



**CAMILA HELENA TEIXEIRA**

**PERFORMANCE DE GENITORES POTENCIAIS PARA UM  
PROGRAMA DE MELHORAMENTO DE TRIGO**

**LAVRAS – MG**

**2022**

**CAMILA HELENA TEIXEIRA**

**PERFORMANCE DE GENITORES POTENCIAIS PARA UM PROGRAMA DE  
MELHORAMENTO DE TRIGO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para obtenção do título de Mestre.

Dr. José Airton Rodrigues Nunes

Orientador

Dr<sup>a</sup>. Aurinelza Batista Teixeira Condé

Coorientadora

**LAVRAS – MG**

**2022**

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

Teixeira, Camila Helena.

Performance de potenciais genitores para um programa de  
melhoramento de trigo / Camila Helena Teixeira. - 2022.

59 p. : il.

Orientador(a): José Airton Rodrigues Nunes.

Coorientador(a): Aurinelza Batista Teixeira Condé.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2022.

Bibliografia.

1. *Triticum aestivum* L. 2. herdabilidade. 3. interação genótipos  
× ambientes. I. Nunes, José Airton Rodrigues. II. Condé, Aurinelza  
Batista Teixeira. III. Título.

**CAMILA HELENA TEIXEIRA**

**PERFORMANCE DE GENITORES POTENCIAIS PARA UM PROGRAMA DE  
MELHORAMENTO DE TRIGO**

**PERFORMANCE OF POTENTIAL GENITORS FOR A WHEAT BREEDING  
PROGRAM**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA EM 14 DE JULHO DE 2022.

Dr.<sup>a</sup>. Aurinelza Batista Teixeira Condé – UFLA

Dr. Magno Antônio Patto Ramalho – UFLA

Dr. Vanoli Fronza – Embrapa Trigo

Dr. José Airton Rodrigues Nunes

Orientador

Dr.<sup>a</sup>. Aurinelza Batista Teixeira Condé

Coorientadora

**LAVRAS – MG**

**2022**

*A todos que sempre apoiaram este sonho.  
Dedico*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela oportunidade de realizar este sonho e pelas bênçãos durante essa caminhada. À minha família, em especial minha mãe, por todo o incentivo e a minha irmã Bruna, pelo apoio nos momentos felizes e difíceis.

Agradeço também ao meu noivo, Luiz Fernando, por toda a paciência, apoio e por acreditar neste sonho como se dele fosse.

Aos amigos do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, em especial Andreza, Beatriz, Felipe, Guilherme, Leonardo e Marcelo, por serem apoio nos momentos difíceis e estarem juntos também nos momentos de alegria.

Aos amigos distantes e a todos que torceram e se fizeram presentes, apesar das barreiras físicas.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. José Airton Rodrigues Nunes e a minha Coorientadora Dr<sup>a</sup>. Aurinelza Batista Teixeira Condé pela disponibilidade e auxílio no desenvolvimento deste trabalho. Aos demais orientandos do grupo, em especial ao Alan, pelo apoio na execução das atividades laboratoriais e de campo.

À FAPEMIG, pela concessão de bolsa de estudos, à CAPES e ao CNPq por todo apoio financeiro prestado, à EPAMIG e ao Pro-Trigo pela parceria, à UFLA e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas pelas oportunidades ofertadas.

À 3W Agronegócios pela disponibilização da área para implantação do experimento.

E a todos que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho. A vocês meus eternos agradecimentos!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas

Gerais (FAPEMIG)

*“O correr da vida embrulha tudo.  
A vida é assim: esquenta e esfria,  
aperta e daí afrouxa,  
sossega e depois desinquieta.  
O que ela quer da gente é coragem.” (João Guimarães Rosa)*

## RESUMO GERAL

O Brasil é um dos maiores importadores mundiais de trigo, apesar de seu enorme potencial de crescimento na produção do cereal, sendo uma das estratégias a expansão do cultivo em regiões em que não é tradicionalmente realizado, como a região sul do Estado de Minas Gerais. Assim, torna-se indispensável o desenvolvimento de cultivares adaptadas a esses ambientes. Na primeira parte do trabalho é apresentada uma revisão da literatura, buscando levantar os principais pontos acerca do cultivo de trigo no Brasil e em Minas Gerais, sua variabilidade genética e aspectos sobre o melhoramento do trigo e, por fim, é revisada a interação genótipos por ambientes e a seleção de cultivares adaptadas aos ambientes de cultivo. A segunda parte do trabalho apresenta o artigo intitulado “Performance de Genitores Potenciais para um Programa de Melhoramento de Trigo”, que teve por objetivo avaliar a variabilidade genética quanto a caracteres agrônômicos e a adaptabilidade de 78 cultivares de trigo, oriundas de diferentes programas de melhoramento, para o cultivo na região sul de Minas Gerais e, com base em tal avaliação, realizar a escolha de genitores para um programa de melhoramento de trigo voltado à região. Foram avaliados os caracteres altura de planta, dias para o espigamento, peso de mil sementes, peso do hectolitro e produtividade de grãos. As análises dos dados por local e conjunta foram realizadas usando a abordagem de modelos lineares mistos de Henderson. Os componentes da variância foram estimados pelo método da máxima verossimilhança residual, sendo a significância verificada pelo teste da razão de verossimilhança à 5% de probabilidade. O valor genético das cultivares foi predito via BLUP. Foram estimadas a herdabilidade generalizada de Cullis na média de cultivar e a acurácia seletiva. Foi realizada a decomposição da interação cultivares  $\times$  locais em suas frações simples e complexa. Foram estimadas as correlações genéticas e ambientais entre os caracteres, as quais foram plotadas na forma de um correlograma. Adicionalmente, foi efetuada a seleção para múltiplos caracteres usando o índice Z da soma das variáveis padronizadas. A variância genética foi significativa em ambos os locais. A interação cultivares  $\times$  locais foi expressiva, indicando uma resposta diferencial das cultivares nos locais testados. Pelo índice Z foram identificadas 15 cultivares de trigo mais adaptadas à região Sul de Minas Gerais, as quais são ORS Guardiã, CD 105, Valente, BRS Angico, Tbio Aton, IPR 144, CD 1595, CD 1303, IPR 130, CD 1252, BRS Sanhaço, CD 122, BRS 404, Tbio Tibagi, CD 1104 e Tbio Audaz, que apresentaram desempenho desejável para todas as características avaliadas.

**Palavras-chave:** *Triticum aestivum* L.. Valor genético. Herdabilidade. Interação genótipos  $\times$  ambientes.

## GENERAL ABSTRACT

Brazil is one of the largest wheat importers in the world, despite its enormous potential of increasing the production of this cereal. One of the strategies to increase wheat production is the expansion of crop in regions where it is not traditionally cultivated, such as the south of the State of Minas Gerais. Thus, the development and release of cultivars adapted to these environments is essential. In the first part of this study, it is presented a literature review about main points on wheat cultivation in Brazil and Minas Gerais, its genetic variability and the effect and implications of the genotype by environment interaction on wheat crop. In the second part of the study the paper entitled "Performance of Potential Genitors for a Wheat Breeding Program" is presented. It aimed to evaluate the genetic variability of agronomic traits and adaptability of 78 wheat cultivars from different breeding programs for cultivation in the south region of Minas Gerais and based on this evaluation, to choose genitors for a wheat breeding program. The traits plant height, heading date, thousand-seed weight, hectoliter weight and grain yield were assessed. Individual and joint analyses were performed using Henderson's linear mixed model approach. The variance components were estimated by the residual maximum likelihood method, and the significance was verified by the likelihood ratio test at 5% probability. The genetic values of the cultivars were predicted using BLUP predictor. The generalized heritability of Cullis on cultivar-mean basis and the selective accuracy were estimated. The cultivar by location interaction was decomposed into simple and complex fractions according to Robertson's method. The genetic and residual correlations between the traits were estimated. Additionally, a multi-trait selection was performed based on the sum of standardized variables using the Z index. The genetic variance was significant. Finally, the Z index was estimated allowing selection for multiple traits. The genetic variance was significant in both locations for all traits, and the cultivar by location interaction was expressive as well. These results indicate differential responses of cultivars through the locations. The Z index allowed to identify 15 cultivars most adapted to the south region of Minas Gerais and desirable performance for all evaluated traits, which are ORS Guardião, CD 105, Valente, BRS Angico, Tbio Aton, IPR 144, CD 1595, CD 1303, IPR 130, CD 1252, BRS Sanhaço, CD 122, BRS 404, Tbio Tibagi, CD 1104 and Tbio Audaz.

**Keywords:** *Triticum aestivum* L.. Breeding value. Heritability. Genotype-by-environment interaction.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Temperaturas máxima, média e mínima (°C) e precipitação (mm) durante o período de condução dos experimentos nos municípios de Lavras e Itutinga - MG.....	39
Figura 2 - Porcentagens da interação cultivares x locais do tipo simples e complexa para as características avaliadas em experimentos de avaliação de cultivares de trigo nas localidades de Lavras e Itutinga na safra agrícola 2021.....	50
Figura 3 - Médias BLUP das cultivares de trigo quanto ao peso do hectolitro avaliadas nas localidades de Lavras e Itutinga na safra agrícola 2021.....	51
Figura 4 - Médias BLUP das cultivares de trigo quanto à produtividade de grão avaliadas nas localidades de Lavras e Itutinga na safra agrícola 2021.....	52
Figura 5 – Diagrama dos valores de correlação entre as características avaliadas.....	53
Figura 6 - Gráfico de radar com base no índice Z para as 15 cultivares melhor ranqueadas para as características avaliadas e as cultivares BRS 264 e TBIO Sintonia.....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estimativas de herdabilidade para diferentes caracteres em trigo.....	21
Tabela 2 - Obtentores e respectivas cultivares avaliadas nos experimentos. ....	40
Tabela 3 - Componentes de variância genética e experimental ( $\sigma_g^2$ e $\sigma_e^2$ ), média ( $\bar{Y}$ ), acurácia ( $r_{\hat{g}\hat{g}}$ ) na média de cultivar e coeficiente de variação experimental ( $CV_e$ %) para características avaliadas em experimentos de avaliação de cultivares de trigo nas localidades de Lavras e Itutinga na safra agrícola 2021. ....	47
Tabela 4 – Estimativas da estatística F-Snedecor ( $F_c$ ) para o efeito de locais ( $H_0: \bar{Y}_{Lavras} = \bar{Y}_{Itutinga}$ ), dos componentes da variância genética de cultivares ( $\sigma_g^2$ ) e da interação genótipo por ambientes ( $\sigma_{ga}^2$ ), e da herdabilidade generalizada de Cullis ( $H^2$ ) para seleção na média de cultivar para características avaliadas em experimentos de avaliação de cultivares de trigo nas localidades de Lavras e Itutinga na safra agrícola 2021.....	49

## SUMÁRIO

	<b>PRIMEIRA PARTE .....</b>	<b>12</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>A cultura do trigo no Brasil e em Minas Gerais .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Variabilidade genética e o melhoramento do trigo no Brasil e em Minas Gerais.....</b>	<b>18</b>
<b>2.3</b>	<b>Interação genótipo x ambiente no trigo e a seleção de cultivares adaptadas .....</b>	<b>23</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>26</b>
	<b>SEGUNDA PARTE – ARTIGO .....</b>	<b>35</b>
	<b>ARTIGO 1 – VARIABILIDADE GENÉTICA E ADAPTABILIDADE DE CULTIVARES DE TRIGO NA REGIÃO SUL DE MINAS GERAIS.....</b>	<b>35</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>37</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>38</b>
<b>2.1</b>	<b>Descrição dos locais .....</b>	<b>38</b>
<b>2.2</b>	<b>Planejamento e condução dos experimentos .....</b>	<b>40</b>
<b>2.3</b>	<b>Caracteres avaliados.....</b>	<b>42</b>
<b>2.4</b>	<b>Análises estatísticas.....</b>	<b>43</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>45</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>56</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>56</b>

**PRIMEIRA PARTE**

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O trigo é um dos três cereais mais cultivados no mundo, juntamente com o milho e o arroz, e conta com diversos usos, como na composição de inúmeros tipos de farinhas, biscoitos, pães e massas, além de uso forrageiro para compor a alimentação animal (FARIAS et al., 2017). No Brasil, na safra 2020, a área destinada à triticultura foi superior a 2,4 milhões de hectares, com produção de 6,3 milhões de toneladas do cereal (FAO, 2022). Segundo informações divulgadas na 15ª Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, realizada em junho de 2022, em dez anos, caso a produção de trigo cresça 10% ao ano, passaríamos de 8 milhões de toneladas em 2022 para 20 milhões de toneladas em 2031, colocando o Brasil como potencial grande exportador do cereal no mercado internacional (ANTUNES, 2022).

Apesar do Brasil ainda estar como um dos principais importadores mundiais de trigo, há enorme potencial de crescimento na produção desse cereal, podendo até mesmo se tornar um país exportador. Tradicionalmente, a região Sul do país responde por 88,9% da produção, principalmente em razão do desenvolvimento de cultivares adaptadas e das características edafoclimáticas favoráveis ao cultivo do trigo (IBGE, 2022). Entretanto, uma estratégia para o incremento da produção tritícola nacional é a expansão das áreas cultivadas, com ocupação de regiões com altitudes superiores a 800 m, que possuem condições edafoclimáticas mais favoráveis à cultura (PASINATO et al., 2018).

Apesar de a região central do país não ser tradicionalmente uma região produtora de trigo, apresenta grande potencial para a expansão da produção em razão dos seguintes diferenciais: proximidade com os principais centros consumidores da região Sudeste do país, grandes áreas cultivadas com plantios anuais, possibilitando a implantação do trigo na entressafra, especialmente no sistema de sequeiro; aptidão regional para a produção de trigo classe pão; e a possibilidade de alcance de maiores lucros pelos produtores, visto que o período de colheita antecede o das tradicionais regiões produtoras do sul do Brasil (PASINATO et al., 2018).

No estado de Minas Gerais, o maior crescimento do cultivo de trigo se deu a partir de 2013. Os bons preços de comercialização incentivaram os produtores, levando ao crescimento de 87,8% na área de plantio, que saiu de 36,2 mil ha na safra de 2013 para 68,0 mil ha na safra de 2014 (CONAB, 2017). Na safra 2021, o estado cultivou uma área em torno de 76,1 mil ha com uma produção de 207,3 mil toneladas e produtividade de 2.723 kg ha<sup>-1</sup>. (SEAPA-MG, 2022). Já para a safra 2022, a expectativa é que sejam cultivados cerca de 85,9 mil ha da cultura, com produção de 239,4 mil toneladas e produtividade de 2.788 kg ha<sup>-1</sup> (SEAPA-MG, 2022).

Para a expansão da triticultura para tais regiões, é necessária uma melhor definição de ambientes adequados e o desenvolvimento de cultivares adaptadas. É essencial obter, via melhoramento genético, cultivares com elevado potencial produtivo, ciclo precoce, maior resistência ao acamamento e às doenças e com qualidade tecnológica de grãos adequada ao produto final, e que possibilite uma melhor exploração da interação genótipo x ambiente (GxA), otimizando a utilização de recursos e maximizando os rendimentos (PASINATO et al., 2018).

No Brasil, várias instituições públicas e privadas atuam no melhoramento genético do trigo. Contudo, em geral, estes programas de melhoramentos ficam mais concentrados e voltados para o desenvolvimento de cultivares de trigo adaptadas às regiões tritícolas localizadas na região sul do Brasil. As recomendações de cultivares de trigo para o cerrado e regiões tritícolas do Estado de Minas Gerais têm sido realizadas por alguns programas, como da Embrapa, Biotrigo Genética e OR Sementes, a partir de redes de experimentos avançados de avaliação de linhagens, a exemplo dos experimentos de valor de cultivo e uso (VCU).

Em termos de programas de melhoramento de trigo no Estado de Minas Gerais, pode-se destacar o programa coordenado pela Universidade Federal de Viçosa na região da Zona da Mata, e também as ações no âmbito do melhoramento desenvolvidas pelas Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG). A EPAMIG tem atuado no intuito de diversificar as cultivares de trigo plantadas na região Sul do estado, avaliando cultivares quanto à produtividade, sanidade e qualidade tecnológica (EPAMIG, 2020). Todavia, para maior eficiência no desenvolvimento de cultivares adaptadas, há a necessidade de desenvolver programa de melhoramento específico para destacadas regiões tritícolas no estado de Minas Gerais, a exemplo das mesorregiões dos Campo das Vertentes e Sul/Sudoeste de Minas Gerais.

A introdução de cultivares contribui no incremento da variabilidade genética em programas de melhoramento genético, por meio da incorporação de novos alelos. Assim, é possível identificar genótipos mais compatíveis aos objetivos do programa, direcionando os cruzamentos àqueles que apresentam maior aptidão ao ambiente alvo (LUCHE et al., 2013).

Neste contexto, no intuito de iniciar um programa de melhoramento de trigo visando ao desenvolvimento de cultivares mais adaptadas à região sul de Minas Gerais, entende-se que o passo inicial passa pela avaliação de cultivares de diferentes programas de melhoramento em ambientes de cultivo da região, o que permite a identificação de genótipos de interesse e, concomitante, capitalização das vantagens acumuladas nos processos de seleção realizados previamente.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A cultura do trigo no Brasil e em Minas Gerais

O trigo se destaca por sua relevância para a economia mundial, visto que é um dos três cereais mais cultivados no mundo, juntamente com o milho e arroz. Pertence à família *Poaceae*, gênero *Triticum*, e as principais espécies cultivadas são *T. monococcum*, *T. durum* e *T. aestivum*. (CONAB, 2017). O trigo tem diversos usos, principalmente no setor de alimentos, em que participa como matéria prima principal na composição de inúmeros tipos de farinhas, biscoitos, pães e massas, além de compor a alimentação animal (FARIAS et al., 2017). Na safra 2020, segundo dados da FAO a área mundial cultivada de trigo foi de 219 milhões de hectares, alcançando a produção de 760,9 milhões de toneladas; um volume 0,53% menor que o colhido na safra 2019, que atingiu a produção de 764,9 milhões de toneladas (FAO, 2022).

No ano de 2022, o conflito entre Rússia e Ucrânia – dois dos maiores produtores e exportadores mundiais de trigo despertou a atenção sobre possíveis questões de desabastecimento global e, por essa razão, as cotações apresentaram sucessivas valorizações. O preço médio mensal da tonelada do grão apresentou acréscimo de 35%, sendo cotada a US\$ 470,36 (CONAB, 2022). Soma-se a guerra, os problemas climáticos ocorridos em países produtores como China e Estados Unidos. Além disso, as valorizações no mercado internacional também contribuíram para a alta das cotações internas. No Paraná, no mês de abril de 2022, o trigo pão de peso do hectolitro (PH) de 78 foi cotado a R\$ 98,37 a saca de 60 kg, apresentando valorização de 10,42%, e no Rio Grande do Sul, a R\$ 96,48 a saca de 60 kg, com valorização de 12,36% (CONAB, 2022).

No Brasil, na safra 2020 a área destinada à triticultura foi superior a 2,4 milhões de hectares, com produção de 6,3 milhões de toneladas do cereal (FAO, 2022). A Região Sul do país responde por maior parte da produção (88,9%), principalmente em razão das características edafoclimáticas favoráveis ao desenvolvimento dos plantios e à produção de grãos (IBGE, 2022). Em relação à safra que terá início em agosto de 2022, a expectativa é que sejam plantados 2.748,1 mil hectares com trigo no Brasil, tendo como resultado uma safra de 7.907,4 mil toneladas do grão (CONAB, 2022).

Acerca da Balança Comercial, informações preliminares do Ministério da Economia estimam um volume de importações de 6.500 toneladas de trigo. Já as exportações somam 1.000 toneladas de grãos. Pelo quarto mês ininterrupto o volume exportado foi superior ao importado, e isso é justificado pela alta cambial e pelo maior percentual de trigo com peso do hectolitro (PH) inferior, aceito em países com menor nível de exigência (CONAB, 2022).

Ao passo que o consumo de trigo cresce continuamente, a produção nacional atual supre metade da demanda interna, de modo distinto às culturas em maior expansão, como soja e milho. Desta forma, devido a necessidade de atender ao mercado interno, o Brasil está na posição de um dos maiores importadores do mundo, adquirindo grande parte do montante importado do cereal da Argentina (CONAB, 2017).

Emerge como uma alternativa à autossuficiência brasileira na produção do cereal, a ampliação de seu cultivo na região do Cerrado, partindo do plantio de cultivares adaptadas, desenvolvidas por diversas empresas públicas e privadas de pesquisa agropecuária. Entre 2010 e 2019, a produtividade média brasileira do trigo foi de 2.523 kg ha<sup>-1</sup>. Nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, a produtividade foi, respectivamente 2.492 kg ha<sup>-1</sup>, 2.830 kg ha<sup>-1</sup> e 3.186 kg ha<sup>-1</sup>. Levando em conta o potencial produtivo nas regiões tradicionais e de adaptação da cultura, é possível aumentar a produção nacional em até quatro vezes, em comparação ao montante médio produzido na última década (SOUZA; VIEIRA FILHO, 2020).

Apesar do bioma Cerrado não ser tradicionalmente uma região produtora de trigo, apresenta grande potencial para a expansão da produção em razão dos seguintes diferenciais: proximidade com os principais centros consumidores da região Sudeste do país, grandes áreas cultivadas com plantios anuais, possibilitando a implantação do trigo na entressafra, especialmente no sistema de sequeiro; aptidão regional para a produção de trigo classe pão; e a possibilidade de alcance de maiores lucros pelos produtores, visto que o período de colheita antecede o das tradicionais regiões produtoras do sul do Brasil (PASINATO et al., 2018).

O cultivo de trigo começou a crescer em Minas Gerais, a partir de 2013, pois bons preços de comercialização incentivaram os produtores, levando ao crescimento de 87,8% na área de plantio, que saiu de 36,2 mil ha na safra de 2013 para 68,0 mil ha na safra de 2014 (CONAB, 2017). Na safra 2021, o estado cultivou uma área em torno de 76,1 mil hectares com uma produção de 207,3 mil toneladas e produtividade de 2.723 kg.ha<sup>-1</sup> (SEAPA-MG, 2022). Já para a safra 2022, a expectativa é que sejam cultivados cerca de 85,9 mil hectares da cultura, com produção de 239,4 mil toneladas e produtividade de 2.788 kg.ha<sup>-1</sup> (SEAPA-MG, 2022). O valor da produção foi estimado em R\$ 356,4 milhões para o ano de 2020, sendo as principais regiões produtoras Alto Paranaíba (48,89% da área colhida) e Sul de Minas (24,99% da área colhida) (SEAPA-MG, 2022). Atualmente o estado é o 5º maior produtor de trigo do Brasil, respondendo por 3% da produção total do país (IBGE, 2022).

É notável o crescimento do cultivo de trigo na mesorregiões sul e sudoeste de Minas Gerais, visto que no ano de 2019, foram cultivados 19,5 mil ha com trigo, com a produção alcançando 56 mil toneladas, com uma produtividade de 2879 kg.ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2020). Já no ano

de 2009, foram cultivados apenas 640 ha, com uma produção de 960 toneladas e produtividade por área de  $1.500 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (IBGE, 2011)

Tal fato pode ser justificado por o estado contar com algumas vantagens em relação ao cultivo do cereal: o clima é bastante favorável, a baixa umidade relativa durante grande parte do ciclo favorece a redução do ataque de pragas e a colheita durante o período seco proporciona um produto com excelente peso do hectolitro e qualidade de farinha, alcançando, assim, boas produtividades. A possibilidade de colheita na entressafra da região Sul do Brasil e da Argentina, juntamente à proximidade dos principais centros consumidores, também aumenta a competitividade do produto mineiro (TRINDADE, 2019).

Ademais, a cadeia produtiva no estado de Minas Gerais é uma das mais bem estruturadas no Brasil, em que produtores possuem uma relação de proximidade com as associações, sindicatos, indústrias, cooperativas, institutos de pesquisa e de assistência técnica (CONAB, 2017). Minas Gerais ainda conta com vantagens no processamento do cereal, contando com quatro moinhos: Moinho Vilma Alimentos, em Contagem (VILMA ALIMENTOS, 2022); Moinho Vera Cruz (Bunge Alimentos), no município de Santa Luzia (BUNGE ALIMENTOS, 2022); Moinho Sete Irmãos, na cidade de Uberlândia (LUNAR ALIMENTOS, 2022); e o Moinho Sul Mineiro (arrendado pela empresa J. Macedo) em Varginha (MOINHO SUL MINEIRO, 2022).

Os plantios de trigo em Minas Gerais são conduzidos em dois sistemas de produção: sequeiro, em altitudes superiores a 800 m, como exemplo a região Sul de Minas; e irrigado, em regiões de altitude superior a 500 m, majoritariamente na região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. Em um passado recente a maior parte do trigo mineiro era cultivado no sistema irrigado, principalmente na região do Alto Paranaíba. Entretanto, tal conjuntura foi alterada pelo crescimento do plantio em sistema de sequeiro que, apesar de alcançar menores produtividades por área, atualmente é responsável pela maior parte da produção mineira de trigo (CONAB, 2017).

Desta forma, é notável a expansão da cultura na região nos últimos 10 anos, especialmente no sistema sequeiro, evidenciando o investimento na aplicação de novas tecnologias, dado o incremento em área e, principalmente, em produtividade. Além disso, é notável o potencial de desenvolvimento da cultura do trigo no estado, em razão de diversas características favoráveis ao cultivo e comercialização, incrementando a disponibilidade do produto no mercado. Tal desenvolvimento passa pela utilização de cultivares adaptadas às condições edafoclimáticas e de cultivo da região, que expressem seu máximo potencial genético

e alcancem bons desempenhos produtivos, com produção de grãos de elevada qualidade industrial.

## **2.2 Variabilidade genética e o melhoramento do trigo no Brasil e em Minas Gerais**

A variabilidade genética para os caracteres de interesse constitui a base para o melhoramento genético das culturas (BHULLAR; MACKAY; KELLER, 2010). De acordo com CHU et al. (2020), o êxito de um programa de melhoramento está relacionado com a diversidade genética nas populações. Assim, essa diversidade deve ser reconhecida e preservada, por meio de coleções de germoplasma, que tem sido extretamente úteis como fonte de variabilidade genética para emprego do melhorista (BERED et al., 2002). Tal variabilidade é conservada na forma de parentes selvagens, raças locais e variedades precoces em bancos de germoplasma mundialmente distribuídos (BHULLAR; MACKAY; KELLER, 2010).

O trigo é uma planta autógama, ou seja, possui a autofecundação como sistema reprodutivo predominante, com uma taxa de fecundação cruzada inferior a 5% (RAMALHO; CARVALHO; NUNES, 2013). Os maiores bancos de germoplasma situam-se no N. Vavilov Research Institut of Plant Industry na Rússia, no Svalbard International Seed Vault, na Noruega e no Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), no México, que conta com o maior número de acessos (CAIERÃO, 2016), compreendendo mais de 150.000 acessos (CIMMYT, 2021).

No Brasil tem-se uma das maiores coleções *ex-situ* de trigo do mundo. O principal banco de germoplasma, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) está organizado em duas coleções: COLBASE e BAG - Trigo. A COLBASE, iniciada em 1976, está alocada na Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Brasília, e tem como propósito assegurar, em longo prazo, a sobrevivência das sementes de interesse socioeconômico, salvaguardando as fontes básicas para a alimentação e agricultura. Esta coleção conta com 5.022 acessos. O BAG - Trigo, maior coleção brasileira de germoplasma de trigo, localizado na Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, conserva 14.172 acessos do gênero *Triticum* e espécies afins (CARPENTIERI-PIPOLO; KIIHL, 2019).

Diversos estudos têm sido conduzidos visando caracterizar a natureza e a magnitude da variabilidade genética na cultura do trigo, para que esta seja aplicada no melhoramento genético. No Brasil, Scherlosky et al. (2018) avaliaram a diversidade genética de germoplasma de trigo da Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola (COODETEC) utilizando genotipagem de alta densidade com marcadores SNP. Foram avaliados 211 genótipos com 35.142 marcadores SNP. As distâncias genéticas entre os genótipos variaram de 0,013 a 0,471, com

maior frequência de distâncias variando entre 0,31 e 0,40. A partir da década de 1990, houve uma tendência de aumento das distâncias genéticas mínimas entre as cultivares de trigo desenvolvidas no Brasil. Este fato, pode estar relacionado à introdução de germoplasma e ao uso de cultivares comerciais de diferentes empresas no programa de melhoramento, e tais informações podem auxiliar os melhoristas de trigo brasileiros a manejar de forma mais adequada a variabilidade genética no germoplasma de trigo brasileiro.

Bode e Koto (2022), avaliando a variabilidade morfológica de 23 genótipos autóctones de trigo (*Triticum aestivum* L.) de um banco de germoplasma de uma universidade da Albânia realizaram análises de componentes principais e de agrupamento envolvendo características quantitativas, como capacidade de perfilhamento, altura de planta, comprimento de espiga, número de espiguetas por espiga, número de sementes por espiguetas, tamanho da semente, peso de sementes por espiga e produtividade de sementes. Os resultados concluíram que altura da planta, comprimento da espiga, número de espiguetas por espiga e peso de sementes por espiga foram os caracteres mais importantes na diferenciação dos genótipos. Os autores destacaram que o uso da análise de componentes principais e de coeficientes de correlação simplificaram a classificação confiável de genótipos, a identificação dos genótipos superiores e sua relação com características morfológicas com possibilidade de utilização em programas de melhoramento de trigo.

Arya et al. (2017), estudando genótipos de trigo para caracterizar a natureza e a magnitude da variabilidade e diversidade genética para elaboração de programas de melhoramento voltados para a produção na Índia, avaliando diferentes componentes de produção (comprimento da espiga, número de grãos por espiga e rendimento de grãos por planta), encontraram diferenças altamente significativas entre os genótipos para todas as características em estudo, indicando a existência de variabilidade genética suficiente entre os genótipos, o que fornece bases para programas de melhoramento futuro. Além disso, inferiram que alta herdabilidade juntamente a um elevado ganho genético foram observados para a produtividade de grãos por planta.

Em se tratando de estimativas de parâmetros genéticos, vários estudos têm sido relatados na cultura do trigo, a exemplo daqueles que exibem estimativas de herdabilidade para variados caracteres de interesse (Tabela 1). Bhanu, Arun e Mishra (2018) estimaram parâmetros para fins de seleção direta, como a variância genética, herdabilidade e ganho genético, e indireta, como a correlação e resposta correlacionada, quanto às características produtividade e componentes de produção (número de grãos por espiga e peso de mil sementes), dias até a antese e espigamento e dias até a maturação dos grãos em genótipos de trigo indianos e sua

relação com a tolerância ao calor. O peso de mil sementes (PMS) apresentou alta herdabilidade, além de elevado ganho genético e elevada correlação com rendimento de grãos por parcela. O espigamento (emissão de espigas em 50% da parcela) apresentou correlação positiva com o número de dias para a antese e para a maturação dos grãos, inferindo que para a seleção de genótipos com florescimento precoce, os dias para a antese e os dias para a maturidade devem ser invariavelmente considerados no programa de melhoramento.

Jamil et al. (2017), visando estimar a diversidade genética, herdabilidade e ganho genético para alguns caracteres relacionados à produção de trigo para pão (número de perfilhos por planta; altura de planta; número de espigas e grãos por planta; peso de mil sementes e rendimento de grãos por planta) no Paquistão, encontraram maiores estimativas de herdabilidade para altura de planta (98,27%) e o maior ganho genético para produtividade de grãos (83,22%)

Tabela 1 - Estimativas de herdabilidade para diferentes caracteres em trigo.

<b>Característica</b>	<b><math>H^2</math></b>	<b>Citações</b>
Altura de planta	0,30 - 0,94	(ASKANDER, 2020; CHAIRI et al., 2020; CHANNA, 2022; FEREDÉ; WOREDE, 2020; GEREMA et al., 2020; NURAENI; WAHYU; TRIKOESOEMANINGTYAS, 2021)
Número de dias para o espigamento	0,18 - 0,98	(BENDJAMA; RAMDANI, 2022; GIRMA SEYOUM; SISAY, 2021; MWADZINGENI; SHIMELIS; TSILO, 2017)
Peso de mil sementes	0,40 – 0,99	(BENDJAMA; RAMDANI, 2022; CHAIRI et al., 2020; FEREDÉ; WOREDE, 2020; GEREMA, 2020; GEREMA et al., 2020; GIRMA SEYOUM; SISAY, 2021; ITAM et al., 2021; JAN; MOHAMMAD; KHAN, 2015; NURAENI; WAHYU; TRIKOESOEMANINGTYAS, 2021)
Peso do hectolitro	0,57 - 0,90	(GEREMA et al., 2020; RAKSZEGI et al., 2016a)
Produtividade de grãos	0,41 – 0,80	(GEREMA, 2020; GEREMA et al., 2020; GIRMA SEYOUM; SISAY, 2021; RAKSZEGI et al., 2016b)

Fonte: Do autor (2022).

O melhoramento genético do trigo tem como objetivo o desenvolvimento de novas cultivares mais adaptadas às regiões de cultivo, resistentes às principais pragas e doenças (PIMENTEL, 2014), maior produtividade de grãos, baixa estatura, precocidade, folhas curtas e eretas, resistência ao acamamento e boa capacidade de perfilhamento (MORI et al., 2016). Além disso, busca-se uma melhor qualidade do produto final, como uma maior extração de farinha; maior teor de proteínas nos grãos e as propriedades físicas como a força de glúten e o tempo ideal para mistura (FURLAN, 2018).

Diversas instituições públicas e privadas atuam no melhoramento genético do trigo no Brasil. Entre as instituições públicas destacam-se a Empresa Brasileira de Pesquisa

Agropecuária (Embrapa), institutos estaduais de pesquisa, como o Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR, atual IDR-Paraná/Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná), o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), o Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária da Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural do Rio Grande do Sul (DDPA/SEAPDR, ex-FAPEAGRO) e várias Universidades, principalmente do sul do país. Dentre as empresas privadas, destacam-se a Biotrigo Genética, OR Sementes, Limagrain, Tamona Agropecuária, Biotech do Brasil, entre outras (CAIERÃO, 2016).

No estado de Minas Gerais, as primeiras pesquisas direcionadas ao melhoramento genético do trigo tiveram início em Araxá, em 1928, por meio das pesquisas realizadas por Augusto Grieder. Estes estudos já evidenciavam o potencial produtivo do trigo no estado, visto que foram alcançadas produtividades superiores à países tradicionalmente produtores de trigo, como Canadá, Estados Unidos e Argentina (CARGNIN, 2007).

As primeiras cultivares de trigo recomendadas para o estado de Minas foram a ‘Kênia 155’, desenvolvida pelo pesquisador Moacir Viana de Novaes e “Salles”, lançada pelo pesquisador Carlos Eugênio Tibhau, ambas em 1948, em Patos de Minas. Contudo, foi o pesquisador Idelfonso Ferreira Corrêa, do Instituto Agrônomo de Minas Gerais, que mais contribuiu para o progresso do melhoramento genético de trigo em Minas Gerais, por meio do desenvolvimento das cultivares BH 1146 e Horto, amplamente adaptadas às condições edafoclimáticas mineiras e utilizadas em cruzamentos até 1997 (CONAB, 2017). Em razão da expansão da triticultura no estado a partir da década de 1970, devido aos incentivos governamentais, surgiu a necessidade de disponibilizar aos produtores cultivares de trigo adaptadas às condições edafoclimáticas mineiras. Então, desde 1976 a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) tem desenvolvido um programa de melhoramento genético da cultura (CARGNIN, 2007). A atual Cooperativa Agropecuária do Alto Paranaíba (COOPADAP, ex-CAC/Cooperativa Agrícola de Cotia) também tem contribuído, desde 1976, com instituições atuantes no melhoramento de Trigo em Minas Gerais (COELHO et al., 2011).

A partir de 1993, com um programa liderado pelo professor/pesquisador Moacil Alves de Souza, a Universidade Federal de Viçosa (UFV) inicia suas ações de melhoramento de trigo em Minas Gerais, investindo na realização de hibridações e introduções de linhagens do CIMMYT (COELHO et al., 2011).

Ainda, desde o ano de 2009, a EPAMIG tem trabalhado no objetivo de diversificar as cultivares de trigo plantadas na região sul do estado, indicando cultivares com maior teto produtivo, mais sanidade e qualidade tecnológica do produto final equivalente ou superior às utilizadas atualmente (EPAMIG, 2020).

Grande parte dos produtores de trigo em Minas Gerais plantam um material lançado há 15 anos (BRS 264), o que evidencia a necessidade do desenvolvimento de materiais que sejam desenvolvidos para a região, mais precisamente para o plantio no sistema de sequeiro, e com boa aceitação pelos moinhos.

### **2.3 Interação genótipo x ambiente no trigo e a seleção de cultivares adaptadas**

Os fatores macroambientais abióticos, como edafoclimáticos, geográficos, manejo tecnológico, e bióticos, como incidência de pragas e doenças, influenciam o desenvolvimento das culturas. Assim, diante deste efeito do ambiente, o qual congrega uma série de fatores macroambientais, comumente um mesmo genótipo não apresenta a mesma resposta em ambientes diferentes (BORÉM; MIRANDA; FRITSCHÉ-NETO, 2017) .

Segundo Ramalho et al. (2012), a interação genótipos por ambientes ( $G \times A$ ) refere-se às diferentes respostas dos genótipos frente às alterações do ambiente. A natureza da interação  $G \times A$  pode ser atribuída a características fisiológicas e bioquímicas intrínsecas a cada genótipo. Na perspectiva da genética, esta interação decorre do diferencial de contribuição dos genes que controlam o caráter, ou seu nível de expressão, entre os ambientes. Tal fato ocorre, pois, a expressão genética é influenciada e/ou regulada pelo ambiente (RAMALHO et al., 2012).

Em programas de melhoramento genético, faz-se indispensável a avaliação da interação  $G \times A$ , pois o genótipo com melhor desempenho em um ambiente pode não ser em outro. Tal fato exerce influência sobre o ganho de seleção e torna a recomendação de cultivares com ampla adaptabilidade uma tarefa complexa. Desta forma, é necessário que o melhorista avalie a magnitude e significância da interação  $G \times A$ , além de quantificar seus efeitos sobre as metodologias a serem aplicadas no melhoramento e fundamentar a implementação de estratégias para minimizá-la e aproveitá-la (CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014).

Segundo Cruz; Carneiro; Regazzi (2014), a interação  $G \times A$  ocorre em função de dois componentes: um é denominado componente simples, causado pela diferença entre genótipos, e outro é chamado complexo, cuja ocorrência está relacionada à ausência de correlação entre genótipos. Uma baixa correlação entre genótipos e fenótipos evidencia que o melhor genótipo em um dado ambiente pode não alcançar desempenho equivalente em outro ambiente. A predominância de interação complexa leva a alterações na classificação dos genótipos em cada ambiente, o que a torna mais relevante para fins de melhoramento (EL-SODA et al., 2014). Quando são avaliados diversos ambientes e genótipos, a presença de interação complexa quase sempre evidencia a existência de genótipos adaptados a ambientes específicos, e outros com adaptação mais ampla (RAMALHO et al., 2012).

Um dos principais objetivos de muitos programas de melhoramento é a obtenção de cultivares com ampla adaptação ao maior número de ambientes possível. Tais cultivares são classificadas como amplamente adaptadas e possibilitam um bom posicionamento de mercado. A ampla adaptação é conceituada como a capacidade de a cultivar alcançar produtividades relativamente altas de modo consistente em diversos ambientes agrícolas de uma região (STUDNICKI et al., 2019). Woyann et al. (2019), explicam que a adaptabilidade concerne à capacidade de um genótipo de responder de modo previsível a estímulos ambientais.

Existem dois modos de se contornar a presença de interação  $G \times A$ . O primeiro fundamenta-se em subdividir regiões heterogêneas em sub-regiões menores e mais homogêneas, em que o processo de melhoramento genético possibilita o desenvolvimento e recomendação de cultivares específicas para cada sub-região. Uma segunda estratégia consiste na seleção de genótipos mais adaptados em diferentes ambientes. Na literatura, os diversos níveis de associação entre metodologias para avaliação da adaptabilidade evidenciam que mais de uma metodologia deve ser empregada. Os métodos mais indicados para a avaliação da interação  $G \times A$  podem variar em função do conjunto de dados (BORNHOFEN et al., 2017).

Diversas metodologias têm sido sugeridas para a estimativa de parâmetros de adaptabilidade em experimentos multi-ambientais. Tais metodologias empregam conceitos de modelos paramétricos univariados (EBERHART e RUSSELL, 1966; WRICKE, 1965), multivariados (ZOBEL; WRIGHT; GAUCH, 1988; YAN, 2001), mistos (RESENDE, 2002a) e não paramétricos (LIN; BINNS, 1988). A principal diferença entre tais metodologias está na capacidade de explicar a soma de quadrados da interação  $G \times A$ .

O trigo é cultivado em diversas condições edafoclimáticas, em especial no que se refere à disponibilidade hídrica, tipos de solo e condições climáticas (MUNARO et al., 2014). O genótipo ideal de trigo deveria alcançar elevados rendimentos em quaisquer condições edafoclimáticas. Entretanto, como os efeitos genéticos não são independentes dos efeitos ambientais, grande parte dos genótipos não apresentam resposta satisfatória em todos os ambientes (OKUYAMA; FEDERIZZI; NETO, 2005). Assim, a interação  $G \times A$  é a principal justificativa dos diferentes rendimentos da cultura do trigo nos diferentes ambientes (MUNARO et al., 2014).

Reynolds et al. (2004), visando explicar algumas das bases fisiológicas da interação  $G \times A$  por meio de experimentos de potencial de rendimento histórico e competição de cultivares elite de trigo em 27 países, inferiram que a cultura é mais sensível aos efeitos da interação  $G \times A$  no estado pré-antese, afetando negativamente o número de grãos por espiga.

Vários estudos têm relatado a existência da interação  $G \times A$  em trigo como os realizados por Claudia et al., (2021) na Argentina; Thungo et al. (2020) na África do Sul; Bornhofen et al., (2018), Coelho et al. (2010), Condé et al. (2010), Marinho et al. (2022), Munaro et al. (2014), Possatto et al. (2017), Silva et al. (2016) e Szareski et al. (2018, 2021) no Brasil; Kucek et al. (2019) e Montesinos-López et al. (2018) nos Estados Unidos; Chairi et al. (2020) na Espanha; Alipour et al., (2021) no Irã; Singh et al. (2019) na Índia; Sukumaran et al., (2018) no México; Tajibayeva et al., (2021) na Rússia e Cazaquistão, dentre outros, o que torna complexa a seleção de cultivares, especialmente porque altera o desempenho genotípico entre os ambientes e reduz a magnitude da associação entre os valores fenotípicos e genotípicos, limitando o ganho genético com a seleção (BORNHOFEN et al., 2017). Assim, experimentos multi-ambientes em locais representativos dos ambientes de interesse devem ser executados para testar a adaptabilidade de linhagens de trigo, sejam essas introduzidas de outros países ou desenvolvidas em programas de melhoramento brasileiros, explorando as características agronômicas de interesse. Ao passo que esse tipo de informação é introduzida nos programas de melhoramento, o desenvolvimento de cultivares adaptadas às condições brasileiras é acelerado (PEREIRA; DA CUNHA; MORESCO, 2019).

Neste sentido, diversos trabalhos visando a caracterização de linhagens adaptadas às condições de cultivo têm sido realizados no Brasil e em diversos países do mundo. Bornhofen et al. (2018) avaliaram os ganhos genéticos obtidos em um programa de melhoramento genético do trigo mantido pela Cooperativa Central de Pesquisa Agropecuária (COODETEC) no Brasil por meio da avaliação anual de linhagens em experimentos multi-ambientais de valor de cultivo e uso (VCU) em diversas regiões usando a abordagem de modelos lineares mistos. O ganho de rendimento, considerando as alterações ambientais ao longo dos anos, foi de  $39,40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  ( $1,10\% \text{ ano}^{-1}$ ). A avaliação de cultivares brasileiras lançadas entre 1998 e 2014 evidenciou ganhos genéticos de  $34,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  ( $1\% \text{ ano}^{-1}$ )

Cargnin et al. (2009) mensuraram o progresso genético alcançado pelos programas de melhoramento do trigo de sequeiro no cerrado brasileiro no período de 1976 a 2005, empregando a produtividade de grãos obtida em experimentos de VCU. Os autores relataram um progresso genético de  $37 \text{ kg.ha}^{-1} \text{ .ano}^{-1}$  na produtividade média de grãos durante o período avaliado, o que indica a eficiência dos programas de melhoramento de trigo sequeiro no Cerrado brasileiro. Melhores condições ambientais corresponderam a 47,4% do progresso, indicando sua relevância para o aumento da produtividade.

Follmann et al. (2017), estudando o progresso genético e a influência do experimento de competição de cultivares em regiões homogêneas de cultivo no estado do Rio Grande do Sul

sobre este, encontrou diferenças de progresso genético anual na região homogênea de adaptação de cultivares de trigo 1 (1,82%) em relação à região 2 (4,38%), justificando a realização de experimentos multi-ambientais em regiões homogêneas de cultivo.

## REFERÊNCIAS

ALIPOUR, H. et al. Dissection of the genetic basis of genotype-by-environment interactions for grain yield and main agronomic traits in Iranian bread wheat landraces and cultivars. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 1–17, 2021.

ANTUNES, J. **O futuro do trigo no Brasil**. Disponível em:

<file:///C:/Users/camil/Desktop/UFLA/MESTRADO/DISSERTAÇÃO/busca-de-noticias.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2022.

ARYA, V. K. et al. Genetic variability and diversity analysis for yield and its components in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Indian Journal of Agricultural Research**, v. 51, n. 2, 2017.

ASKANDER, H. S. A. Generation mean analysis using generation variance in durum wheat traits (*Triticum durum* L.). **Iraqi Journal of Agricultural Sciences**, v. 51, n. 5, p. 1308–1313, 2020.

BENDJAMA, A.; RAMDANI, S. Genetic variability of some agronomic traits in a collection of wheat (*Triticum turgidum* L. sp.pl.) genotypes under South Mediterranean growth conditions. **Italian Journal of Agronomy**, v. 17, n. 1, 2022.

BERED, F. et al. Caracterização de germoplasma de trigo por meio dos caracteres adaptativos ciclo e estatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 2, p. 145–150, fev. 2002.

BHANU, A. N.; ARUN, B.; MISHRA, V. K. Genetic variability, heritability and correlation study of physiological and yield traits in relation to heat tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Biomedical Journal of Scientific & Technical Research**, v. 2, n. 1, 2018.

BHULLAR, N. K.; MACKAY, M.; KELLER, B. Genetic diversity of the pm3 powdery mildew resistance alleles in wheat gene bank accessions as assessed by molecular markers. **Diversity**, v. 2, n. 5, p. 768–786, 19 maio 2010.

BODE, D. X.; KOTO, R. Estimation of genetic variability of autochthonous wheat (*Triticum Aestivum* L.) genotypes using multivariate analysis. **The Journal “Agriculture and Forestry”**, v. 68, n. 4, p. 131–143, 2022.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de Plantas - 7ª Edição**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2017.

BORNHOFEN, E. et al. Statistical methods to study adaptability and stability of wheat genotypes. **Bragantia**, v. 76, n. 1, p. 1–10, mar. 2017.

BORNHOFEN, E. et al. Wheat yield improvements in Brazil: Roles of genetics and

environment. **Crop Science**, v. 58, n. 3, p. 1082–1093, 2018.

BUNGE ALIMENTOS. **A Bunge: Unidades**. Disponível em: <<https://www.bunge.com.br/Bunge/Unidades.aspx>>. Acesso em: 2 maio. 2022.

CAIERÃO, E. et al. Origem, evolução e melhoramento genético. In: **Trigo: o produtor pergunta, a EMBRAPA responde**. Passo Fundo: Embrapa, 2016. p. 15–29.

CARGNIN, A. **Progresso genético em trinta anos do melhoramento do trigo em Minas Gerais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2007.

CARGNIN, A. et al. Genetic and environmental contributions to increased wheat yield in minas gerais, Brazil. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 3, p. 317–322, 2009.

CARPENTIERI-PIPOLO, V. C.; KIIHL, T. A. M. **Conservação ex situ de trigo: possibilidades de integração global para o desenvolvimento de cultivares adaptadas as diversas regiões do Brasil**. Ata da 13<sup>o</sup> Reunião Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1123086/conservacao-ex-situ-de-trigo-possibilidades-de-integracao-global-para-o-desenvolvimento-de-cultivares-adaptadas-as-diversas-regioes-do-brasil> Acesso em: 12 maio 2021.

CHAIRI, F. et al. Breeding effects on the genotype × environment interaction for yield of durum wheat grown after the Green Revolution: The case of Spain. **Crop Journal**, v. 8, n. 4, p. 623–634, 2020.

CHANNA, Q. A. Estimation of genetic variability and heritability in F2 populations of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under drought stress conditions. **Pure and Applied Biology**, v. 11, n. 1, p. 232–248, 2022.

CHU, J. et al. Suitability of Single-Nucleotide Polymorphism arrays versus genotyping-by-sequencing for genebank genomics in wheat. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, n. February, p. 1–12, 2020.

CIMMYT. **Recursos Genéticos**. Disponível em: <<https://www.cimmyt.org/es/nuestro-trabajo/recursos-geneticos/>>. Acesso em: 26 jun. 2021.

CLAUDIA, A. et al. Ability of in situ canopy spectroscopy to differentiate genotype by environment interaction in wheat. **International Journal of Remote Sensing**, v. 42, n. 10, p.

3660–3680, 2021.

COELHO, M. A. O. et al. Evaluated of wheat (*Triticum aestivum* L.) productivity in rainfed conditions in Minas Gerais state. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 5, p. 717–723, 2010.

COELHO, M. A. DE O. et al. Expansão e cultivo da cultura do trigo em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, v. 32, n. 260, p. 38–47, 2011.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos - Safra 2021/22, 7º Levantamento**. Brasília: CONAB, 2022. v. 9

CONAB. **A Cultura do Trigo**. Brasília: Conab, 2017. 218 p.

CONDÉ, A. B. T. et al. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de trigo sob cultivo de sequeiro em minas gerais. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, v. 40, n. 1, p. 45–52, 2010.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético - Vol 2 - 3ª Edição**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2014.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties 1. **Crop Science**, v. 6, n. 1, p. 36–40, 1966.

EL-SODA, M. et al. Genotype × environment interaction QTL mapping in plants: Lessons from Arabidopsis. **Trends in Plant Science**, v. 19, n. 6, p. 390–398, 2014.

EPAMIG. **EPAMIG avalia onze novas cultivares de trigo para o Sul de Minas**. Disponível em: <<https://epamig.wordpress.com/2020/07/30/epamig-avalia-onze-novas-cultivares-de-trigo-para-o-sul-de-minas/>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

FAO. **Crop and livestock products: Wheat**. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>>. Acesso em: 2 maio. 2022.

FARIAS, A. R. et al. Dinâmica Espacial da Cultura do Trigo no Brasil no período de 1990 a 2014. **Documentos / Embrapa Gestão Territorial**, p. 29, 2017.

FEREDE, M.; WOREDE, F. Variability, heritability and genetic advance analysis in bread

wheat (*Triticum Aestivum* L.) genotypes in Northwestern Ethiopia. **International Journal of Sustainable Agricultural Research**, v. 7, n. 2, p. 56–65, 2020.

FOLLMANN, D. N. et al. Genetic progress in homogeneous regions of wheat cultivation in Rio Grande do Sul State, Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 1, 2017.

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

GEREMA, G. et al. Morphological characterization and genetic analysis in bread wheat germplasm: A combined study of heritability, genetic variance, genetic divergence and association of characters. **Agricultural Science and Technology**, v. 12, n. 4, p. 301–311, 2020.

GEREMA, G. Evaluation of durum wheat (*Triticum turgidum*) genotypes for genetic variability, heritability, genetic advance and correlation studies. **Journal of Agriculture and Natural Resources**, v. 3, n. 2, p. 150–159, 2020.

GIRMA SEYOUM, E.; SISAY, A. Genetic variability, heritability and genetic advance study in bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.). **Advances in Bioscience and Bioengineering**, v. 9, n. 3, p. 81, 2021.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola - Safra de trigo 2008/09**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612#resultado>>. Acesso em: 26 maio. 2021.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola - Safra de trigo 2018/19**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612#resultado>>. Acesso em: 26 maio. 2021.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Disponível em: <[https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistemico-da-producao-agricola.html?utm\\_source=landing&utm\\_medium=explica&utm\\_campaign=producao\\_agropecuaria&t=destaques](https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistemico-da-producao-agricola.html?utm_source=landing&utm_medium=explica&utm_campaign=producao_agropecuaria&t=destaques)>. Acesso em: 2 maio. 2022.

ITAM, M. O. et al. Genetic variation in drought resilience-related traits among wheat multiple synthetic derivative lines: Insights for climate resilience breeding. **Acta Histochemica et Cytochemica**, v. 71, n. 4, p. 435–443, 2021.

JAMIL, A. et al. Genetic variability, broad sense heritability and genetic advance studies in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) germplasm. **Pure and Applied Biology**, v. 6, n. 2, p. 538–543, 2017.

JAN, S.; MOHAMMAD, F.; KHAN, F. U. Genetic potential and heritability estimates of yield traits in F3 segregating populations of bread wheat. **International Journal of Environment**, v. 4, n. 2, p. 106–115, 2015.

KUCEK, L. K. et al. Genotype  $\times$  Environment interactions and stability in organic wheat. **Crop Science**, v. 54, n. 1, p. 25–32, 2019.

LIN, C. S.; 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.

LUCHE, H. DE S. *et al.* Parâmetros de adaptabilidade e estabilidade em cultivares brasileiras e estrangeiras de aveia branca. **Current Agricultural Science**, v. 19, p. 31–40, 2013.

LUNAR ALIMENTOS. **Moinho Sete Irmãos**. Disponível em: <<https://www.moinhoseteirmaos.com.br/empresa>>. Acesso em: 2 maio. 2022.

MARINHO, J. L. et al. Nitrogen use efficiency and yield of wheat genotypes affected by nitrogen fertilizing and environmental conditions in Southern Brazil. **International Journal of Plant Production**, 2022.

MOINHO SUL MINEIRO. **Unidade**. Disponível em: <<http://moinhosulmineiro.com.br/>>. Acesso em: 2 maio. 2022.

MONTESINOS-LÓPEZ, O. A. et al. Analysis of genotype-by-environment interaction in winter wheat growth in organic production system. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 30, n. 3, p. 212–223, 2018.

MORI, C. *et al.* **Trigo: O produtor pergunta, a EMBRAPA responde**. Brasília: Embrapa, 2016. 309 p.

MUNARO, L. B. et al. Brazilian spring wheat homogeneous adaptation regions can be dissected in major megaenvironments. **Crop Science**, v. 54, n. 4, p. 1374–1383, 2014.

MWADZINGENI, L.; SHIMELIS, H.; TSILO, T. J. Variance components and heritability of yield and yield components of wheat under drought-stressed and non-stressed conditions. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 11, p. 1425–1430, 2017.

NURAENI, E.; WAHYU, Y.; TRIKOESOEMANINGTYAS. Selection of wheat (*Triticum aestivum*) lines for the high altitude of indonesia based on single-and multi-character adaptation. **Biodiversitas**, v. 22, n. 12, p. 5530–5535, 2021.

OKUYAMA, L. A.; FEDERIZZI, L. C.; NETO, J. F. B. Grain yield stability of wheat genotypes under irrigated and non-irrigated conditions. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 48, n. 5, p. 697–704, 2005.

PASINATO, A. et al. Potential area and limitations for the expansion of rainfed wheat in the Cerrado biome of Central Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 7, p. 779–790, jul. 2018.

PEREIRA, J.; CUNHA, G. R.; MORESCO, E. R. Improved drought tolerance in wheat is required to unlock the production potential of the Brazilian Cerrado. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 19, n. 2, p. 217–225, 2019.

PIMENTEL, A. J. B. **Caracterização de cultivares para tolerância ao calor e metodologias para seleção de genótipos em trigo**. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

POSSATTO, O. et al. Adaptability and stability of wheat genotypes on ten environments in the states of Paraná and São Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 2, p. 113–121, 2017.

RAKSZEGI, M. et al. Comparison of quality parameters of wheat varieties with different breeding origin under organic and low-input conventional conditions. **Journal of Cereal Science**, p. 297–305, 2016a.

RAKSZEGI, M. et al. Dataset on the mean, standard deviation, broad-sense heritability and stability of wheat quality bred in three different ways and grown under organic and low-input conventional systems. **Data in Brief**, v. 7, p. 1617–1632, 2016b.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras, MG: Editora UFLA, 2012.

RAMALHO, M. A. P.; CARVALHO, B. L.; NUNES, J. A. R. Perspectives for the Use of Quantitative Genetics in Breeding of Autogamous Plants. **ISRN Genetics**, v. 2013, p. 1–6, 2013.

RESENDE, M. D. V. Software SELEGEN - REML/BLUP. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, n. Documentos. Embrapa Florestas. Colombo/PR, p. 67, 2002.

REYNOLDS, M. P. et al. Erratum to “Physiological factors associated with genotype by environment interaction in wheat”. **Field Crops Research**, v. 85, n. 2–3, p. 253–274, 2004.

SCHERLOSKEY, A. et al. Genetic variability of Brazilian wheat germplasm obtained by high-density SNP genotyping. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 18, n. 4, p. 399–408, dez. 2018.

SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA DE MINAS GERAIS, **Trigo: Março/2022**. Disponível em:  
<[http://www.reformaagraria.mg.gov.br/images/documentos/perfil\\_trigo\\_março\\_2022\[1\].pdf](http://www.reformaagraria.mg.gov.br/images/documentos/perfil_trigo_março_2022[1].pdf)>. Acesso em: 2 maio. 2022.

SILVA, R. R. et al. Investigating suitable test locations and mega-environments for evaluating spring wheat in Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 2, p. 137–143, 2016.

SINGH, C. et al. Genotype x environment interaction analysis of multi-environment wheat trials in India using AMMI and GGE biplot models. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 19, n. 3, p. 309–318, set. 2019.

SOUZA, R. G. DE; VIEIRA FILHO, J. E. R. TD 2608 - Produção de Trigo no Brasil: indicadores regionais e políticas públicas. **Texto para Discussão**, p. 1–41, 2020.

STUDNICKI, M. et al. Consistency of yield ranking and adaptability patterns of winter wheat cultivars between multi-environmental trials and farmer surveys. **Agronomy**, v. 9, n. 5, p. 245, 15 maio 2019.

SUKUMARAN, S. et al. Genomic-enabled prediction accuracies increased by modeling genotype × environment interaction in durum wheat. **The Plant Genome**, v. 11, n. 2, p. 170112, 2018.

SZARESKI, V. J. et al. Phenotypic and predicted genetic approaches for genotype ranking of wheat seed yield in Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v. 17, n. 3, p. 1–13, 2018.

SZARESKI, V. J. et al. Adaptability and stability with multivariate definition of macroenvironments for wheat yield in Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, 2021.

TAJIBAYEVA, D. et al. Genotype by environment interactions for spring durum wheat in Kazakhstan and Russia. **Ecological Genetics and Genomics**, v. 21, 2021.

THUNGO, Z. et al. Genotype-by-environment effects on grain quality among heat and drought tolerant bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. **Journal of Plant Interactions**, v. 15, n. 1, p. 83–92, 2020.

TRINDADE, J. A. S. **Avaliação da eficiência na produção de trigo no Brasil: aplicação da análise envoltória de dados**. Dissertação (Mestrado em Ciências Contábeis) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

VILMA ALIMENTOS. **Unidades**. Disponível em: <<https://www.vilma.com.br/a-vilma/unidades/>>. Acesso em: 2 maio. 2022.

WOYANN, L. G. et al. Selection of high-yielding, adapted and stable wheat lines in preliminary trials. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 19, n. 4, p. 412–419, 5 dez. 2019.

WRICKE, G. Zur Berechnung der Ökovalenz bei Sommerweizen und Hafer. **Zeitschrift für Pflanzenzüchtung**, v. 5, p. 127–138, 1965.

YAN, W. GGEbiplot - A windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. **Agronomy Journal**, v. 93, n. 5, p. 1111–1118, 2001.

ZOBEL, R. W.; WRIGHT, M. J.; GAUCH, H. G. Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy Journal**, v. 80, n. 3, p. 388–393, 1988.

**SEGUNDA PARTE – ARTIGO**

**ARTIGO 1 – PERFORMANCE DE POTENCIAIS GENITORES PARA UM  
PROGRAMA DE MELHORAMENTO DE TRIGO**

## RESUMO

A expansão da triticultura em Minas Gerais passa pelo desenvolvimento de cultivares adaptadas às condições de cultivo de potenciais regiões produtoras. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade genética quanto a caracteres agronômicos e a adaptabilidade de cultivares de trigo, oriundas de diferentes programas de melhoramento, para o cultivo na região sul de Minas Gerais e, com base em tal avaliação, realizar a escolha de genitores para um programa de melhoramento de trigo voltado à região. Foram avaliadas 79 cultivares de trigo nos municípios de Lavras e Itutinga – MG. Foram avaliados os caracteres altura de planta, dias para o espigamento, peso de mil sementes, peso do hectolitro e produtividade de grãos. As análises dos dados por local e conjunta foram realizadas usando a abordagem de modelos lineares mistos de Henderson. Os componentes da variância foram estimados pelo método da máxima verossimilhança residual, sendo a significância verificada pelo teste da razão de verossimilhança à 5% de probabilidade. O valor genético das cultivares foi predito via BLUP. Foram estimadas a herdabilidade generalizada de Cullis na média de cultivar e a acurácia seletiva. Foi realizada a decomposição da interação cultivares  $\times$  locais em suas frações simples e complexa. Foram estimadas as correlações genéticas e ambientais entre os caracteres, as quais foram plotadas na forma de um correlograma. Adicionalmente, foi efetuada a seleção para múltiplos caracteres usando o índice Z da soma das variáveis padronizadas. A variância genética foi significativa em ambos os locais. A interação cultivares  $\times$  locais foi expressiva, indicando uma resposta diferencial das cultivares nos locais testados. Pelo índice Z foram identificadas 15 cultivares de trigo mais adaptadas à região Sul de Minas Gerais, as quais são ORS Guardião, CD 105, Valente, BRS Angico, Tbio Aton, IPR 144, CD 1595, CD 1303, IPR 130, CD 1252, BRS Sanhaço, CD 122, BRS 404, Tbio Tibagi, CD 1104 e Tbio Audaz, que apresentaram desempenho desejável para todas as características avaliadas.

**Palavras-chave:** *Triticum aestivum* L.. Interação genótipos por ambientes. Variabilidade genética.

## ABSTRACT

The expansion of triticulture in Minas Gerais involves the development of lineages adapted to the growing conditions in potential producing regions. In this sense the objective of this work was to evaluate the genetic variability in terms of agronomic characters and the adaptability of wheat lineages from different breeding programs for cultivation in the southern region of Minas Gerais and, based on this evaluation, to choose genitors for a wheat breeding program aimed at the region. Seventy-eight wheat cultivars were evaluated in the cities of Lavras and Itutinga - MG. The traits plant height, heading date, thousand-seed weight, hectoliter weight and grain yield were assessed. Individual and joint analyses were performed using Henderson's linear mixed model approach. The variance components were estimated by the residual maximum likelihood method, and the significance was verified by the likelihood ratio test at 5% probability. The genetic values of the cultivars were predicted using BLUP predictor. The generalized heritability of Cullis on cultivar-mean basis and the selective accuracy were estimated. The cultivar by location interaction was decomposed into simple and complex fractions according to Robertson's method. The genetic and residual correlations between the traits were estimated and plotted in a correlogram. Additionally, the multi-trait selection was

done based on the sum of standardized variables using the Z index. The genetic variance was significant. Finally, the Z index was estimated allowing selection for multiple characters. The genetic variance and cultivar by location variance were expressive for all traits. These results indicate differential responses of cultivars through the locations. The Z index allowed to identify 15 cultivars most adapted to the south region of Minas Gerais, which are ORS Guardiã, CD 105, Valente, BRS Angico, Tbio Aton, IPR 144, CD 1595, CD 1303, IPR 130, CD 1252, BRS Sanhaço, CD 122, BRS 404, Tbio Tibagi, CD 1104 and Tbio Audaz, which presented desirable performance for all evaluated traits.

**Keywords:** *Triticum aestivum* L.. Genotype-by-environment interaction. Genetic variability.

## 1 INTRODUÇÃO

O trigo é um dos três cereais mais cultivados no mundo e conta com diversos usos, como na composição de inúmeros tipos de farinhas, biscoitos, pães e massas, além de uso forrageiro para compor a alimentação animal (FARIAS et al., 2017). Segundo informações divulgadas na 15ª Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, realizada em junho de 2022, em dez anos, caso a produção de trigo cresça 10% ao ano, a produção saltaria de 8 milhões de toneladas em 2022 para 20 milhões de toneladas em 2031, colocando o Brasil como potencial grande exportador do cereal no mercado internacional (ANTUNES, 2022).

O Brasil, na atualidade, ainda é um dos principais importadores mundiais de trigo, apesar do enorme potencial de crescimento na produção desse cereal. Uma estratégia para o incremento da produção tritícola nacional é a expansão das áreas cultivadas, com ocupação de regiões do Brasil Central, especialmente em altitudes superiores a 800 m, que possuem condições edafoclimáticas mais favoráveis à cultura (FIOREZE et al., 2020).

No estado de Minas Gerais, o maior crescimento do cultivo de trigo se deu a partir de 2013. Os bons preços de comercialização incentivaram os produtores, levando ao crescimento de 87,8% na área de plantio, que saiu de 36,2 mil ha na safra de 2013 para 68,0 mil ha na safra de 2014 (CONAB, 2017). Ademais, é notável o crescimento do cultivo de trigo na mesorregiões sul e sudoeste de Minas Gerais, visto que no ano de 2019, foram cultivados 19,5 mil ha com trigo, com a produção alcançando 56 mil toneladas, com uma produtividade de 2879 kg.ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2020). Já no ano de 2009, foram cultivados apenas 640 ha, com uma produção de 960 toneladas e produtividade por área de 1.500 kg.ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2011)

Tal fato pode ser justificado por o estado contar com algumas vantagens em relação ao cultivo do cereal: o clima é bastante favorável, a baixa umidade relativa durante grande parte

do ciclo favorece a redução do ataque de pragas e a colheita durante o período seco proporciona um produto com excelente peso do hectolitro e qualidade de farinha, alcançando, assim, boas produtividades. A possibilidade de colheita na entressafra da região Sul do Brasil e da Argentina, juntamente à proximidade dos principais centros consumidores, também aumenta a competitividade do produto mineiro (TRINDADE, 2019).

A expansão da triticultura para tais regiões passa por uma melhor definição de ambientes adequados e o desenvolvimento de cultivares adaptadas. É essencial obter, via melhoramento genético, cultivares com elevado potencial produtivo, ciclo precoce, maior resistência ao acamamento e às doenças e com qualidade tecnológica de grãos adequada ao produto final, e que possibilite uma melhor exploração da interação genótipo x ambiente (GxA), otimizando a utilização de recursos e maximizando os rendimentos (PASINATO et al., 2018).

Entretanto, os principais programas de melhoramento ficam mais concentrados e voltados para o desenvolvimento de cultivares de trigo adaptadas às tradicionais regiões tritícolas localizadas na região sul do Brasil. Dessa forma, para maior eficiência no desenvolvimento de cultivares adaptadas, há a necessidade de desenvolver programa de melhoramento específico para destacadas regiões tritícolas no estado de Minas Gerais, a exemplo das mesorregiões dos Campos das Vertentes e Sul de Minas.

Assim, entende-se que o passo inicial para estabelecimento de tal programa passa pela avaliação de cultivares de diferentes programas de melhoramento em ambientes de cultivos da região, o que permite a identificação de genótipos de interesse e capitalização das vantagens acumuladas no processo de seleção realizado previamente.

O sucesso de um programa de melhoramento passa pela escolha bons genitores, que permitam a obtenção de uma população segregante que origine linhagens superiores às já existentes (RAMALHO et al., 2012). Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade genética quanto a caracteres agronômicos e a adaptabilidade de cultivares de trigo, oriundas de diferentes programas de melhoramento, para o cultivo na região sul de Minas Gerais, e, com base em tal avaliação, realizar a escolha de genitores para um programa de melhoramento de trigo voltado à região.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Descrição dos locais**

Os experimentos foram implantados nos seguintes locais:

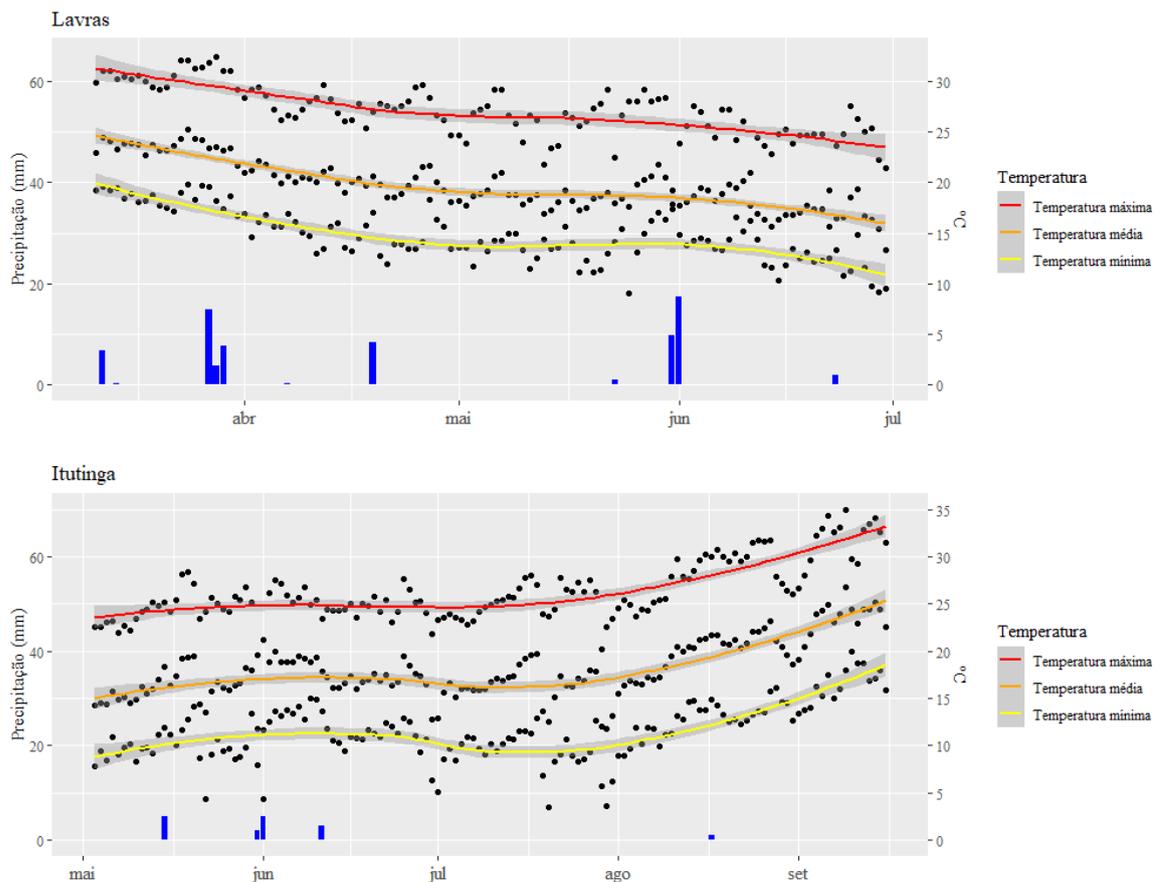
- i) Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária da Universidade Federal de Lavras (Fazenda Muquém), localizado no município de Lavras - MG,

mesorregião do Campo das Vertentes, a uma altitude de 918 m, aos 21°14' de latitude sul e 45°00' de longitude oeste. A temperatura média anual é de aproximadamente 19,4°C e a precipitação média anual de 1461,8 mm. O clima é classificado na escala de Koppen como tropical de altitude (Cwa). O tipo de solo é o Latossolo vermelho-amarelo.

- ii) Fazenda 3W, localizada no município de Itutinga – MG, mesorregião do Campo das Vertentes, a uma altitude média de 1.023 m, aos 21°42' de latitude sul e 44° 70' de longitude oeste. A temperatura média anual é de 19,3°C e precipitação média anual de 1433,3 mm. O clima é classificado na escala de Koppen como tropical de altitude (Cwa). O tipo de solo é o Latossolo vermelho-amarelo.

Os experimentos foram realizados na safra agrícola de 2021, sendo as semeaduras em 11/03/2021, em Lavras, e 03/05/2021, em Itutinga. Na Figura 1, estão apresentados os dados climáticos nos períodos de condução dos experimentos, com informações de precipitação da estação meteorológica do INMET no município de Lavras e pluviômetro instalado na Fazenda 3W. Os dados de temperatura foram obtidos com base nos dados do projeto NASA POWER.

Figura 1 - Temperaturas máxima, média e mínima (°C) e precipitação (mm) durante o período de condução dos experimentos nos municípios de Lavras e Itutinga - MG.



Fonte: Do autor (2022).

## 2.2 Planejamento e condução dos experimentos

Foram avaliadas 78 cultivares de trigo oriundas de diferentes programas de melhoramento (Tabela 2), sendo 68 cultivares avaliadas em Lavras e Itutinga, 2 somente em Lavras ('Valente' e 'Supera') e 8 somente em Itutinga ('BRS 208', 'BRS 210', 'BRS 296', 'CD 108', 'Embrapa 22', 'FUNDACEP Campo Real', 'IPR 130' e 'TBIO Sinuelo').

Tabela 2 - Obtentores e respectivas cultivares avaliadas nos experimentos.

<b>Obtentor</b>	<b>Número de cultivares</b>	<b>Cultivares</b>
Biotrigo	13	TBIO Alvorada, TBIO Aton, TBIO Audaz, TBIO Duque, TBIO Iguaçu, TBIO Itaipu, TBIO Mestre, TBIO Sintonia, TBIO Selete, TBIO Sinuelo, TBIO Sonic, TBIO Sossego, TBIO Tibagi
Coodetec	13	CD 105, CD 108, CD 1104, CD 111, CD 116, CD 118, CD 122, CD 124, CD 1252, CD 1303, CD 1440, CD 151, CD 1595
Embrapa	20	BR 18, BRS 208, BRS 210, BRS 220, BRS 229, BRS 264, BRS 296, BRS 331, BRS 394, BRS 404, BRS Angico, BRS Gaivotá, BRS Gralha Azul, BRS Louro, BRS Pardela, BRS Reponte, BRS Sanhaço, BRS Tangará, Embrapa 22, Embrapa 42
Epamig	1	MGS 1 Aliança
Fundacep	4	FUNDACEP Campo Real, FUNDACEP Cristalino, FUNDACEP Horizonte, FUNDACEP Raízes
Fundação Pró-sementes	1	FPS Nitron
IAC	4	IAC 24, IAC 385 Mojave, IAC 388 Arpoador, IAC 389 Atacama
IAPAR	7	IAPAR 78, IPR 128, IPR 130, IPR 136, IPR 144, IPR Catuara, IPR Potiporã
OR Sementes	11	Ametista, Jadeite, ORS 1403, ORS Citrino, ORS Destak, ORS Feroz, ORS Guardião, ORS Madrepérola, ORS Senna, Topázio, Valente
OR Sementes/Biotrigo	3	Mirante, Marfim, Supera
UFV	1	UFV-T1 Pioneiro

Fonte: Do autor (2021).

Os experimentos foram instalados no delineamento experimental alfa-látice com três repetições. As parcelas foram constituídas por cinco linhas de 5,0 m e espaçamento entre linhas de 0,20 m, com densidade de semeadura de 50 sementes por metro linear.

Na pré-semeadura, o preparo da área consistiu na dessecação das plantas daninhas com herbicida a base de glifosato, e posterior roçagem da área utilizando o equipamento trincha. A semeadura e adubação de plantio foi realizada por meio semeadora Semina II de cinco linhas. Foram aplicadas as dosagens do fertilizante formulado NPK 8-24-12 de 170 kg ha<sup>-1</sup> no

experimento de Lavras e 210 kg ha<sup>-1</sup> no experimento em Itutinga. As sementes foram cedidas pelo banco de germoplasma da EPAMIG.

No município de Lavras, o controle de plantas daninhas foi realizado por meio de herbicidas a base de metilsulfuron metílico (3,0 g.ha<sup>-1</sup>) e Clodinafope-propargil (150 mL.ha<sup>-1</sup>) complementado por controle mecânico. O controle de pragas, como pulgões, foi realizado com inseticida a base de imidacloprido + beta-ciflutrina (250 mL.ha<sup>-1</sup> e doenças, como ferrugem e brusone, usando fungicidas a base de mancozebe (2,0 kg.ha<sup>-1</sup>) e epoxiconazol + fluxapiroxade + piraclostrobina (1.200 mL.ha<sup>-1</sup>), respectivamente.

Já no experimento localizado em Itutinga, o controle de plantas daninhas foi realizado por meio de herbicidas a base de metilsulfuron metílico (3,0 g.ha<sup>-1</sup>). O controle de pragas, como lagartas e pulgões, foi realizado com inseticida a base de bifentrina (400 mL.ha<sup>-1</sup>); metoxifenozida (200 mL.ha<sup>-1</sup>); benzoato de emamectina (200 mL.ha<sup>-1</sup>); acefato (468 mL.ha<sup>-1</sup>); clorantraniliprole (100 mL.ha<sup>-1</sup>); e doenças, como brusone, usando fungicidas a base de mancozebe (2,0 kg.ha<sup>-1</sup>) e azoxistrombina + tebuconazol (750 mL.ha<sup>-1</sup>). Além disso foram aplicados fungicida, inseticida e acaricida a base de mistura de hidrocarbonetos parafínicos, ciclo parafínicos e aromáticos saturados e insaturados provenientes da destilação do petróleo (720 mL.ha<sup>-1</sup>), e fertilizantes foliares com substâncias húmicas (45% N, na dose de 100 mL.ha<sup>-1</sup>); aminoácidos (30 mL.ha<sup>-1</sup>); nitrogênio e boro (1,0% de N e 10,0% de B, 200 mL.ha<sup>-1</sup>), magnésio e manganês (8,0% de Mg e 0,1% de Mn, na dose de 500 mL.ha<sup>-1</sup>); e um complemento nutricional para pulverização (58,5 g/L N + 175,5 g/L P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> p/v, na dose de 100 mL.ha<sup>-1</sup>).

A adubação de cobertura, em ambos os experimentos, foi realizada aos 30 dias após a emergência por meio da aplicação de 100 kg.ha<sup>-1</sup> de ureia. Os experimentos foram conduzidos em condições de sequeiro, utilizando irrigação suplementar quando necessário em Lavras. A colheita das espigas foi realizada utilizando um roçadeira de disco adaptada, em torno dos 120 dias após a semeadura.

### 2.3 Características avaliadas

Foram avaliadas as seguintes características:

- i) Espigamento (dias): número de dias decorridos do plantio até o ponto em que 50% das plantas da parcela emitiram espiga. Esta característica foi avaliada apenas em Lavras.

- ii) Altura de planta (cm): medida da superfície do solo até a parte superior da espiga com auxílio de uma régua em dois pontos da parcela, após o espigamento de todas as plantas da parcela
- iii) Umidade (%): medida usando analisador de umidade e impurezas Gehaka® G650 a partir de uma amostra dos grãos de cada parcela após a colheita.
- iv) Peso de mil sementes (g): medido utilizando contador eletrônico de sementes ESC 2011 Comp, desenvolvido pela empresa Sanik®, a partir do peso de 1.000 grãos sem a palha.
- v) Peso do hectolitro (kg.hL<sup>-1</sup>): medida utilizando o analisador de umidade e impurezas Gehaka® G650, a partir do peso dos grãos sem a palha, na umidade de 13%.
- vi) Produtividade de grãos (kg.ha<sup>-1</sup>): medida a partir do peso dos grãos sem a palha da parcela, em gramas, usando balança de bancada, em umidade corrigida para 13%, e convertido para quilogramas por hectares.

#### 2.4 Análises estatísticas

Os dados de cada característica foram analisados usando a abordagem de modelos lineares mistos de Henderson (RESENDE, 2002b). Os componentes da variância foram estimados pelo método da máxima verossimilhança residual, sendo a significância verificada pelo teste da razão de verossimilhança à 5% de probabilidade. Estas análises foram realizadas usando o pacote lme4 (BATES et al., 2015) no software R (R Core Team 2021).

A análise individual por local, considerando o delineamento alfa-látice triplo, foi realizada de acordo com o seguinte modelo estatístico:

$$y_{ijk} = \mu + r_k + b_{j(k)} + g'_i + e_{ijk}$$

em que:  $y_{ijk}$  é o valor observado da  $i$ -ésima cultivar no  $j$ -ésimo bloco e na  $k$ -ésima repetição;  $\mu$  é a constante associada a todas as observações;  $r_k$  é o efeito da  $k$ -ésima repetição;  $b_{j(k)}$  é o efeito do  $j$ -ésimo bloco dentro da  $k$ -ésima repetição, sendo que  $b_{j(k)} \sim N(0, \sigma_b^2)$  e  $\sigma_b^2$  a variância de blocos;  $g'_i$  é o efeito da  $i$ -ésima cultivar, sendo que  $g'_i \sim N(0, \sigma_{g'}^2)$  e  $\sigma_{g'}^2$  a variância genética de cultivares dentro de cada local;  $e_{ijk}$  é o erro associado à observação  $y_{ijk}$ , sendo que  $e_{ijk} \sim N(0, \sigma_e^2)$  e  $\sigma_e^2$  a variância do erro experimental.

Foram estimadas para cada local, a acurácia seletiva (Ac) (RESENDE; DUARTE, 2007) e o coeficiente de variação experimental ( $CV_e$ ) usando os seguintes estimadores:

$$Ac = \sqrt{1 - \frac{PEV}{\hat{\sigma}_{g'}^2}}; CV_e = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_e^2}}{\bar{y}}$$

em que:  $PEV$  é variância média do erro de predição associada ao BLUP (melhor preditor linear não-tendenciosa) de cada cultivar;  $\bar{y}$  é a média geral de cada experimento.

Foi realizada a análise conjunta (multilocais) de acordo com o seguinte modelo estatístico:

$$y_{ijkl} = \mu + a_l + r_{j(l)} + b_{j(kl)} + g_i + ga_{il} + e_{ijkl}$$

em que:  $y_{ijkl}$  é a observação da  $i$ -ésima cultivar no  $j$ -ésimo bloco dentro da  $k$ -ésima repetição no  $l$ -ésimo local;  $\mu$ : constante geral associada a todas as observações;  $a_l$  é o efeito do  $l$ -ésimo local;  $r_{j(l)}$  é o efeito da  $j$ -ésima repetição no  $l$ -ésimo local;  $b_{j(kl)}$  é o efeito do  $k$ -ésimo bloco dentro da  $j$ -ésima repetição no  $l$ -ésimo local, sendo que  $b_{j(kl)} \sim N(0, \sigma_b^2)$ ;  $g_i$  é o efeito da  $i$ -ésima cultivar, sendo que  $g_i \sim N(0, \sigma_g^2)$  e  $\sigma_g^2$  a variância genética de cultivares;  $ga_{il}$  é o efeito da interação entre a  $i$ -ésima cultivar e o  $l$ -ésimo local, sendo que  $ga_{il} \sim N(0, \sigma_{ga}^2)$  e  $\sigma_{ga}^2$  a variância da interação cultivares  $\times$  locais;  $e_{ijkl}$  é o erro associado à observação  $y_{ijkl}$ , sendo que  $e_{ijkl} \sim N(0, \sigma_e^2)$  e  $\sigma_e^2$  a variância do erro da média.

A homogeneidade das variâncias do erro nos dois locais foi verificada pelo teste da razão de verossimilhança à 5% de probabilidade. A partir da análise conjunta foi estimada a herdabilidade generalizada ( $H^2$ ) de Cullis, Smith e Coombes (2006) na média de cultivar, conforme estimador a seguir:

$$H^2 = 1 - \left[ \frac{v_{BLUP}}{2 \times \hat{\sigma}_g^2} \right]$$

em que:  $v_{BLUP}$  é a variância média do erro de predição da diferença entre BLUPs de duas cultivares.

Considerando a significância da interação cultivares  $\times$  locais, foi efetuada a decomposição da estimativa da variância da interação ( $\hat{\sigma}_{ga}^2$ ) em suas partes simples e complexa, segundo a expressão de Robertson (1959), dada por:

$$\hat{\sigma}_{ga}^2 = \frac{1}{2} (\hat{\sigma}_{gl} - \hat{\sigma}_{gl'})^2 + (1 - r_{gl'}) \hat{\sigma}_l \hat{\sigma}_{l'}$$

em que:  $\frac{1}{2} (\hat{\sigma}_{gl} - \hat{\sigma}_{gl'})^2$  é a parte simples da interação cultivares  $\times$  locais;  $(1 - r_{gl'}) \hat{\sigma}_l \hat{\sigma}_{l'}$  é a parte complexa da interação cultivares  $\times$  locais;  $\hat{\sigma}_l$  e  $\hat{\sigma}_{l'}$  referem-se aos desvios-padrões genéticos de

cultivares nos locais  $l$  e  $l'$ ;  $r_{gll'} = \frac{\sigma_{gll'}}{\sigma_{g_l} \times \sigma_{g_{l'}}} = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_{g_l} \times \sigma_{g_{l'}}$  é a correlação genética entre os locais  $l$  e  $l'$ .

As correlações genéticas ( $r_{g(t,t')}$ ) e residuais ( $r_{e(t,t')}$ ) entre as características avaliadas foram estimadas de acordo com as seguintes expressões (FALCONER; MACKAY, 2006):

$$r_{g(t,t')} = \frac{\hat{\sigma}_{g_{tt'}}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{g_t}^2 \times \hat{\sigma}_{g_{t'}}^2}}; r_{e(t,t')} = \frac{\hat{\sigma}_{e_{tt'}}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{e_t}^2 \times \hat{\sigma}_{e_{t'}}^2}}$$

em que:  $\hat{\sigma}_{g_{tt'}}$  é a covariância genética entre os caracteres  $t$  e  $t'$ ;  $\hat{\sigma}_{g_t}^2$  e  $\hat{\sigma}_{g_{t'}}^2$  são as variâncias genéticas de cultivares para os caracteres  $t$  e  $t'$ ;  $\hat{\sigma}_{e_{tt'}}$  é a covariância do erro entre os caracteres  $t$  e  $t'$ ;  $\hat{\sigma}_{e_t}^2$  e  $\hat{\sigma}_{e_{t'}}^2$  são as variâncias do erro para os caracteres  $t$  e  $t'$ . Posteriormente foi elaborado um correlograma utilizando o pacote corrplot (WEI; SIMKO, 2021), visando ilustrar a magnitude da correlação genética entre os caracteres.

Para fins de seleção envolvendo as múltiplas características, foi empregado o índice Z baseado na soma das médias BLUP das cultivares padronizadas - índice Z (MENDES; RAMALHO; ABREU, 2009), de acordo com a seguinte expressão:

$$z_{it} = \frac{\bar{y}_{it} - \bar{y}_t}{s_t}$$

em que:  $z_{it}$  é o valor da média BLUP padronizada da cultivar  $i$  para a característica  $t$ ;  $\bar{y}_{it}$  é a média BLUP da cultivar  $i$  para a característica  $t$ ;  $\bar{y}_t$  é o valor médio das médias BLUP das cultivares para a característica  $t$ ;  $s_t$  é o desvio padrão das médias BLUP das cultivares para a característica  $t$ . Foram plotados gráficos de radar utilizando o pacote fsmb (NAKAZAWA, 2018). Para a característica altura de planta, o valor do índice Z obtido foi invertido, por meio da multiplicação deste por (-1), visando a seleção de plantas de menor porte. As 12 cultivares mais promissoras foram ranqueadas com base nos maiores valores do índice Z, tomando como ideótipo plantas de menor altura e maior peso de mil sementes, mais produtivas e maior peso do hectolitro.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variância genética entre as cultivares foi não nula ( $P < 0,05$ ) para todos os caracteres avaliados em ambos os locais (Lavras e Itutinga) (Tabela 3). Desta forma, , a acurácia seletiva

( $r_{\bar{g}g}$ ) se torna um parâmetro de relevância para aferir a classe de precisão dos experimentos, bem como indicador da confiabilidade nos dados experimentais para fins de seleção de cultivares promissoras (RESENDE; DUARTE, 2007). Em geral, as estimativas de acurácia assinalaram que os experimentos tiveram moderada a alta precisão ( $r_{\bar{g}g} > 0,70$ ) em ambos os locais, variando entre 0,75 (produtividade de grãos) à 0,96 (espigamento) em Lavras; e 0,62 (produtividade de grãos) à 0,95 (peso de mil sementes) em Itutinga (Tabela 3). A característica produtividade de grãos se mostrou mais influenciada por fatores ambientais, como apontado pelos valores mais elevados do coeficiente de variação experimental ( $CV_e$ ). Todavia, o baixo valor de  $r_{\bar{g}g}$  para peso do hectolitro em Itutinga, está mais associado à baixa variação genética, visto o baixo valor de  $CV_e$  observado. Bornhofen et al. (2018), avaliando os ganhos genéticos alcançados em um programa de melhoramento de trigo mantido pela COODETEC no Brasil por meio da avaliação anual de linhagens em experimentos multi-ambientais encontrou valores de  $CV_e$  entre 8,69 e 10,18% para produtividade de grãos. Já Rüdell et al. (2021), avaliando o desempenho de 12 cultivares de trigo indicadas para cultivo no norte do Rio Grande do Sul encontraram valores de  $CV_e$  de 15,65% para produtividade e de 2,35% para peso do hectolitro.

A variação entre locais foi expressiva (Tabelas 3 e 4). As médias para todos os caracteres foram superiores no município de Itutinga comparando com Lavras. Tais diferenças estão associadas com fatores macroambientais e, neste caso, pode ser justificado pelas melhores condições edafoclimáticas e de manejo, como a estrutura e fertilidade do solo e a maior presença de palhada, o que auxilia na retenção da umidade, na área experimental de Itutinga.

Thind et al. (2019), avaliando o cultivo de trigo sob diferentes níveis de palhada de arroz, inferiram que o tratamento com 100% da área coberta por palhada de arroz alcançou produtividade média de grãos significativamente maior em 7,3% e 17,5% em comparação com os tratamentos convencional e com resíduo de arroz removido.

Siyal, Siyal e Jatt (2021), avaliando a resposta de genótipos de trigo ao estresse hídrico, encontraram médias para espigamento variando entre 72 a 87 dias, altura entre 83 a 103 cm, peso de mil sementes entre 34,40 a 46,74 g e produtividade de grãos entre 1.261 e 1.794 kg.ha<sup>-1</sup>. É evidente que os genótipos avaliados pelos autores contam com menor precocidade, maior porte, peso de mil sementes semelhante e menor produtividade que os avaliados neste trabalho, indicando que a deficiência hídrica retarda o espigamento das plantas e uma maior presença de umidade no sistema favorece o incremento nas médias de produtividade.

Tabela 3 - Componentes de variância genética e experimental ( $\sigma_g^2$  e  $\sigma_e^2$ ), média ( $\bar{Y}$ ), acurácia ( $r_{\bar{g}g}$ ) na média de cultivar e coeficiente de variação experimental ( $CV_e\%$ ) para características avaliadas em experimentos de avaliação de cultivares de trigo nas localidades de Lavras e Itutinga na safra agrícola 2021.

Característica	Local	$\sigma_g^2$	$\sigma_e^2$	$\bar{Y}$	$r_{\bar{g}g}$	$CV_e$
<b>Espigamento (dias)</b>	Lavras	16,22*	3,16	53	0,96	3%
<b>Altura de Planta (cm)</b>	Itutinga	23,85*	7,02	87 a <sup>1</sup>	0,94	3%
	Lavras	7,99*	16,67	71 b	0,75	6%
<b>Peso do Hectolitro (kg.100 L<sup>-1</sup>)</b>	Itutinga	1,13*	2,91	89 a	0,72	2%
	Lavras	8,75*	7,23	84 b	0,87	3%
<b>Peso de Mil Sementes (g)</b>	Itutinga	10,30*	2,00	39 a	0,95	4%
	Lavras	8,52*	1,77	36 b	0,96	4%
<b>Produtividade de Grãos (kg.ha<sup>-1</sup>)</b>	Itutinga	49967,95*	183676,7	3739 a	0,62	12%
	Lavras	73924,46*	127708,7	1967 b	0,77	18%

\* Significativo pelo teste de razão de verossimilhança à 5% de probabilidade ( $H_0: \sigma_g^2 = 0$ ). Médias dos locais seguidas de letras diferentes por característica, diferem pelo teste F-Snedecor à 5% de probabilidade

Fonte: Do autor (2022).

A partir da análise multilocais (Tabela 4), foi possível verificar que a variância genética ( $\sigma_g^2$ ) entre cultivares, livre do efeito da interação cultivares  $\times$  locais, foi não nula ( $P < 0,05$ ) para altura de planta e peso de mil sementes e não-significativa para peso do hectolitro e produtividade de grãos. O êxito com a seleção é dependente da presença de variação genética para a característica-alvo de melhoramento (FALCONER; MACKAY, 1996). Além disso, como explicam Ghaffar, Khan e Waqas (2018), a variação genética observada para os caracteres, nas mesmas condições experimentais, representa a alta diversidade na composição genética das cultivares de trigo de diferentes obtentores avaliadas. Scherlosky et al. (2018), avaliando o germoplasma da COODETEC, no Brasil, por meio de marcadores SNP, também encontraram elevada variação genética entre as cultivares avaliadas. Alta variação genética também foi encontrada por Rukavina et al. (2017) na Croácia, Bendjama e Ramdani (2022) na Itália e Roncallo et al. (2018) na Argentina, entre outros estudos.

A variância da interação cultivares  $\times$  locais ( $\sigma_{ga}^2$ ) foi significativa para todos os caracteres, o que indica que as cultivares de trigo apresentaram desempenho relativo diferencial nos dois locais testados (Tabela 4). Munaro et al. (2014), investigando o padrão de interação G $\times$ A de 63 cultivares de trigo do germoplasma da COODETEC em 12 ambientes, encontraram variância significativa para a interação cultivares  $\times$  locais. Resultados semelhantes em trigo

foram também reportados por Montesinos-López et al. (2018) nos Estados Unidos e Chairi et al. (2020) na Espanha.

A existência de interação genótipos por locais impacta negativamente na herdabilidade ( $H^2$ ), a qual é um parâmetro relevante para os melhoristas, pois relaciona à proporção das variações genética e ambiental na manifestação fenotípica dos caracteres (RAMALHO et al., 2012). Os valores de herdabilidade na média de cultivar foram baixos para peso do hectolitro (34%) e produtividade de grãos (32%), mediano para altura de planta (66%) e alto para peso de mil sementes (83%). A herdabilidade não é um parâmetro imutável, podendo as estimativas variarem de acordo com oscilações em fatores genéticos (e.g. arquitetura genética da característica, genótipos em teste) e ambientais. Bhanu; Arun; Mishra (2018) avaliaram 20 genótipos de trigo quanto a parâmetros de seleção direta (variabilidade, herdabilidade e avanço genético), parâmetro de seleção indireta (correlação) e sua relação com a tolerância ao calor, e encontraram herdabilidade de 44,6% para dias até o espigamento, 64,4% para PMS e 39,2% para produtividade por parcela. Fernandes et al. (2022) visando elucidar características agronômicas relacionadas à produtividade em uma coleção de 99 acessos de trigo utilizados no Brasil, encontraram valores considerados altos de herdabilidade em sentido amplo para produtividade de grãos, assim como para a maioria das características agronômicas estudadas. Carvalho et al. (2019), visando estimar a herdabilidade para 36 caracteres de importância econômica em trigo de duplo propósito, no Rio Grande do Sul – Brasil, encontraram herdabilidade em sentido amplo de 52% para altura de planta.

Tabela 4 – Estimativas da estatística F-Snedecor ( $F_c$ ) para o efeito de locais ( $H_0: \bar{Y}_{Lavras} = \bar{Y}_{Itutinga}$ ), dos componentes da variância genética de cultivares ( $\sigma_g^2$ ) e da interação genótipo por ambientes ( $\sigma_{ga}^2$ ), e da herdabilidade generalizada de Cullis ( $H^2$ ) para seleção na média de cultivar para características avaliadas em experimentos de avaliação de cultivares de trigo nas localidades de Lavras e Itutinga na safra agrícola 2021.

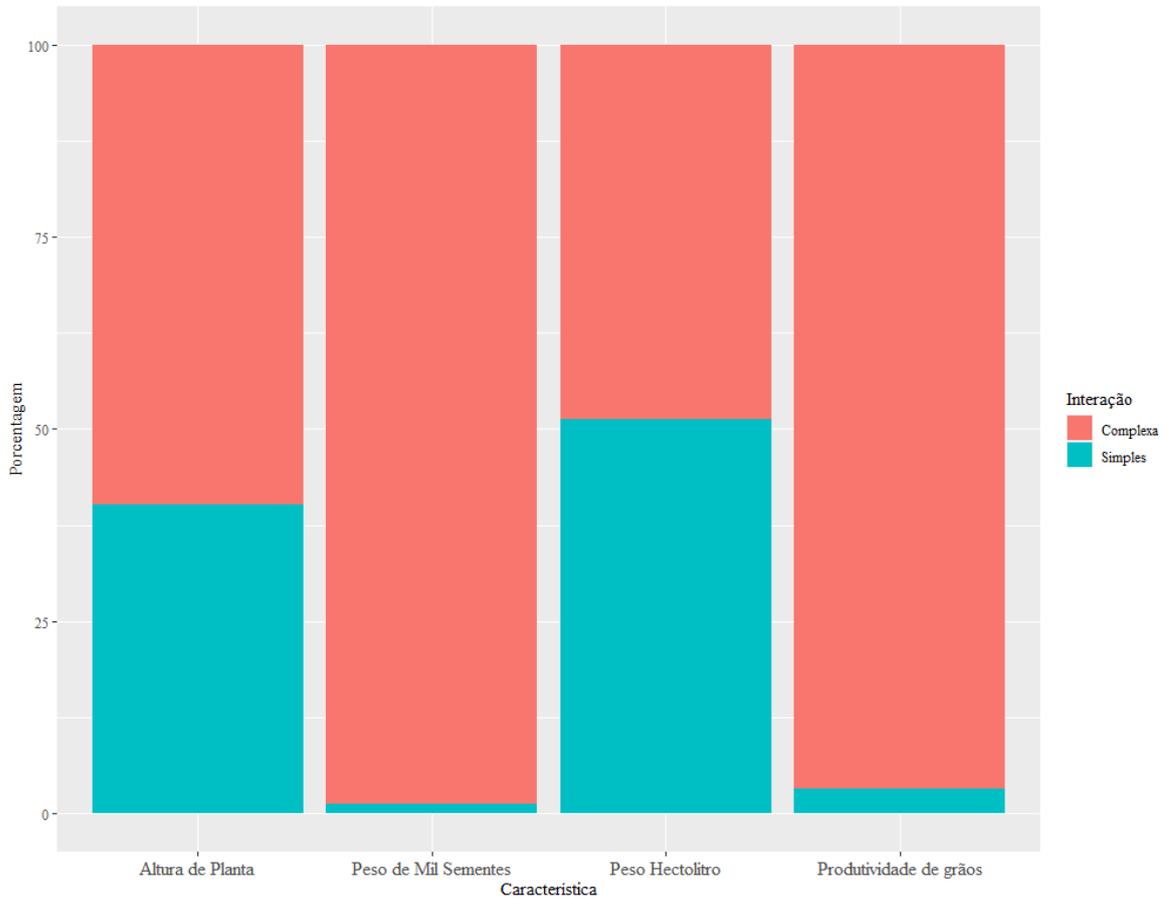
	<b>Altura de Planta (cm)</b>	<b>Peso do hectolitro (kg.100 L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Peso de Mil Sementes (g)</b>	<b>Produtividade de Grãos (kg.ha<sup>-1</sup>)</b>
$F_c$	656,02 <sup>+</sup>	125,33 <sup>+</sup>	77,40 <sup>+</sup>	426,63 <sup>+</sup>
$\sigma_g^2$	10,65*	1,44	7,66*	25242,73
$\sigma_{ga}^2$	5,88*	3,30*	2,19*	39165,45*
$H^2$	66%	34%	83%	32%

<sup>+</sup>Significativo pelo teste F-Snedecor à 5% de probabilidade; \*Significativo pelo teste de razão de verossimilhança à 5% de probabilidade ( $H_0: \sigma_i^2 = 0$ ).

Fonte: Do autor (2022).

O conhecimento acerca da predominância do tipo de interação  $G \times A$ , seja do tipo simples ou complexa, auxilia no entendimento de seus impactos na seleção e na tomada de decisão sobre estratégias de mitigar seu efeito, bem como na melhoria da assertividade na recomendação de cultivares. Com exceção do peso do hectolitro (51,31% da interação dita simples), a interação  $G \times A$  foi majoritariamente de natureza complexa para todos os caracteres, correspondendo a 59,9% para a altura, 98,72% para o peso de mil sementes e 96,80% para a produtividade de grãos (Figura 2). Resultados semelhantes foram obtidos por Coelho et al. (2010). A interação complexa evidencia a mudança de ranqueamento das cultivares nos dois locais, tornando mais desafiadora a seleção pelos melhoristas com foco em adaptabilidade ampla (ALIPOUR et al., 2021).

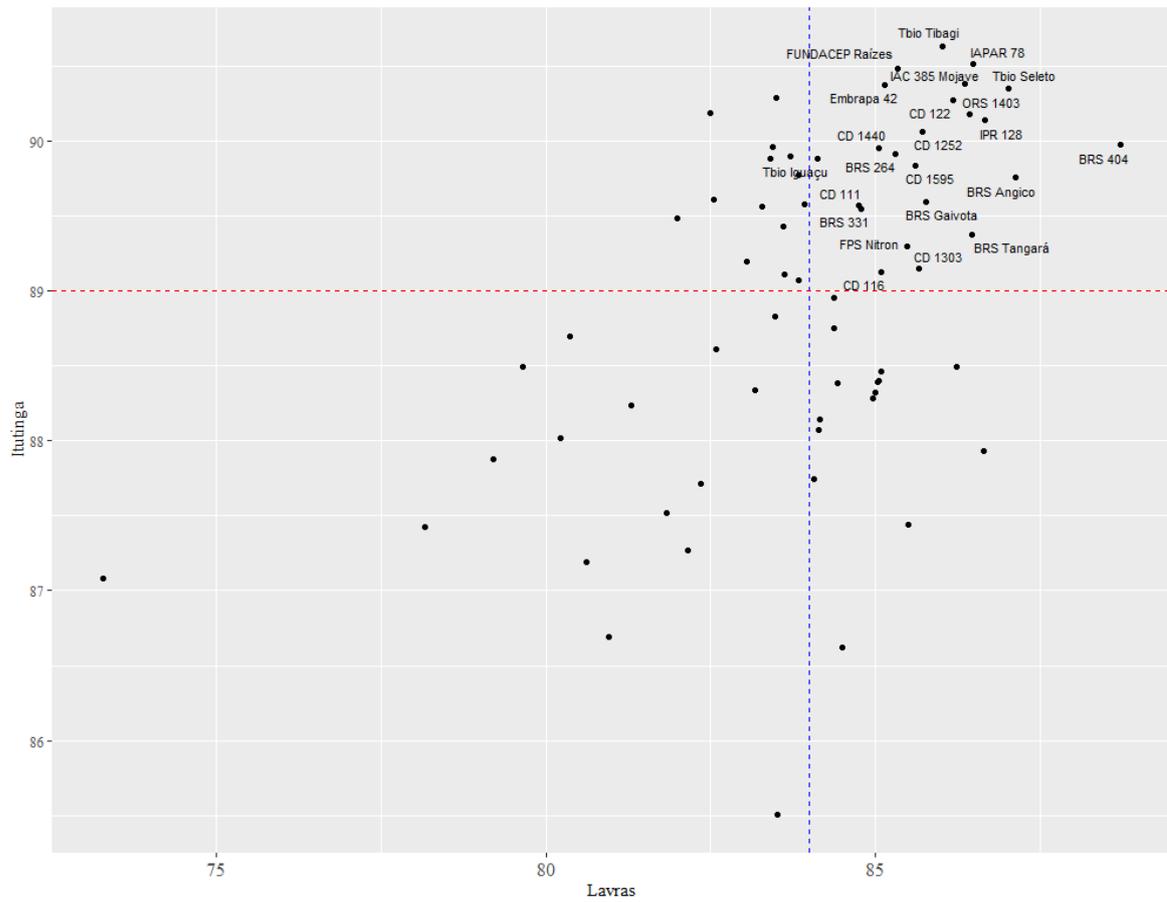
Figura 2 - Porcentagens da interação cultivares x locais do tipo simples e complexa para as características avaliadas em experimentos de avaliação de cultivares de trigo nas localidades de Lavras e Itutinga na safra agrícola 2021.



Fonte: Do autor (2022).

De acordo com as médias BLUP das cultivares em cada local, 37 cultivares apresentaram desempenho superior à média do PH em Itutinga e 38 em Lavras (Figura 3). Já em relação à produtividade de grãos, 32 cultivares apresentaram desempenho superior à média em Itutinga e 33 em Lavras (Figura 4). Em ambos os locais, 23 cultivares apresentaram desempenho superior à média em relação ao PH e 22 em relação à produtividade de grãos. É evidente que as cultivares com maiores médias diferem em relação às características. Para o PH, as cultivares BRS 404, TBIO Seletto, IAPAR 78, BRS Angico e IPR 128 apresentaram as maiores médias em ambos os locais. Já em relação à produtividade de grãos, as cultivares TBIO Aton, ORS Guardião, ORS 1403, CD 105 e CD 1252 apresentaram as maiores médias BLUP nos municípios de Itutinga e Lavras.

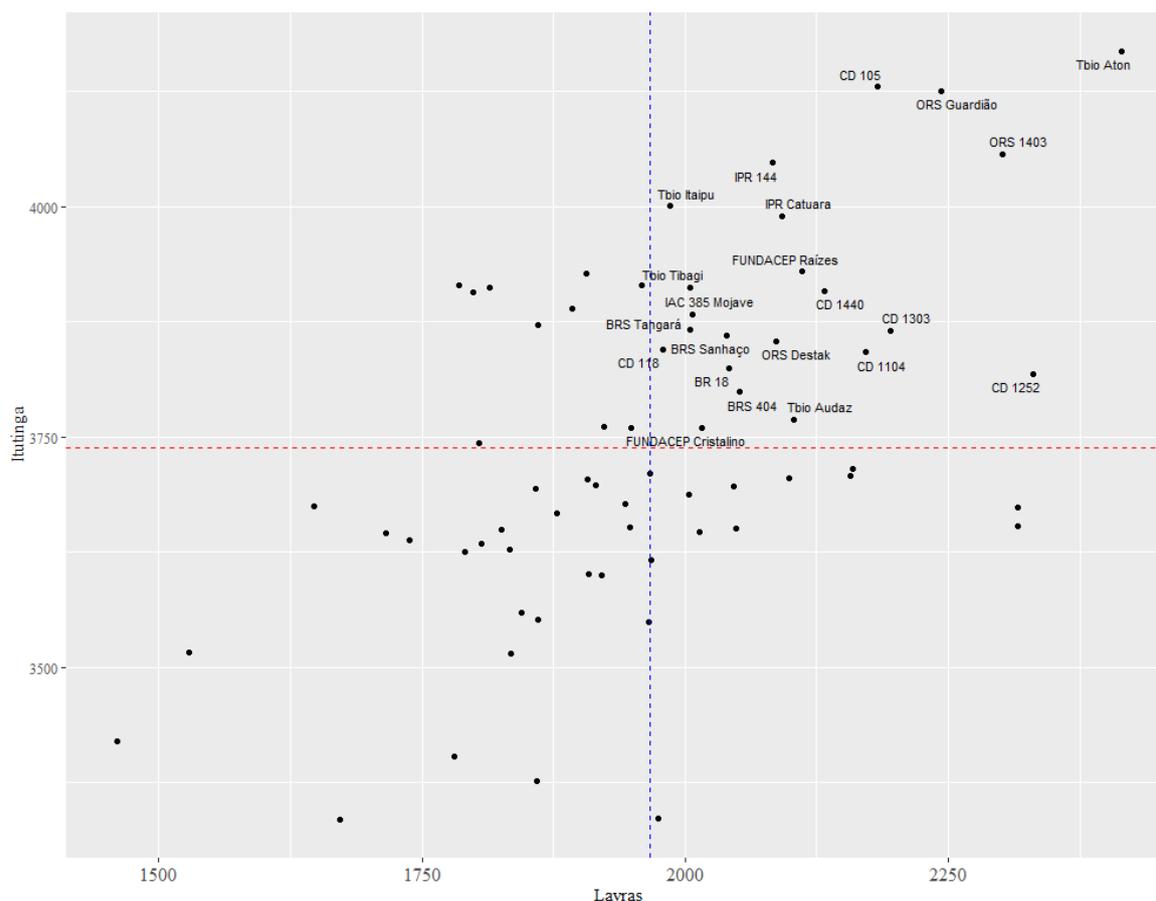
Figura 3 - Médias BLUP das cultivares de trigo quanto ao peso do hectolitro avaliadas nas localidades de Lavras e Itutinga na safra agrícola 2021.



Linha tracejada vermelha: PH médio em Itutinga; Linha tracejada azul: PH médio em Lavras.

Fonte: Do autor (2022).

Figura 4 - Médias BLUP das cultivares de trigo quanto à produtividade de grão avaliadas nas localidades de Lavras e Itutinga na safra agrícola 2021.

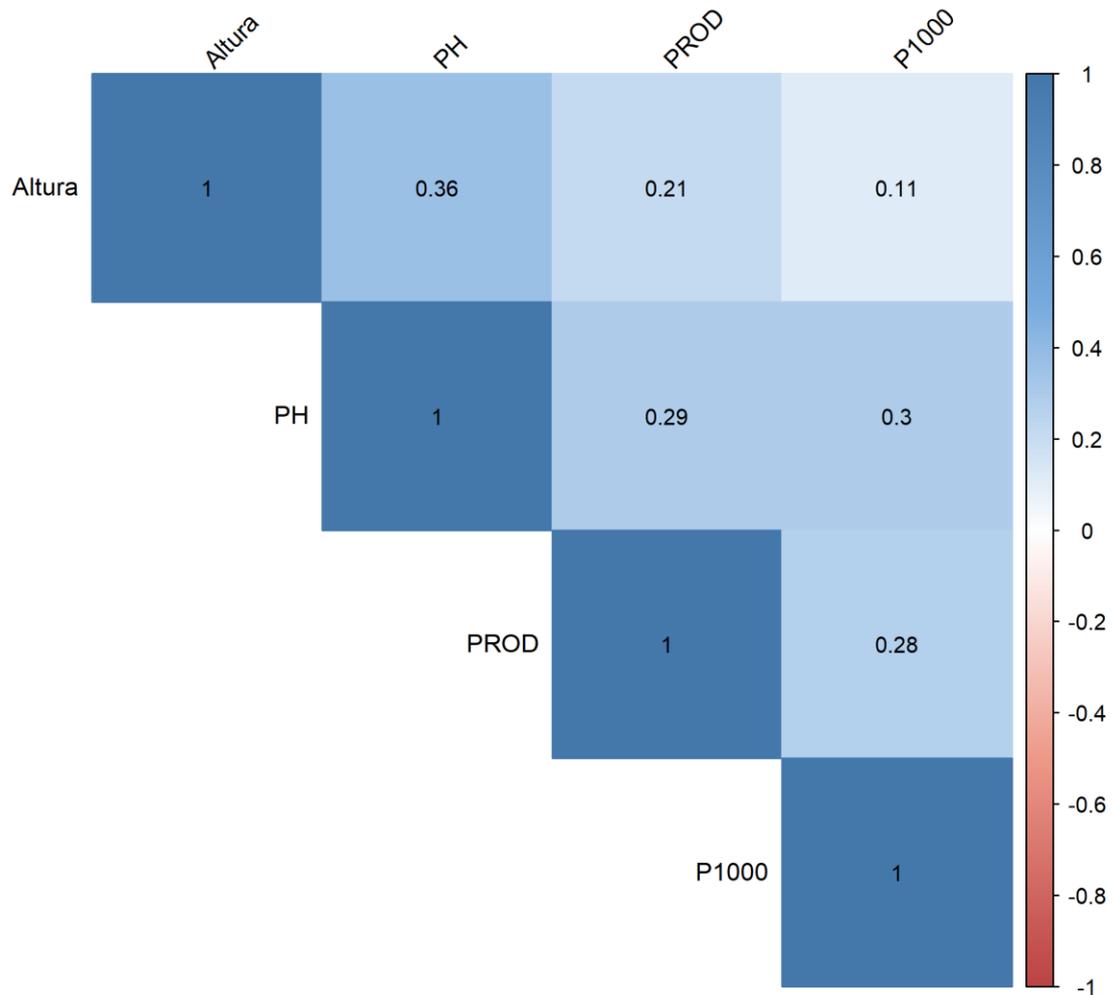


Linha tracejada vermelha: Produtividade média em Itutinga; Linha tracejada azul: Produtividade média em Lavras.

Fonte: Do autor (2022).

As cultivares de trigo a serem selecionadas às condições de cultivo na região sul de Minas Gerais devem apresentar fenótipos favoráveis para os caracteres de interesse. Em se tratando de seleção multi-caracteres, o conhecimento da correlação genética entre caracteres se torna bastante importante e norteador de estratégias de seleção a serem adotadas. Observou-se que a correlação genética foi positiva entre todas as características, embora estas tenham sido de baixa magnitude. Bode e Koto (2022) encontraram valores semelhantes aos encontrados neste trabalho. Embora os valores de correlação genética tenham sido baixos, a seleção para múltiplos caracteres deve ser buscada. Neste tocante, há grande predileção por parte dos melhoristas de optar pelo emprego de um índice de seleção que associem maior praticidade, facilidade de aplicação e de interpretação, a exemplo do índice da soma de variáveis padronizadas (MENDES; RAMALHO; ABREU, 2009).

Figura 5 – Diagrama dos valores de correlação entre as características avaliadas.



PH: Peso do hectolitro; P1000: Peso de Mil Sementes; PROD: Produtividade.

Fonte: Do autor (2022).

A Figura 6 destaca as 15 cultivares melhores ranqueadas em relação as características avaliadas pelo índice Z e as cultivares BRS 264 e TBIO Sintonia – as mais cultivadas na região. Pelo ordenamento das cultivares, notou-se que as cultivares ORS Guardiã, CD 105, Valente, BRS Angico, Tbio Aton, IPR 144, CD 1595, CD 1303, IPR 130, CD 1252, BRS Sanhaço, CD 122, BRS 404, Tbio Tibagi, CD 1104 e Tbio Audaz apresentaram o maior índice Z, considerando uma menor altura de planta e maior PH, PMS e Produtividade. As médias BLUPS das cultivares melhor ranqueadas foram de 78 cm para altura, 87 kg.100 L<sup>-1</sup> para o PH, 40 g para PMS e 2940 kg.ha<sup>-1</sup> para produtividade. Tais cultivares atendem ao ideótipo de plantas

com menor estatura e melhor desempenho em relação ao PH, PMS e Produtividade. Esse resultado evidencia a possibilidade de utilização dessas cultivares em programas de melhoramento, visto que apresentaram comportamento mais equilibrado em relação ao ideótipo.

Estes resultados foram divergentes dos encontrados por Rüdell et al. (2021), avaliando o desempenho de 12 cultivares de trigo indicadas para cultivo no norte do Rio Grande do Sul, entre estas algumas avaliadas neste estudo (Ametista, Jadeite, Marfim, TBIO Iguazu, TBIO Mestre, TBIO Sinuelo e Topázio), que apresentaram desempenho superior na região Sul do Brasil, indicando a necessidade do desenvolvimento de cultivares voltadas à região do Brasil Central.

Figura 6 - Gráfico de radar com base no índice Z para as 15 cultivares melhor ranqueadas para as características avaliadas e as cultivares BRS 264 e TBIO Sintonia. (Continua)

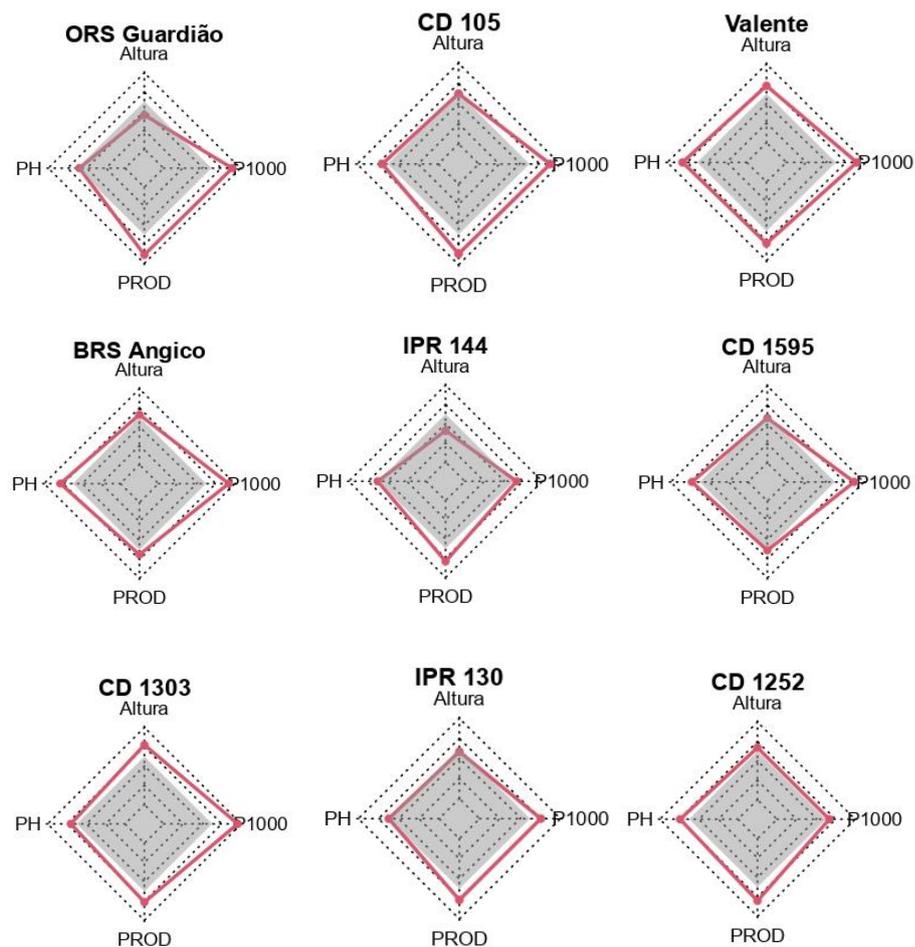
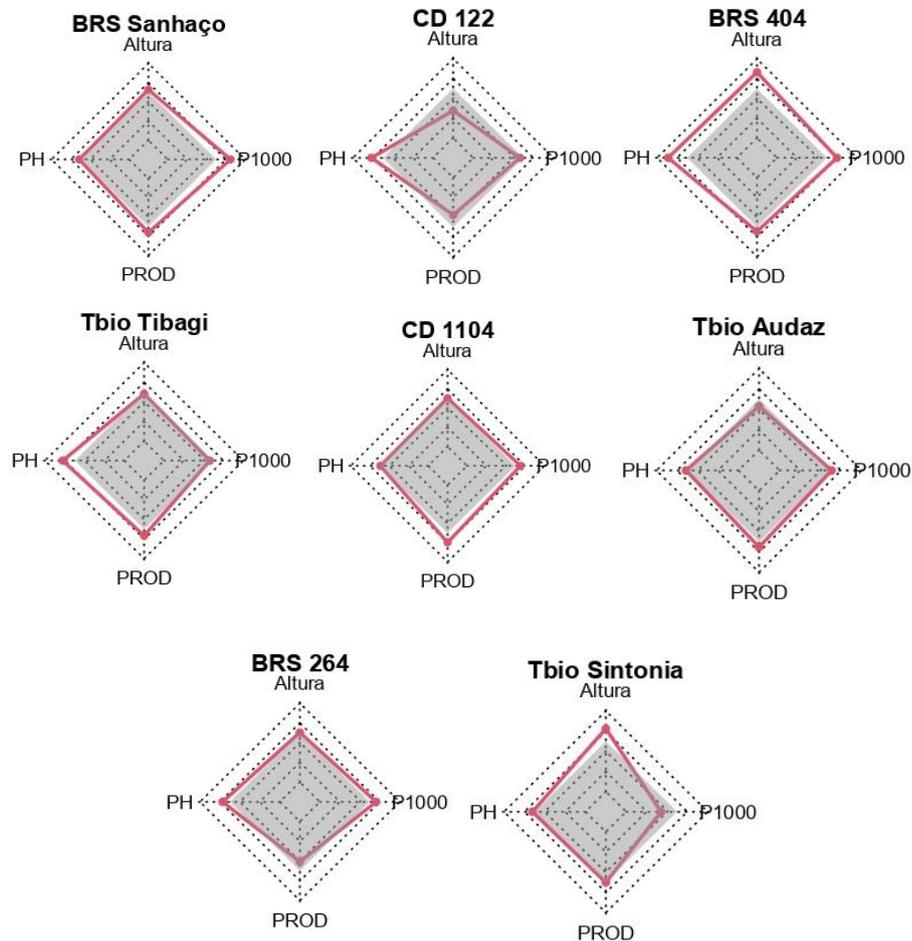


Figura 7 - Gráfico de radar com base no índice Z para as 15 cultivares melhor ranqueadas para as características avaliadas e as cultivares BRS 264 e TBIO Sintonia. (Conclusão)



\*Área em cinza: média do experimento em relação às características avaliadas; Linha em vermelho: média da cultivar para a característica.

Fonte: Do autor (2022).

O melhoramento genético do trigo tem como objetivo o desenvolvimento de novas cultivares mais adaptadas às regiões de cultivo, resistentes às principais pragas e doenças (PIMENTEL, 2014), maior produtividade de grãos, PH e PMS, baixa estatura e resistência ao acamamento (MORI et al., 2016). Mandarino (1993) sugere que elevados peso do hectolitro e massa de mil grãos evidenciam alta qualidade dos grãos e da farinha de trigo a ser produzida. Além disso, Scheeren (2011) ressalta que cultivares com porte mais baixo tem mostrado grande redução na incidência de acamamento.

A utilização do índice Z permitiu a identificação de 15 cultivares que mais se aproximam ao ideótipo de trigo: porte baixo e elevados PMS, PH e Produtividade. O emprego do índice Z

é visto como uma boa possibilidade no processo de seleção, visto que possibilita agrupar as múltiplas informações obtidas, de forma que possibilita a seleção com base em um complexo de variáveis que combine diversas características de interesse econômico (CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014). Além disso, torna-se evidente que apesar de as cultivares BRS 264 e Tbio Sintonia serem as mais cultivadas no estado atualmente, essas não estiveram entre as 15 melhores ranqueadas em relação às características avaliadas, o que evidencia a necessidade do desenvolvimento de cultivares direcionadas ao cultivo na região Sul de Minas Gerais.

#### 4 CONCLUSÃO

Existe variabilidade genética quanto a caracteres agronômicos entre as cultivares avaliadas. As cultivares ORS Guardiã, CD 105, Valente, BRS Angico, Tbio Aton, IPR 144, CD 1595, CD 1303, IPR 130, CD 1252, BRS Sanhaço, CD 122, BRS 404, Tbio Tibagi, CD 1104 e Tbio Audaz são promissoras para utilização como genitores em futuros programas de melhoramento de trigo para a região sul de Minas Gerais.

#### REFERÊNCIAS

ALIPOUR, H. et al. Dissection of the genetic basis of genotype-by-environment interactions for grain yield and main agronomic traits in Iranian bread wheat landraces and cultivars. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 1–17, 2021.

ANTUNES, J. **O futuro do trigo no Brasil**. Disponível em: <file:///C:/Users/camil/Desktop/UFLA/MESTRADO/DISSERTAÇÃO/busca-de-noticias.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2022.

BATES, D. et al. Fitting linear mixed-effects models using lme4. **Journal of Statistical Software**, v. 67, n. 1, 2015.

BENDJAMA, A.; RAMDANI, S. Genetic variability of some agronomic traits in a collection of wheat (*Triticum turgidum* L. sp.pl.) genotypes under South Mediterranean growth conditions. **Italian Journal of Agronomy**, v. 17, n. 1, 2022.

BHANU, A. N.; ARUN, B.; MISHRA, V. K. Genetic Variability, Heritability and Correlation Study of Physiological and Yield Traits in Relation to Heat Tolerance in Wheat (*Triticum aestivum* L.). **Biomedical Journal of Scientific & Technical Research**, v. 2, n. 1, 2018.

BORNHOFEN, E. et al. Wheat yield improvements in Brazil: Roles of genetics and environment. **Crop Science**, v. 58, n. 3, p. 1082–1093, 2018.

CARVALHO, I. R. et al. Heritability profiles defined by hierarchical models and artificial neural networks for dual-purpose wheat attributes. **Genetics and Molecular Research**, v. 18, n. 3, p. 1–16, 2019.

CHAIRI, F. et al. Breeding effects on the genotype  $\times$  environment interaction for yield of durum wheat grown after the Green Revolution: The case of Spain. **Crop Journal**, v. 8, n. 4, p. 623–634, 2020.

COELHO, M. A. DE O. et al. Avaliação da produtividade de trigo (*Triticum aestivum* L.) de sequeiro em Minas Gerais. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 5, p. 717–723, 2010.

CONAB. **A Cultura do Trigo**. Brasília: Conab, 2017. 218 p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético - Vol 2 - 3ª Edição**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2014.

CULLIS, B. R.; SMITH, A. B.; COOMBES, N. E. On the design of early generation variety trials with correlated data. **JABES**, v. 11, n. 381, 2006.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to Quantitative Genetics**. 4 ed. ed. [s.l.] Pearson, 2006.

FERNANDES, R. C. et al. Genetic variability and heritability of agronomic traits in a wheat collection used in southern Brazil. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 25, p. 337–348, 2022.

GHAFFAR, M.; KHAN, S.; WAQAS, K. Genetic variability analysis of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for yield and related parameters. **Pure and Applied Biology**, v. 7, n. 2, p. 547–555, 2018.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola - Safra de trigo 2008/09**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612#resultado>>. Acesso em: 26 maio. 2021.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola - Safra de trigo 2018/19**.

Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612#resultado>>. Acesso em: 26 maio. 2021.

MANDARINO, J. M. G. **Aspectos importantes para a qualidade do trigo**. Londrina: EMBRAPA/CNPSo, 1993.

MONTESINOS-LÓPEZ, O. A. et al. Analysis of genotype-by-environment interaction in winter wheat growth in organic production system. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 30, n. 3, p. 212–223, 2018.

MORI, C. *et al.* **Trigo: O produtor pergunta, a EMBRAPA responde**. Brasília: Embrapa, 2016. 309 p

MUNARO, L. B. et al. Brazilian spring wheat homogeneous adaptation regions can be dissected in major megaenvironments. **Crop Science**, v. 54, n. 4, p. 1374–1383, 2014.

NAKAZAWA, M. **fmsb: Functions for medical statistics book with some demographic data**, 2018. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/fmsb/index.html>>

PASINATO, A. et al. Potential area and limitations for the expansion of rainfed wheat in the Cerrado biome of Central Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 7, p. 779–790, jul. 2018.

PIMENTEL, A. J. B. **Caracterização de cultivares para tolerância ao calor e metodologias para seleção de genótipos em trigo**. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing** Vienna, Austria. R Foundation for Statistical Computing, , 2021. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>

RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras, MG: Editora UFLA, 2012.

RESENDE, M. D. V. DE; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)**, v. 37, n. 3, p. 182–194, 2007.

RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. [s.l.] Embrapa Informação Tecnológica, 2002.

ROBERTSON, A. Experimental design on the measurement of heritabilities and genetic correlations. **Biometrical genetics**, v. 15, n.2, p. 219-226, 1959.

RONCALLO, P. F. et al. Genetic diversity and linkage disequilibrium using SNP (KASP) and AFLP markers in a worldwide durum wheat (*Triticum turgidum* L. Var durum) collection. **PLoS ONE**, v. 14, n. 6, p. 1–33, 2018.

RÜDELL, E. C. et al. Adaptability and stability of wheat cultivars in the Northern region of Rio Grande do Sul. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, p. 47625–47641, 2021.

RUKAVINA, I. et al. Genetic variability of wheat germplasm represented in the South Pannonian Region. **GENETIKA**, v. 49, n. 3, p. 831–842, 2017.

SCHEEREN, P. L. Melhoramento de trigo no Brasil. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. (Eds.). . **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. p. 427–452.

SCHERLOSKEY, A. et al. Genetic variability of Brazilian wheat germplasm obtained by high-density SNP genotyping. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 18, n. 4, p. 399–408, dez. 2018.

SIYAL, A. L.; SIYAL, F. K.; JATT, T. Yield from genetic variability of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under water stress condition: A case study of Tandojam, Sindh. **Pure and Applied Biology**, v. 10, n. 3, p. 841–860, 2021.

THIND, H. S. et al. Rice–wheat productivity and profitability with residue, tillage and green manure management. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 113, n. 2, p. 113–125, 2019.

TRINDADE, J. A. S. **Avaliação da eficiência na produção de trigo no Brasil: aplicação da análise envoltória de dados**. Dissertação (Mestrado em Ciências Contábeis) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

WEI, T.; SIMKO, V. **R package 'corrplot': Visualization of a Correlation Matrix**, (Version 0.92) 2021. Disponível em: <https://github.com/taiyun/corrplot>.