises foram feitas em ambiente R (R CORE TEAM, 2021).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da análise de variância conjunta para os caracteres agronômicos está disposto na Tabela 2. Pode-se observar que o efeito de cultivares foi significativo para rendimento de grãos (RG) e altura de plantas (ALT) a 5% de probabilidade, indicando que existe diferença entre as cultivares para tais caracteres. Para peso de mil grãos (PMG) não houve diferença significativa entre as cultivares.

O coeficiente de variação foi estimado em 4 %, 22 % e 25 % para ALT, RG e PMG respectivamente. As acurácias obtidas foram de 0,99 para ALT e 0,74 para RG, podendo ser classificadas como altas, indicando boa precisão experimental (RESENDE; DUARTE, 2007). Para PMG não foi possível estimar a acurácia pois o teste F para efeito de cultivar foi menor que 1,0. A média geral de produtividade de grãos das cultivares foi de 2,9 t.ha<sup>-1</sup>, abaixo da média brasileira de 2022 (3,2 t.ha<sup>-1</sup>) (IBGE, 2023).

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância conjunta para os caracteres rendimento de grãos (RG, kg.ha<sup>-1</sup>), altura de plantas (ALT, cm) e peso de mil grãos (PMG, g).

| FV                  | GL  | RG       |                    | ALT    |         | PMG    |                     |
|---------------------|-----|----------|--------------------|--------|---------|--------|---------------------|
|                     |     | QM       | Teste F            | QM     | Teste F | QM     | Teste F             |
| Local (E)           | 6   | 46853545 | 110,56*            | 1664,5 | 176,63* | 9257   | 72,94*              |
| Cultivar (G)        | 10  | 930644   | 2,19*              | 865,77 | 91,87*  | 114,71 | 0,904 <sup>ns</sup> |
| GE                  | 48  | 432350   | 1,02 <sup>ns</sup> | 39,1   | 4,15*   | 114    | 0,89 <sup>ns</sup>  |
| Resíduo             | 174 | 423777   | -                  | 9,42   | -       | 126,92 | -                   |
| Cve (%)             |     | 22       |                    | 4      |         | 25     |                     |
| <i>rg</i> $\hat{g}$ |     | 0,74     |                    | 0,99   |         | -      |                     |
| Média geral         |     | 2988,9   |                    | 76,8   |         | 45,3   |                     |
| Mínimo              |     | 1407,7   |                    | 58,3   |         | 27,9   |                     |
| Máximo              |     | 4794,8   |                    | 99,7   |         | 79,1   |                     |

Significância: ‘\*’ 0,05 ‘ns’ – não significativo.

Fonte: Do autor (2023).

A Tabela 3 resume a análise de variância para os caracteres reológicos. Para todas as características, o efeito de cultivares foi significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, indicando que pelo menos uma das cultivares teve média estatisticamente diferente às demais. O Cve variou de 1 % (LUM) a 51 % (P/L), enquanto a acurácia seletiva variou de 0,75 (EXT) a 0,92 (IE e W), consideradas como alta ou muito alta, indicando ótima precisão experimental (RESENDE; DUARTE, 2007).

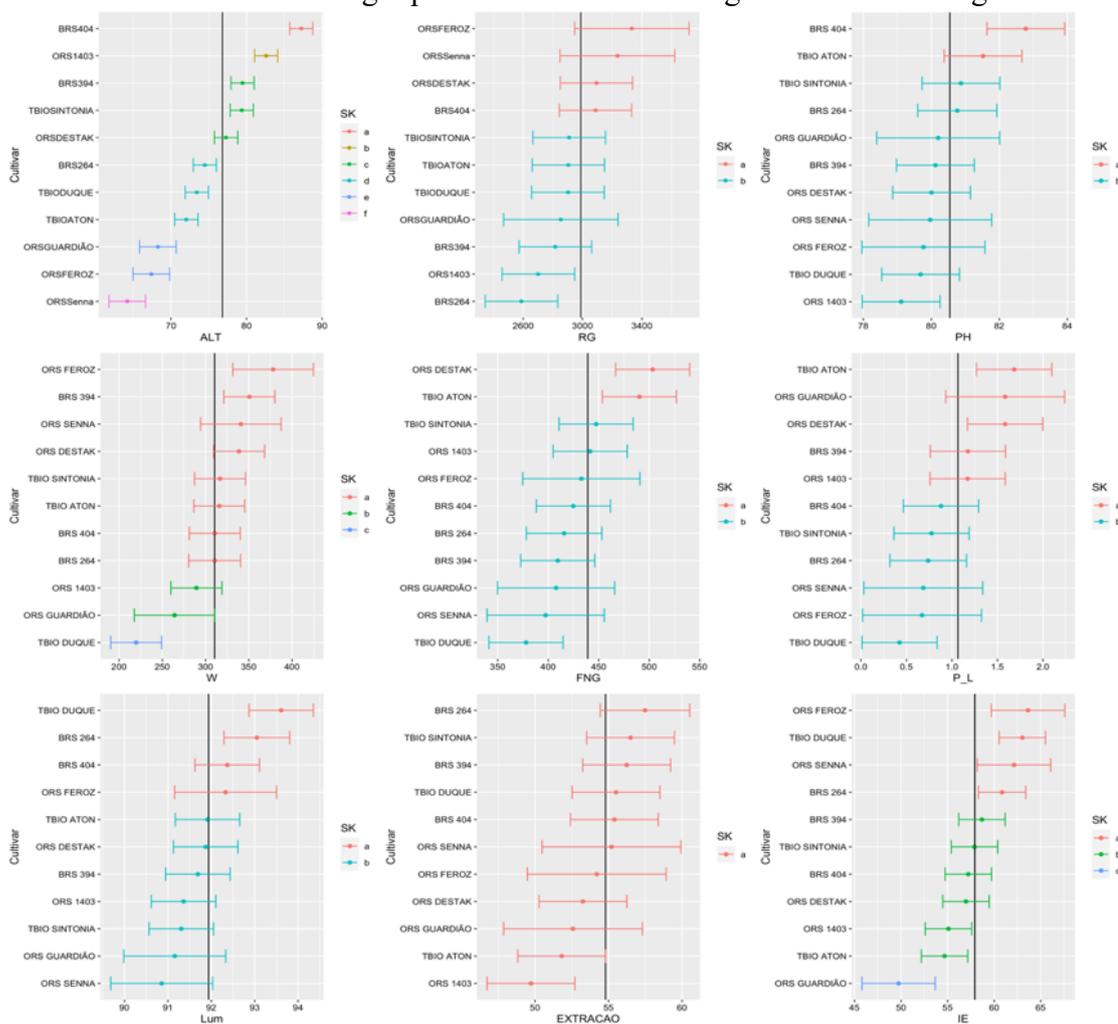
**Tabela 3.** Resumo da análise de variância para os caracteres reológicos.

| <b>Caráter</b> | <b>QMe</b> | <b>Cve (%)</b> | <b>rg<math>\hat{g}</math></b> | <b>Teste F</b> | <b>Média</b> | <b>Mínimo</b> | <b>Máximo</b> |
|----------------|------------|----------------|-------------------------------|----------------|--------------|---------------|---------------|
| <b>PH</b>      | 2,28       | 2              | 0,81                          | 2,98*          | 80,4         | 76,9          | 83,9          |
| <b>FNG</b>     | 2.257,12   | 11             | 0,86                          | 3,95*          | 431,7        | 328,7         | 554,7         |
| <b>W</b>       | 1.482,05   | 12             | 0,92                          | 6,82*          | 312,3        | 197,7         | 419,7         |
| <b>IE</b>      | 10,94      | 6              | 0,92                          | 6,83*          | 58,2         | 44,6          | 67,4          |
| <b>PL</b>      | 0,297      | 51             | 0,85                          | 3,57*          | 1            | 0,01          | 2,32          |
| <b>EXT</b>     | 15,03      | 7              | 0,75                          | 2,29*          | 54,5         | 46,6          | 60,9          |
| <b>LUM</b>     | 0,95       | 1              | 0,87                          | 4,10*          | 91,2         | 89,5          | 95,1          |

Legenda: PH – peso do hectolitro (kg); FNG – número de queda; W – força do glúten; IE – índice de elasticidade; P/L – razão entre tenacidade e extensibilidade; EXT – extração (%); LUM – luminosidade; QMe – quadrado médio do resíduo; ‘\*’ significativo a 5% de probabilidade. Fonte: Do autor (2023).

A Figura 1 mostra o teste Scott-Knott para todos os caracteres avaliados. Para ALT, as cultivares foram agrupadas em seis grupos. As médias variaram de 65 cm (ORS Senna) a 87 cm de altura (BRS 404). A altura de plantas é um caráter importante devido ao acamamento. De modo geral, plantas muito altas tem maior tendência ao acamamento, o que dificulta a colheita e reduz o rendimento e a qualidade dos grãos. Para RG, as cultivares ORS Feroz, ORS Senna, ORS Destak e BRS 404 tiveram desempenho superior às demais. A cultivar BRS 264, a mais cultivada no sul de Minas Gerais, foi agrupada no grupo ‘b’ com desempenho inferior à média geral.

**Figura 1.** Representação gráfica do teste de agrupamento de Scott-Knott de cultivares comerciais de trigo quanto a características agrônômicas e reológicas.



Fonte: Do autor (2023)

A qualidade dos grãos pode ser primariamente mensurada pelo peso do hectolitro (PH), que representa a massa de 100L de grãos de trigo. O PH desempenha papel crucial na caracterização e qualidade dos grãos de trigo, sendo um indicador importante na determinação da pureza e uniformidade dos grãos. Quanto mais pesados forem os grãos maior será a densidade, que está diretamente relacionada a um maior teor de proteína e amido, muito desejáveis na produção de farinha para panificação. Além disso, o PH fornece informações sobre a sanidade dos grãos: grãos mais leves podem indicar grãos danificados ou malformados, que afetam a qualidade e valor comercial do trigo (SANTOS, 2022).

No Brasil, o PH é um caráter usado na tipificação do trigo destinado a moagem, em que os tipos 1, 2 e 3 devem apresentar ao menos 78, 75 e 72 kg/hL respectivamente. O teste de agrupamento de média para PH formou dois grupos: as cultivares BRS 404 e TBIO Aton

encontram-se no grupo 'a', com médias de 82,8 e 81,5 kg/hL e diferente das demais. Apesar disso, as médias variaram de 79,1 kg/hL (ORS 1403) a 82,8 kg/hL (BRS 404), ou seja, embora tenham sido formados dois grupos no teste Scott-Knott, todas as cultivares se adequam à classificação do trigo tipo 1.

A qualidade da farinha de trigo é definida por atributos físicos, químicos e reológicos como força do glúten, número de queda, coloração, tempo de mistura, estabilidade da massa, porcentagem de grãos danificados dentre outros (GUTKOSKI; NETO, 2002). Para o trigo destinado à moagem leva-se em consideração três caracteres principais: força de glúten, estabilidade e número de queda, caracterizando os cultivares em trigo melhorador, pão, doméstico, básico e outros usos.

A partir do alveograma – gráfico obtido nos testes de alveografia, é possível estimar a força do glúten (W), a tenacidade (P) e a elasticidade (L). P representa a resistência da massa sob pressão até sua ruptura e L a elasticidade da massa, sendo necessário uma proporcionalidade entre tais caracteres para que a farinha tenha um bom potencial de panificação (EMBRAPA, 2009). De acordo com Miranda, Guarienti e Tonov (2011) se P/L está entre 0,6 e 1,2 o glúten é considerado balanceado, ou seja, a farinha é adequada para a panificação. Quando P/L é menor que 0,6 caracteriza-se um glúten extensível e, por fim, se o P/L é maior que 1,2 o glúten é considerado tenaz, ideal para massas. Neste trabalho, as médias de P/L foram agrupadas em dois grupos, que variaram de 0,42 (TBIO Duque) a 0,88 (BRS 404) para o grupo 'b' e de 1,17 (ORS 1403) a 1,69 (TBIO Aton) para o grupo 'a'.

Como mencionado anteriormente, a força do glúten (W) é uma das características usadas na classificação do trigo destinado à moagem e outras finalidades. No alveograma, W representa a energia gasta para expandir a massa até a ruptura e está relacionada à quantidade e qualidade das proteínas formadoras do glúten (EMBRAPA, 2009). De acordo com a Instrução Normativa 38/2010 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), cultivares com W entre 220-300  $10^4$  J são classificadas como trigo pão; cultivares com W maior ou igual a 300  $10^4$  J são classificadas como trigo melhorador. Na prática, considera-se ao menos duas características, de forma conjunta: o número de queda e a força de glúten ou número de queda e a estabilidade (EMBRAPA, 2022).

FNG mede a atividade da enzima alfa-amilase, responsável pela degradação do amido em açúcares. Quanto menor o número de queda, maior a atividade da enzima e menor a qualidade da farinha de trigo. Além disso, maior atividade dessa enzima está relacionado à germinação na espiga, evento que ocorre em genótipos mais sensíveis e em condições climáticas favoráveis. Durante a germinação, as células da semente aumentam a produção da

enzima alfa-amilase para quebrar o amido do grão em açúcares menores, que são usados como fonte de energia para o crescimento da planta. Ou seja, com a ocorrência da germinação precoce do trigo, aumenta-se a atividade da enzima alfa-amilase e, conseqüentemente, a qualidade da farinha é reduzida (DERERA, BHATT; MACMASTER, 1977; WALLY, 2007; THOMASON *et al.*, 2019). FNG < 250 s indica grãos de trigo ou farinha com germinação na espiga ou alta atividade enzimática (MIRANDA; GUARIENTI; TONOV, 2011). Neste trabalho, os resultados de FNG variaram de 378 s (TBIO Duque) a 503 s (ORS Destak), indicando que não tenha ocorrido germinação precoce do trigo no campo.

Considerando os resultados de FNG e W obtidos neste trabalho de modo simultâneo, as cultivares ORS Feroz, ORS Senna e TBIO Sintonia, consideradas pelos obtentores como trigo melhorador, foram de fato classificadas como trigo melhorador. Da mesma forma, as cultivares ORS 1403 e ORS Guardiã foram classificadas como trigo pão, em conformidade com as informações fornecidas pelos obtentores. Já as cultivares da EMBRAPA, ORS Destak e TBIO Aton, apesar de serem consideradas como trigo pão pelos obtentores, poderiam ser classificadas como trigo melhorador. A cultivar TBIO Duque não se enquadrou na classificação de trigo pão devido à baixa força de glúten (< 220  $10^4$  J). O gráfico Scott-Knott para o caráter W mostra a formação de três grupos exatamente em acordo com a classificação comercial observada: melhorador (a), pão (b) e doméstico (c).

Além dos caracteres já citados, as análises de qualidade de farinha avaliam ainda o teor de extração (EXT), que corresponde ao rendimento de moagem dos grãos expresso em porcentagem, isto é, a proporção de farinha em relação ao total de grãos (GUTKOSKI, 1999; TONON, 2010). EXT está relacionada aos tipos de farinha de trigo: integral, especial e comum. A farinha integral é obtida pela moagem do grão inteiro, a especial pela moagem do interior do endosperma e a farinha comum é obtida pela parte externa do endosperma (ZARDO, 2010). Apesar do efeito de cultivares ter apresentado significância para EXT pelo teste F, o Scott-Knott não distinguiu grupos. De toda forma, as médias variaram de 49,7 % (ORS 1403) a 57,5 % (BRS 264).

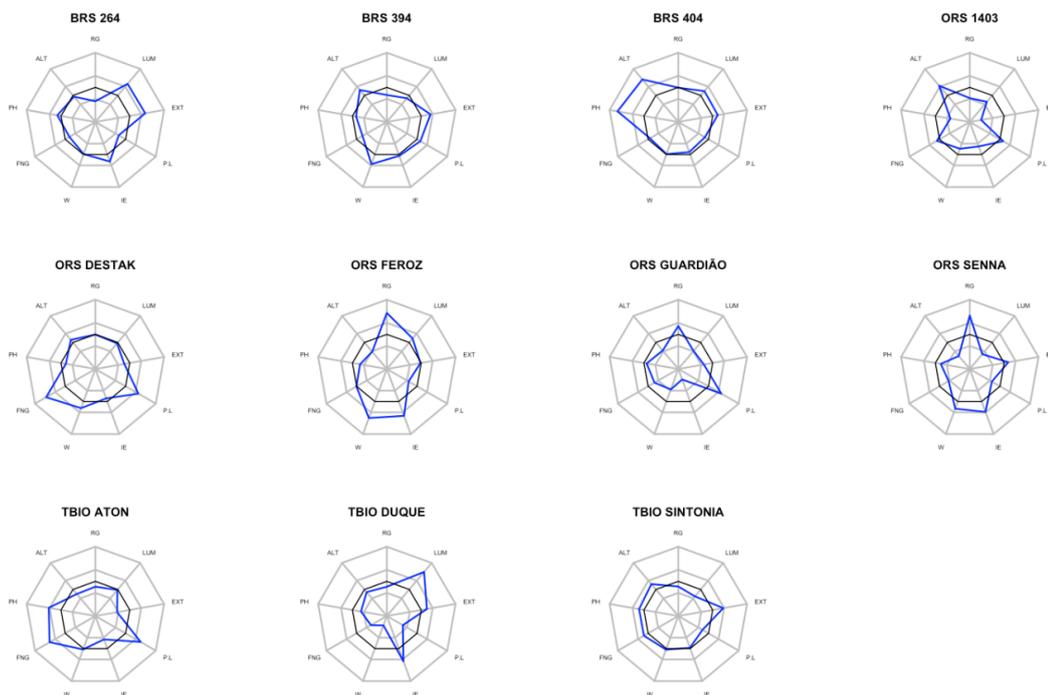
Parâmetros relacionados à cor da farinha, como a luminosidade tem grande importância devido à exigência do consumidor por pães com miolo branco. A luminosidade é avaliada em escala de 0 (preto) a 100 (branco). O agrupamento das médias desse caráter resultou em apenas dois grupos: TBIO Duque, BRS 264, BRS 404 e ORS Feroz estão no grupo 'a', com médias superiores e estatisticamente diferentes das demais linhagens, variando de 92,33 a 93,61. O grupo 'b' foi composto pelas demais cultivares, com médias abaixo de 92. Vale destacar que a cultivar TBIO Duque é descrita como branqueadora e, neste trabalho,

apresentou a maior média de luminosidade (Figura 2), apesar de não diferir das demais cultivares do mesmo grupo. TBIO Duque, juntamente das cultivares do grupo 'a' poderiam ser consideradas na escolha de parentais dentro de um programa de melhoramento visando a obtenção de cultivares com cor de farinha mais branca.

Por fim, o índice de elasticidade (IE), definido pela razão  $P200/P$  máximo, está intimamente relacionado com a capacidade de recuperação da forma inicial da massa e auxilia na predição do seu comportamento, com teor ideal de 45 a 50% (EMBRAPA, 2009). No teste Scott-Knott IE foi agrupado em três grupos: o grupo 'c' tem apenas a cultivar ORS Guardiã, enquanto o grupo 'b' é composto por TBIO Aton, ORS 1403, ORS Destak, BRS 404 e TBIO Sintonia. O grupo 'a' conta com as cultivares ORS Feroz, TBIO Duque, ORS Senna e BRS 264. As médias de IE no presente trabalho variaram de 54,67 % (TBIO Aton) a 57,88 % (TBIO Sintonia) para o grupo 'b' e de 60,86 % (BRS 264) a 63,63 % (ORS Feroz) para o grupo 'a'. Considerando o intervalo ideal citado, apenas a cultivar ORS Guardiã, alocada no grupo 'c', apresentou média dentro do ideal para panificação (49,7 %).

A Figura 2 mostra os gráficos radar, que foram consolidados com base na metodologia proposta por Nunes *et al.* (2005), a partir dos dados padronizados. A linha preta representa a média padronizada e, em azul, o desempenho das cultivares em cada característica. O gráfico radar pode ser utilizado na seleção para múltiplos caracteres pois permite visualizar em escala padronizada o desempenho das cultivares. Veja que, considerando todos os caracteres em questão, a cultivar BRS 404 se destaca, com médias próximas ou superiores à média geral em todos os caracteres, diferente de ORS 1404 e ORS Guardiã, que mostraram desempenho inferior na grande maioria das características.

**Figura 2.** Radarchart representando o desempenho dos cultivares nos caracteres avaliados.

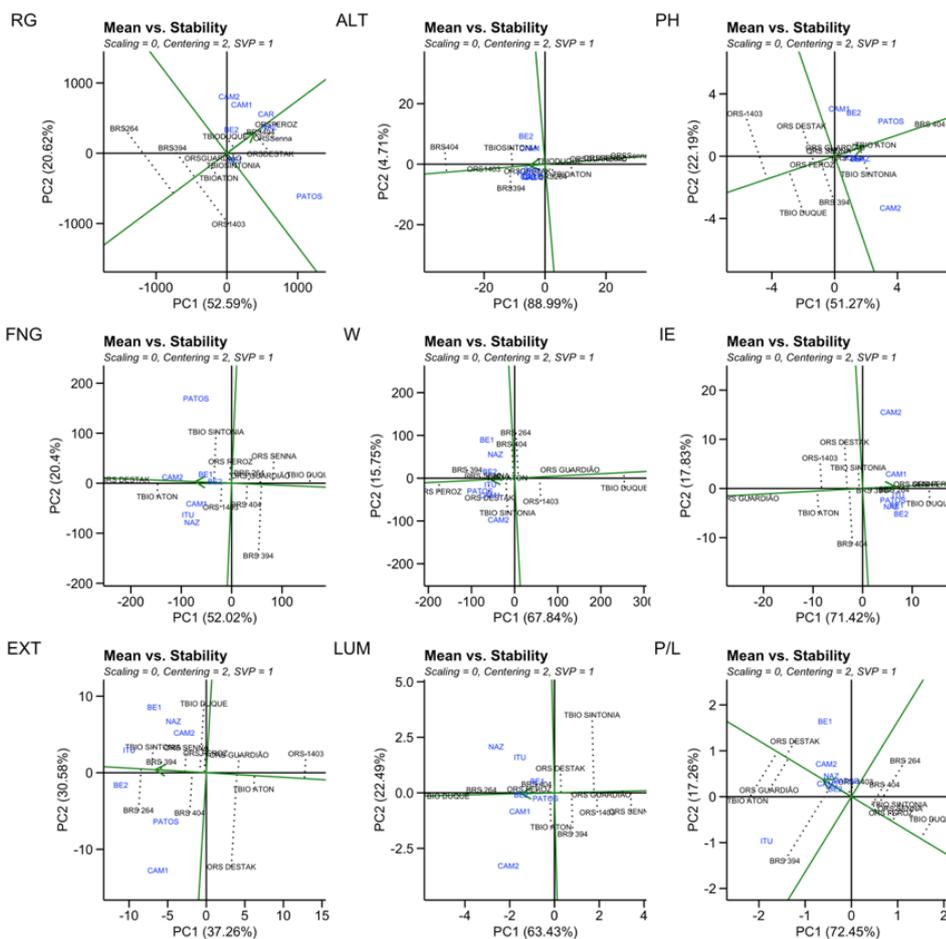


Fonte: Do autor (2023)

Um dos objetivos deste artigo é o estudo da adaptabilidade e estabilidade de cultivares comerciais recomendadas para o cultivo em Minas Gerais. A Figura 3 mostra os gráficos biplots média vs estabilidade para os caracteres avaliados. Neste gráfico a estabilidade das cultivares está relacionada ao tamanho do vetor (linha pontilhada) que as conecta ao eixo das abscissas (eixo x). A seta verde no eixo das abscissas direciona o ranking em ordem crescente das cultivares. Para RG as cultivares mais estáveis foram ORS Guardiã, ORS Feroz e BRS 404, este último apresentou ainda a média mais alta. Para ALT as cultivares ORS Senna, ORS Guardiã, ORS Feroz, TBIO Duque e ORS 1403 foram igualmente estáveis. Para PH, as linhagens BRS 404 e TBIO Aton foram as mais estáveis e com maiores médias. Já para FNG a cultivar ORS Destak obteve a maior média além de alta estabilidade. Para W as cultivares ORS Guardiã, TBIO Aton e ORS Senna foram os mais estáveis. Considerando o IE as linhagens ORS Guardiã, BRS 394, BRS 264, ORS Senna e ORS Feroz foram muito estáveis, ao contrário de BRS 404 e ORS Destak. Já para EXT a linhagem BRS 394 demonstrou maior estabilidade fenotípica que as demais, enquanto para LUM várias cultivares localizam-se muito próximas do eixo das abscissas, como TBIO Duque, BRS 264, ORS Feroz e ORS

Guardião. Por último, para P/L muitas linhagens se distanciaram do eixo ‘x’, a mais próxima foi ORS Feroz, considerada mais estável.

**Figura 3.** Gráfico biplot *Mean vs stability* para os caracteres avaliados.

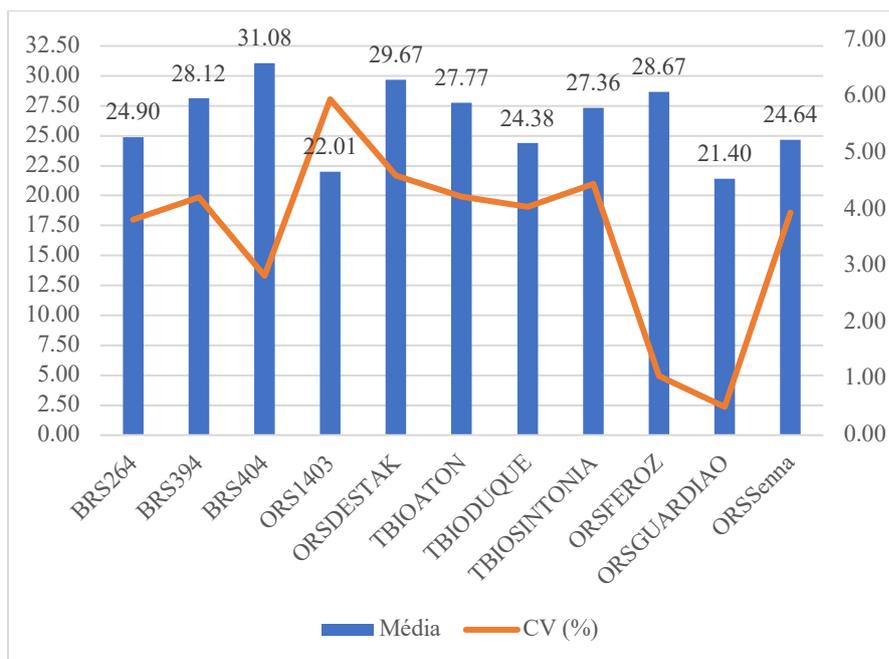


Fonte: Do autor (2023)

Segundo Nunes *et al.* (2005) a média dos valores  $Z_{ij}$  é uma medida da adaptabilidade dos cultivares enquanto o CV é uma medida da estabilidade. Cultivares com média  $Z_{ij}$  mais altas são consideradas mais adaptadas às flutuações ambientais. Enquanto valores de  $CV_{Z_{ij}}$  alto indica grande variação no desempenho das cultivares ao longo dos ambientes, logo, menor estabilidade fenotípica. Neste trabalho, os valores padronizados  $Z_{ij}$  foram somados de modo a constituir um índice de seleção para múltiplos caracteres (Iz) em cada ambiente. A partir do Iz obteve-se a média e CV para cada cultivar como forma de avaliar a adaptabilidade e estabilidade. Considerando todos os caracteres avaliados pode-se dizer que as cultivares ORS Guardião e ORS 1403 mostraram-se menos adaptadas, pois apresentaram as menores médias  $Z_{ij}$  (Figura 4). As cultivares mais adaptadas foram BRS 404, ORS Destak e ORS

Feroz, com médias Iz de 31,1, 29,7 e 28,7 respectivamente. O CV foi relativamente baixo, variando de 0,5 a 6 %. Contudo, os menores valores foram de ORS Guardiã, ORS Feroz e BRS 404, considerados aqui as cultivares mais estáveis no que se trata de todos os caracteres simultaneamente.

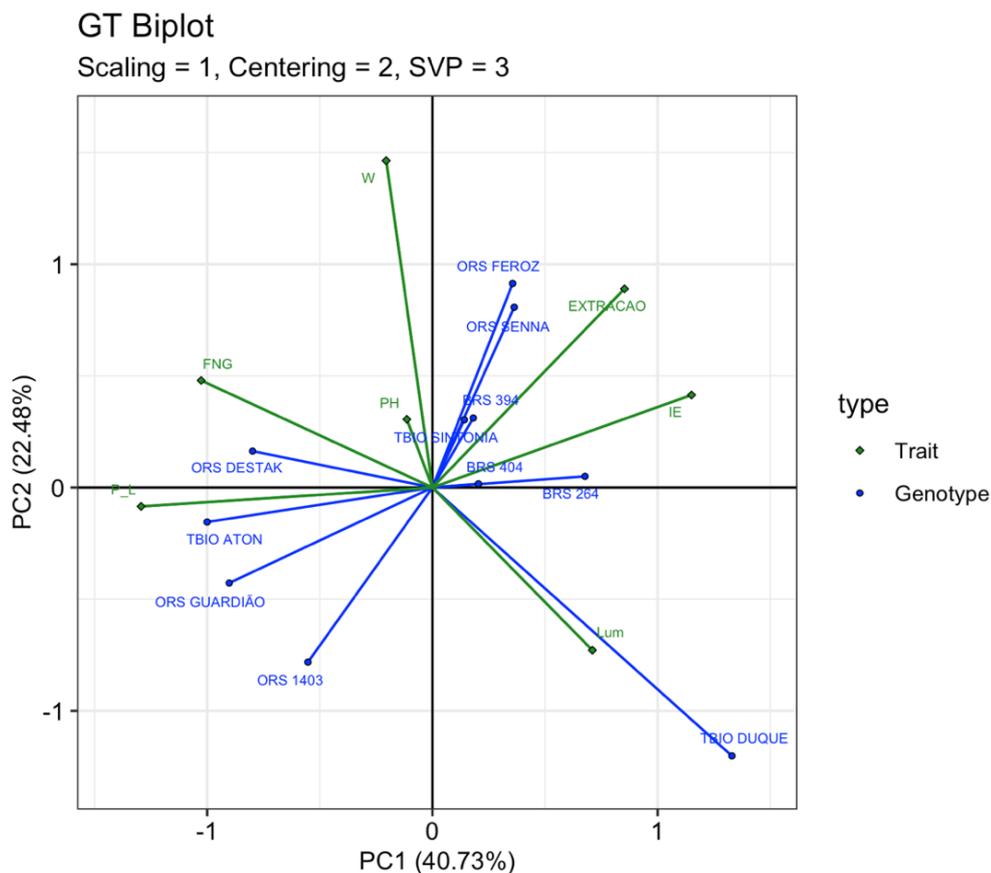
**Figura 4.** Médias e coeficiente de variação do índice Z para múltiplos caracteres.



Fonte: Do autor (2023)

Entender a relação entre os caracteres de interesse dentro de um programa de melhoramento é essencial para facilitar o trabalho do melhorista na ocasião da seleção. A Figura 5 mostra o biplot dos genótipos x caracteres, com dois componentes principais representando 63,2% da variação total. Observa-se que os caracteres W e P/L apresentaram maior variância dentre os caracteres avaliados, com vetores maiores em relação às demais características. A angulação dos vetores das variáveis nos fornece noções sobre a relação entre os caracteres. Por exemplo, PH e W tem correlação positiva, enquanto LUM e EXT não são correlacionados. Já P/L e IE tem correlação negativa, pois os vetores têm sentido oposto. Por fim, observando o ângulo entre um vetor e um eixo, conseguimos informações sobre a contribuição da variável para o componente principal em questão. P/L por exemplo teve grande importância para o PC2, pois está muito próximo ao eixo das abscissas, enquanto para o PC1, os caracteres W e PH contribuíram mais para a variação.

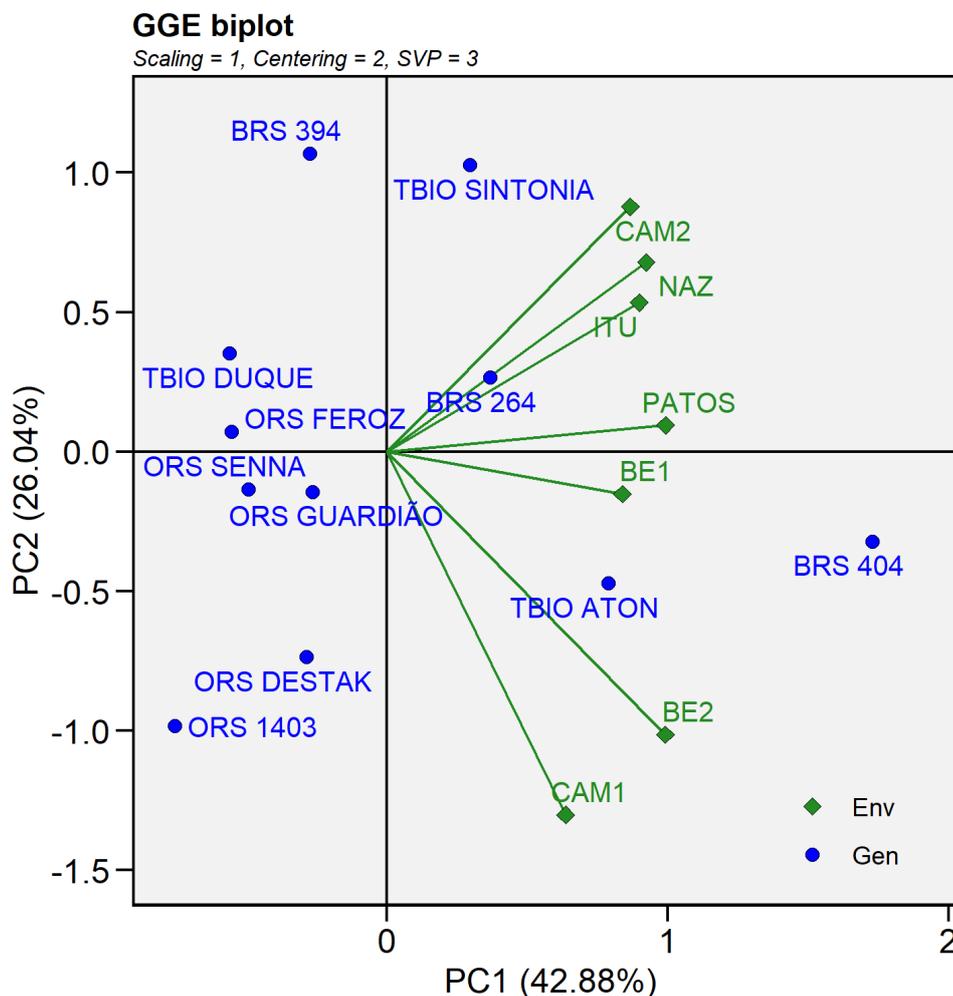
**Figura 5.** Gráfico biplot *genotype by trait* (GTB) para os caracteres reológicos.



Fonte: Do autor (2023)

A utilização do GGE biplot auxilia no melhor entendimento da inter-relação dos genótipos e ambientes. Na figura 6 temos o GGE biplot e podemos observar que o PC1 representou 42,8% da variação, enquanto o PC2 representou 26%, totalizando 68,8% da variação observada. O ângulo entre os vetores fornece informações sobre a correlação entre as variáveis (ambientes ou genótipos). Ângulos retos indicam ausência de correlação, que é o caso dos ambientes CAM2 e BE2. Ângulos obtusos, como no caso de CAM1 e CAM2, indicam correlação negativa, enquanto ângulos agudos indicam correlação positiva, por exemplo, BE1 e PATOS. É possível observar a formação de *clusters* de ambientes semelhantes, de forma a caracterizar mega ambientes: CAM1 e BE2 poderiam formar um mega ambiente, enquanto PATOS e BE1 caracterizariam um segundo mega ambiente, e por fim CAM2, NAZ e ITU seriam agrupados num terceiro mega ambiente, o qual o cultivar BRS 264 seria mais adaptado. De modo geral BRS 404 teve melhor desempenho que as demais cultivares.

**Figura 6.** Gráfico biplot *genotype by environment*.



Fonte: Do autor (2023)

Foi possível identificar cultivares mais adaptadas e estáveis para cultivo de trigo em Minas Gerais, considerando caracteres individualmente ou simultâneos. Para todos os caracteres, BRS 404 e ORS Feroz foram destaque com alta adaptabilidade e estabilidade aos ambientes. Os ambientes apresentam variabilidade e com a metodologia GGE biplot foi possível visualizar a relação entre si e com os genótipos, bem como a formação de mega ambientes, que podem auxiliar a recomendação de cultivares para ambientes alvo.

## REFERÊNCIAS

- AHMED, H.G.M.D. *et al.* **Radar analysis of spring wheat genotypes at seedling stage against limited water conditions.** *Sarhad J. Agric.* 38 (2022): 548-554.
- American Association of Cereal Chemists (AACC). **Approved methods.** Inc., St. Paul, 2000.
- ANNICCHIARICO, P. **Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy.** *Journal of Genetics and Breeding*, v. 46, p. 269-269, 1992.
- AYALEW, H.; LANDUBER, W.; AMLAKU, T. **GGE biplot analysis on the performance of wheat genotype for hectolitre weight and mega environments identification in northwestern Ethiopia.** *Australian Journal of Crop Science.*10 (2014): 1435-1440.
- BILGIN, O. *et al.* **Evaluation of grain yield and quality traits of bread wheat genotypes cultivated in Northwest Turkey.** *Crop Science* 56.1 (2016): 73-84.
- BOSI, S. *et al.* **GGE biplot analysis to explore the adaption potential of Italian common wheat genotypes.** *Sustainability.* 14, 897, 2022.
- BRASIL. Secretaria de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa SARC nº 7**, de 15 de agosto de 2001.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e abastecimento. **Instrução Normativa nº 38**, 30/11/2010. *Diário Oficial da União.* Brasília. 01/12/2010. Seção 1, p. 5-9.
- BURGUEÑO, Juan *et al.* **Genomic prediction of breeding values when modeling genotype× environment interaction using pedigree and dense molecular markers.** *Crop Science*, v. 52, n. 2, p. 707-719, 2012.
- COAN, M.M.D. *et al.* **Determination of genotypic stability and adaptability in wheat genotypes using mixed statistical models.** *Journal of Agricultural Science and Technology*, v. 20, n. 7, p. 1525-1540, 2018.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletim de Safras - 6º Levantamento.** 2023.
- CRUZ, C.D.; TORRES, R.A. de; VENCOVSKY, R. **An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto.** *Revista Brasileira de Genética*, v.12, p.567-580, 1989.
- DENCIC, S.; MLADENOV, N.; KOBILJSKI, B. **Effects of genotype and environment on breadmaking quality in wheat.** *International Journal of Plant Production.* v. 5, n. 1, p. 71-82, 2010.
- DERERA, N. F.; BHATT, G. M.; MCMASTER, G. J. **On the problem of pre-harvest sprouting of wheat.** *Euphytica*, v. 26, p. 299-308, 1977.
- EBERHART, S.A.; RUSSELL, W.A. **Stability parameters for comparing varieties.** *Crop science*, v. 6, n. 1, p. 36-40, 1966.

GUARIENTI, E. M. *et al.* **Normas de classificação comercial de trigo e farinha de trigo no Brasil.** EMBRAPA Documentos 199. 2022.

GUTKOSKI, L.C.; ANTUNES, E.; ROMAN, I.T. **Avaliação do grau de extração de farinhas de trigo e de milho em moinho tipo colonial.** Boletim Ceppa, Curitiba, v. 17, n. 2, p. 153-166, 1999.

GUTKOSKI, L.C.; JACOBSEN NETO, R. **Procedimento para teste laboratorial de panificação: pão tipo forma.** Ciência Rural, v. 32, p. 873-879, 2002.

JIN, H. *et al.* **Genome-wide QTL mapping for wheat processing quality parameters in a Gaocheng 8901/Zhoumai 16 recombinant inbred line population.** Frontiers in plant science, v. 7, p. 1032, 2016.

LIN, C.; BINNS, M.R. **A superiority measure of cultivar performance for cultivar $\times$  location data.** Canadian journal of plant science, v. 68, n. 1, p. 193-198, 1988.

MARIOTTI, J. A. *et al.* **Análisis de estabilidad y adaptabilidad de genotipos de caña de azúcar. I. Interacciones dentro de una localidad experimental.** Revista Agronómica del Noroeste Argentino, Tucumán, v. 13, n. 14, p. 105-127, 1976.

MICHEL, S. *et al.* **Improving the baking quality of bread wheat by genomic selection in early generations.** Theoretical and Applied Genetics 131 (2018): 477-493.

MIRANDA, M.Z. de; DE MORI, C.; LORINI, I. **Qualidade comercial do trigo brasileiro: safra 2006.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. 49p. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 112).

MIRANDA, L.C.; GUARIENTI, E.M.; TONOV, D.S. **Qualidade tecnológica de trigo.** 2011.

NEHE, A. *et al.* **Genotype  $\times$  environment interaction and genetic gain for grain yield and grain quality traits in Turkish spring wheat released between 1964 and 2010.** PLoS One, v. 14, n. 7, 2019.

NUNES, J.A.R.; RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A de F.B. **Graphical method in studies of adaptability and stability of cultivars.** Annual report-bean improvement cooperative, v. 48, p. 182, 2005.

OLANREWaju, O.S. *et al.* **GGE Biplot analysis of genotype $\times$  environment interaction and yield stability in bambara groundnut.** Agronomy 11.9 (2021): 1839.

OLIVOTO, T.; LÚCIO, A. D. **metan: An R package for multi-environment trial analysis.** Methods in Ecology and Evolution, v. 11, n. 6, p. 783-789, 2020.

RAMALHO, M.A.P. *et al.* **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamias.** Lavras: Universidade Federal de Lavras, p. 365-456, 2012.

RESENDE, M.D.V. de; DUARTE, J.B. **Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares**. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 194-177, 2007.

R CORE TEAM *et al.* **R Core Team R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2021.

SILVA, L.A. *et al.* **Selection index using the graphical area applied to sugarcane breeding**. Genetics and Molecular Research 15(3), 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.4238/gmr.15038711>

SANTOS, L.F. de M. *et al.* **Revisão bibliográfica do controle de qualidade aplicado à farinha de trigo**. 2022.

SCOTT, A.J.; KNOTT, M. **A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance**. Biometrics, p. 507-512, 1974.

SIGNORINI, V.S. **Potencial agrônômico de linhagens de trigo para a região tropical**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2022.

THOMASON, W.E. *et al.* **Understanding pre-harvest sprouting of wheat**. Virginia State University, Publication 424-060, Virginia, 2019.

TONON, V.D. **Herança genética e estabilidade de características relacionadas à qualidade dos grãos e da farinha de trigo**. 2010.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto, Ed. Sbg, 1992.

WALLY, A.P. do S. **Propriedades físico-químicas e nutricionais de farinhas mistas de arroz, soja e trigo para elaboração de pães**. 2007. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2007.

WILLIAMS, R.M. *et al.* **The influences of genotype, environment, and genotype× environment interaction on wheat quality**. Australian journal of agricultural research, v. 59, n. 2, p. 95-111, 2008.

WRICKE, G. **Zur berechnung der okovalenz bei sommerweizen und hafer**. Zeitschrift Fur Pflanzenzuchtung. Journal of Plant Breeding, v. 52, n. 2, 1964.

YAN, W.; TINKER, N.A. **Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications**. Canadian journal of plant science, v. 86, n. 3, p. 623-645, 2006.

YANG, R.C.; BAKER, R.J. **Genotype-environment interactions in two wheat crosses**. Crop Science, v. 31, n. 1, p. 83-87, 1991.

YILDIRIM, M. *et al.* **Assessment of the grain quality of wheat genotypes grown under multiple environments using GGE biplot analysis**. Fresenius Environmental Bulletin 27.7 (2018): 4830-4837.

ZARDO, F.P. **Análises Laboratoriais para o Controle de Qualidade da Farinha de Trigo.** 2010. Trabalho de Conclusão de Curso - Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Bento Gonçalves, 2010.

ZOBEL, R.W. *et al.* **Statistical analysis of a yield trial.** Agronomy journal, v. 80, n. 3, p. 388-393, 1988.

## APÊNDICE

**Tabela 4.** Estimativas de médias dos cultivares para os caracteres reológicos e agronômicos.

| Cultivar      | PH   | FNG   | W     | IE    | P/L  | EXT  | LUM   | RG      | ALT  | PMG  |
|---------------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|---------|------|------|
| BRS 264       | 80,7 | 425,4 | 317,0 | 61,13 | 0,80 | 57,1 | 93,05 | 2588,0  | 74,5 | 44,4 |
| BRS 394       | 80,1 | 409,4 | 350,7 | 58,69 | 1,18 | 56,2 | 91,69 | 2816,8  | 79,5 | 46,4 |
| BRS 404       | 82,8 | 424,9 | 310,7 | 57,23 | 0,88 | 55,4 | 92,37 | 3087,4  | 87,3 | 49,1 |
| ORS 1403      | 79,1 | 441,6 | 289,4 | 55,09 | 1,17 | 49,7 | 91,36 | 2701,7  | 82,6 | 44,2 |
| ORS DESTAK    | 80,0 | 503,4 | 338,7 | 56,97 | 1,58 | 53,3 | 91,87 | 3094,1  | 77,3 | 45,5 |
| ORS FERROZ    | 79,8 | 434,0 | 378,9 | 63,67 | 0,68 | 54,2 | 92,33 | 3886,32 | 68,6 | 49,1 |
| ORS GUARDIÃO  | 80,2 | 409,0 | 264,9 | 49,77 | 1,59 | 52,5 | 91,16 | 3407,2  | 69,5 | 51,4 |
| ORS SENNA     | 80,0 | 398,7 | 341,6 | 62,17 | 0,69 | 55,2 | 90,86 | 3789,4  | 65,4 | 53,2 |
| TBIO ATON     | 81,5 | 490,3 | 315,9 | 54,67 | 1,68 | 51,8 | 91,91 | 2904,4  | 72   | 41,9 |
| TBIO DUQUE    | 79,7 | 378,0 | 219,7 | 63,03 | 0,42 | 55,5 | 93,61 | 2902,1  | 73,4 | 39,7 |
| TBIO SINTONIA | 80,9 | 447,4 | 316,7 | 57,89 | 0,78 | 56,5 | 91,31 | 2909,9  | 79,4 | 42,5 |

Legenda: PH – peso do hectolitro (g); FNG – número de queda; W – força do glúten ( $10^{-4}$  J); IE – índice de elasticidade; P/L – razão entre tenacidade e extensibilidade (mm); EXT – extração (%); LUM – luminosidade; RG – rendimento de grãos ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ); ALT – altura de plantas (cm); PMG – peso de mil grãos (g). Fonte: Do autor (2023).

**Tabela 5.** Descrição das condições de cultivo e manejo dos ambientes.

| <b>Descrição</b>              | <b>Boa Esperança</b>                    | <b>Cambuquira</b>  | <b>Nazareno</b>                        | <b>Itutinga</b>   | <b>Patos de Minas</b>                  |
|-------------------------------|---|--|--|---|--|
| Espaçamento (m)               | 0,17                                    | 0,17   | 0,2                                    | 0,2   | 0,2                                    |
| Altitude (m)                  | 886                                     | 870  | -                                      | 1100  | 940                                    |
| Adubação de manutenção        | ~136 kg.ha <sup>-1</sup> NPK (07-40-00) | 150 kg.ha <sup>-1</sup> NPK (11-52-00)   | 350 kg.ha <sup>-1</sup> NPK (08-28-16) | 100 kg.ha <sup>-1</sup> NPK (11-52-00)  | 350 kg.ha <sup>-1</sup> NPK (08-28-16) |
| Adubação de cobertura         | -                                       | 320 kg.ha <sup>-1</sup> NPK (33-00-00) e 100 kg.ha <sup>-1</sup> NPK (00-00-60)    | 200 kg.ha <sup>-1</sup> Nitrato (33%)  | 260 kg.ha <sup>-1</sup> NPK (33-00-00)  | 40 kg.ha <sup>-1</sup> de N            |
| Cultura anterior              | Soja                                    | Milho  | Feijão                                 | Feijão  | Feijão                                 |
| Data de semeadura             | 03/04 e 20/04/2020                      | 21/04 e 05/05/2020   | 04/02/2020                             | 04/03/2020  | 18/05/2020                             |
| Data de colheita              | 05/08 e 26/08/2020                      | 10/09/2020   | 30/07/2020                             | 08/06/2020  | 09/08/2020                             |
| Sistema de plantio            | Direto                                  | Direto   | Direto                                 | Direto  | Direto                                 |
| Tipo de cultivo               | Sequeiro                                | Sequeiro   | Sequeiro                               | Sequeiro  | Irrigado                               |
| Manejo de plantas infestantes | Metasulfurom metílico                   | -  | -                                      | -   | Capinas manuais                        |
| Manejo de doenças             | Propiconazol                            | Epoxiconazol+Piraclostro-bina, Mancozebe, Azoxistrobina+Ciproconazol, Carbendazim, | -                                      | -   | -                                      |
| Manejo de pragas              | Bifentrina, Triflumurom e Metomil       | Metomil, Teflubenzurom   | -                                      | Imidacloprido, Teflubenzurom, Fipronil + Piraclostro-bina, Tiofanato metílico | -                                      |
| Precipitação (mm)             | -                                       | 53 e 43  | 34.8                                   | 71  | -                                      |

Fonte: Do autor (2023).