



JOSÉ JONAS GOMES CAVALCANTE

**DESEMPENHO DE HÍBRIDOS DE MILHO NO SUL DE
MINAS GERAIS E NOROESTE DE SÃO PAULO**

**LAVRAS – MG
2025**

JOSÉ JONAS GOMES CAVALCANTE

**DESEMPENHO DE HÍBRIDOS DE MILHO NO SUL DE MINAS GERAIS E
NOROESTE DE SÃO PAULO**

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.

Prof. Dr. João Cândido de Souza
Orientador

**LAVRAS – MG
2025**

Ficha catalográfica elaborada pela Catalogação da Biblioteca Universitária da UFLA

Cavalcante, José Jonas Gomes.

Desempenho de híbridos de milho no sul de Minas Gerais e
Noroeste de São Paulo / José Jonas Gomes Cavalcante. - 2024.
79 p. : il.

Orientador(a): João Cândido de Souza.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Lavras, 2025.
Bibliografia.

1. *Zea mays* L. 2. Análise gráfica. 3. Estabilidade. I. Souza,
João Cândido de. II. Título.

Ficha elaborada por André Felipe Calsavara (CRB6/3137)

JOSÉ JONAS GOMES CAVALCANTE

**DESEMPENHO DE HÍBRIDOS DE MILHO NO SUL DE MINAS GERAIS E
NOROESTE DE SÃO PAULO**

**PERFORMANCE OF CORN HYBRIDS IN SOUTHERN MINAS GERAIS AND
NORTHWEST SÃO PAULO**

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 30 de julho de 2024
Dr. João Cândido de Souza – UFLA
Dr^a. Lucimara Cruz de Souza – UFLA
Dr^a. Lívia Maria Chamma David – UFGD

Prof. Dr. João Cândido de Souza
Orientador

**LAVRAS – MG
2025**

AGRADECIMENTOS

A Deus, toda honra e glória por me sustentar e guiar em cada passo desta jornada. Como está escrito: "Entregue o seu caminho ao Senhor, confie nele, e ele o fará" (Salmos 37:5). A realização deste sonho não seria possível sem a sua graça, força e misericórdia.

Agradeço profundamente aos meus pais, José Pessoa Araújo e Maria Luzinalda Gomes Cavalcante, pelo amor incondicional, pelos ensinamentos e pelo incentivo em todas as etapas da minha vida. Aos meus irmãos, José Enrique e Jadson Gomes, por sempre acreditarem em mim e me apoiarem. À minha sobrinha Maria Sophia, por ser uma fonte de alegria, e à minha cunhada Romana Aquino, pelo carinho e suporte. Meus sinceros agradecimentos também aos meus avós, tios e primos, especialmente à minha prima Andreza Cavalcante, pelo apoio constante e pelo incentivo durante esta caminhada.

Aos amigos que ficaram no Ceará e que, mesmo à distância, se fizeram presentes nos momentos mais importantes da minha vida, minha mais sincera gratidão.

Às novas amigas que construí em Minas Gerais, especialmente à Ane Caroline, Adrienne Braga, Lázaro Neto, Maria Elisa, Thiago Costa, Otávio Henrique, Bruna Natália e Alessandro Henrique, obrigado por tornarem essa experiência mais leve, alegre e significativa. Aos companheiros da república Velho Chico, especialmente à nossa governanta Kelly Vasconcelos, por todo cuidado e carinho.

Aos amigos do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, sou grato pela parceria e troca de conhecimentos. Aos colegas do grupo de pesquisa em genética e melhoramento de milho, em especial Lorena Queiroz, Letícia Gabriela e Maria Angélica, agradeço pela amizade e pelo apoio constante ao longo do mestrado.

Meu reconhecimento e gratidão ao meu orientador, Dr. João Cândido de Souza, pelo suporte, paciência e orientações que foram essenciais para a realização deste trabalho.

Agradeço à banca avaliadora, composta pela Dra. Lucimara Cruz de Souza e Dra. Livia Maria Chamma David, pela disponibilidade, pelas valiosas sugestões e por contribuírem para a melhoria deste trabalho.

Ao Programa de Genética e Melhoramento de Plantas e ao coordenador, Dr. José Airton Rodrigues Nunes, meu muito obrigado por todo o apoio e suporte durante esta jornada. Também deixo minha gratidão a todos os professores do programa pelo empenho e dedicação na formação de profissionais excepcionais, transmitindo não apenas conhecimento técnico, mas também inspiração e valores fundamentais.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) pela formação de excelência. O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG).

Por fim, às muitas pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, minha mais sincera gratidão. Cada palavra de incentivo, gesto de apoio e ato de generosidade foram essenciais para que eu chegasse até aqui.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de híbridos de milho desenvolvidas pelo programa de genética e melhoramento de milho da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em duas cidades no sul de Minas Gerais e uma cidade no noroeste de São Paulo. Os experimentos foram conduzidos na safra 2022/23, na cidade de Lavras-MG, Ijaci-MG e General Salgado-SP. O delineamento utilizado foi em blocos completamente casualizados, com três repetições. No total foram avaliados 28 híbridos, dois híbridos comerciais usados como testemunhas e 26 híbridos provenientes do programa de genética e melhoramento de milho da UFLA. Foram avaliadas as seguintes características: produtividade de grãos em t/ha (PROD), altura da planta em metros (AP) e altura da espiga em metros (AE). Os dados foram analisados com o auxílio do software R, utilizando a abordagem de modelos lineares mistos (REML/BLUP). Todas as características apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) de acordo com o teste da razão de verossimilhança (LRT). As metodologias WAASB, WAASBY e MTSI foram usadas para avaliar a estabilidade e selecionar os híbridos de acordo com a estabilidade e o desempenho médio univariado e multivariado das características. Os híbridos 26, 18, 20 e 8 apresentaram as maiores médias genotípicas preditas (μ BLUPs) para produtividade de grãos em Lavras. Em Ijaci, as maiores μ BLUPs para essa característica foram observadas nos híbridos 23, 20, 26 e 15. Em General Salgado, os híbridos 15, 6 e 17 apresentaram os melhores desempenhos. Na análise conjunta, os híbridos 15, 23, 20, 18 e 26 apresentaram os maiores μ BLUPs para produtividade de grãos. Os híbridos 23, 13, 10 e 9 demonstraram os melhores índices para estabilidade da produtividade de grãos de acordo com a metodologia WAASB. Os híbridos 23, 25, 15, 13 e 10 obtiveram os melhores índices de acordo com a metodologia WAASBY, que classifica os híbridos com base no desempenho médio da produtividade de grãos e sua estabilidade. Os híbridos 3, 10, 17, 16, 18, 1, 8 e 26, foram selecionadas de acordo com o índice MTSI, por apresentar os melhores desempenho médio e estabilidade para todas as características avaliadas. O trabalho permitiu identificar híbridos de elevada produtividade de forma específica para cada região avaliada e com potencial para se tornarem cultivares comerciais, ofertando os produtores novas cultivares com alto teto de produtividade e adaptadas as suas condições edafoclimáticas.

Palavras-chave: *Zea mays* L.; análise gráfica; estabilidade.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the performance of maize hybrids developed by the maize genetics and breeding program of the Federal University of Lavras (UFLA), in two cities in southern Minas Gerais and one city in northwestern São Paulo. The experiments were conducted during the 2022/23 growing season, in the cities of Lavras-MG, Ijaci-MG, and General Salgado-SP. A completely randomized block design was used, with three replications. A total of 28 hybrids were evaluated, including two commercial hybrids used as controls and 26 hybrids from UFLA's maize genetics and breeding program. The following traits were assessed: grain yield in t/ha (PROD), plant height in meters (AP), and ear height in meters (AE). Data were analyzed using the R software, following the linear mixed model approach (REML/BLUP). All traits showed significant differences ($p < 0.05$) according to the likelihood ratio test (LRT). The WAASB, WAASBY, and MTSI methodologies were used to assess stability and select hybrids based on both univariate and multivariate stability and average performance of traits. Hybrids 26, 18, 20, and 8 had the highest predicted genotypic means (μ BLUPs) for grain yield in Lavras. In Ijaci, the highest μ BLUPs for this trait were observed in hybrids 23, 20, 26, and 15. In General Salgado, hybrids 15, 6, and 17 showed the best performances. In the combined analysis, hybrids 15, 23, 20, 18, and 26 had the highest μ BLUPs for grain yield. Hybrids 23, 13, 10, and 9 demonstrated the best indices for grain yield stability according to the WAASB methodology. Hybrids 23, 25, 15, 13, and 10 obtained the best indices according to the WAASBY methodology, which ranks hybrids based on their average grain yield and stability. Hybrids 3, 10, 17, 16, 18, 1, 8, and 26 were selected according to the MTSI index, as they presented the best average performance and stability for all evaluated traits. The study allowed for the identification of high-yielding hybrids specific to each evaluated region and with potential to become commercial cultivars, offering farmers new varieties with high yield potential and adaptation to their edaphoclimatic conditions.

Keywords: *Zea mays* L.; graphical analysis; stability.

INDICADORES DE IMPACTO

Os resultados obtidos no presente estudo demonstram impactos significativos em diversas esferas, com potencial de contribuir para o avanço do melhoramento genético do milho e a sustentabilidade da produção agrícola. Os impactos tecnológicos são evidentes na aplicação dos índices WAASB, WAASBY e MTSI, que permitiram a seleção de híbridos superiores com maior estabilidade e desempenho médio, otimizando o processo de recomendação de cultivares adaptadas a diferentes condições ambientais. A adoção dessas metodologias contribui diretamente para o aumento da eficiência na seleção de híbridos e para a redução do risco associado ao cultivo em ambientes com variabilidade edafoclimática. No âmbito econômico, a identificação de híbridos com alto teto produtivo e estabilidade possibilita a recomendação de cultivares mais rentáveis aos agricultores, favorecendo a maximização da produtividade e a mitigação de perdas devido a fatores ambientais adversos. Além disso, o impacto social se manifesta na potencial melhoria da segurança alimentar, pois o desenvolvimento de cultivares de milho mais produtivas e estáveis pode contribuir para a oferta sustentável de alimentos e insumos agrícolas. O estudo também apresenta um caráter extensionista ao disponibilizar informações detalhadas sobre a performance dos híbridos em diferentes regiões, beneficiando produtores rurais, empresas de melhoramento genético e instituições de pesquisa. O território impactado inclui as regiões de Lavras-MG, Ijaci-MG e General Salgado-SP, com potencial de extrapolação dos resultados para outros estados com condições edafoclimáticas semelhantes. O público diretamente beneficiado abrange agricultores, pesquisadores, estudantes e técnicos envolvidos no setor agrícola, promovendo a capacitação e a difusão de conhecimento científico e tecnológico. No contexto das oito áreas temáticas da Política Nacional de Extensão, os impactos do estudo se enquadram nas áreas de “Tecnologia e Produção”, por promover inovações no melhoramento genético e na recomendação de cultivares, e “Meio Ambiente”, ao permitir a identificação de híbridos mais adaptáveis e eficientes no uso de recursos naturais. Além disso, os resultados estão alinhados com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, principalmente com o ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), ao contribuir para o aumento da produção de alimentos de forma sustentável, e o ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), na medida em que híbridos mais produtivos e estáveis reduzem a necessidade de insumos e minimizam impactos ambientais. Assim, este estudo representa um avanço importante na ciência agrônoma e no desenvolvimento de soluções inovadoras para a agricultura, promovendo benefícios concretos e potenciais para diferentes segmentos da sociedade.

IMPACT INDICATORS

The results obtained in this study demonstrate significant impacts across various spheres, with the potential to contribute to the advancement of maize genetic improvement and the sustainability of agricultural production. The technological impacts are evident in the application of the WAASB, WAASBY, and MTSI indices, which allowed the selection of superior hybrids with greater stability and average performance, optimizing the process of recommending cultivars adapted to different environmental conditions. The adoption of these methodologies directly contributes to increasing efficiency in hybrid selection and reducing the risks associated with cultivation in environments with edaphoclimatic variability. From an economic perspective, identifying hybrids with high yield potential and stability enables the recommendation of more profitable cultivars for farmers, favoring the maximization of productivity and mitigating losses due to adverse environmental factors. Additionally, the social impact is manifested in the potential improvement of food security, as the development of more productive and stable maize cultivars can contribute to the sustainable supply of food and agricultural inputs. The study also presents an extensionist character by providing detailed information on hybrid performance in different regions, benefiting rural producers, breeding companies, and research institutions. The impacted territory includes the regions of Lavras-MG, Ijaci-MG, and General Salgado-SP, with the potential to extrapolate the results to other states with similar edaphoclimatic conditions. The directly benefited audience includes farmers, researchers, students, and technicians involved in the agricultural sector, promoting capacity building and the dissemination of scientific and technological knowledge. Within the eight thematic areas of the National Extension Policy, the study's impacts fall under "Technology and Production," for promoting innovations in genetic improvement and cultivar recommendation, and "Environment," for enabling the identification of more adaptable and resource-efficient hybrids. Furthermore, the results align with the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDG 2 (Zero Hunger and Sustainable Agriculture), by contributing to the sustainable increase of food production, and SDG 13 (Climate Action), as more productive and stable hybrids reduce the need for inputs and minimize environmental impacts. Thus, this study represents a significant advancement in agronomic science and the development of innovative solutions for agriculture, promoting both concrete and potential benefits for various societal sectors.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Precipitação, temperaturas máximas, médias e mínimas do plantio à colheita dos experimentos de avaliação de híbridos de milho na safra 2022/23. a) Lavras e Ijaci; b) General Salgado.	27
Figura 2 - Produtividade de grãos (t/ha) predita (μ BLUP) dos 28 híbridos de milho avaliados com base na análise individual para cada local.	39
Figura 3 - Altura de planta (m) predita (μ BLUP) dos 28 híbridos de milho avaliados com base na análise individual para cada local.	40
Figura 4 - Altura de espiga (m) predita (μ BLUP) dos 28 híbridos de milho avaliados com base na análise individual para cada local.	41
Figura 5 - Produtividade de grãos (t/ha) predita (μ BLUP) dos híbridos 28 híbridos de milho avaliados com base na análise conjunta.	44
Figura 6 - Altura de planta (m) predita (μ BLUP) dos híbridos 28 híbridos de milho avaliados com base na análise conjunta.....	45
Figura 7 - Altura de espiga (m) predita (μ BLUP) dos 28 híbridos de milho avaliados com base na análise conjunta.....	46
Figura 8 - <i>Biplot</i> da produtividade de grãos (t/ha) versus WAASB dos 28 híbridos de milho avaliados em 3 locais.	48
Figura 9 - <i>Biplot</i> da altura de planta (m) versus WAASB dos 28 híbridos de milho avaliados em 3 locais.	49
Figura 10 - <i>Biplot</i> da altura de espiga (m) versus WAASB dos 28 híbridos de milho avaliados em 3 locais.	50
Figura 11 - Ordem dos híbridos de acordo com o índice WAASBY para os 28 híbridos avaliados considerando os pesos de 75 para a produtividade de grãos (t/ha) e 25 para estabilidade.	52
Figura 12 - Ordem dos híbridos de acordo com o índice WAASBY para os 28 híbridos avaliados considerando os pesos de 50 para a altura de planta (m) e 50 para estabilidade.....	53
Figura 13 - Ordem dos híbridos de acordo com o índice WAASBY para os 28 híbridos avaliados considerando os pesos de 50 para a altura de espiga (m) e 50 para estabilidade.	54
Figura 14 - Ordem pelo índice MTSI dos 28 híbridos avaliados.	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Híbridos de milho avaliados na safra 2022/23 nos estados de Minas Gerais e São Paulo (continua).....	28
Tabela 2 – Estimativas dos componentes de variância genética (σg^2), variância do erro (σe^2), herdabilidade no sentido amplo (hg^2), herdabilidade no sentido amplo (hg^2), média genotípica predita ($\mu BLUP$), variância do erro de predição (PEV), acurácia seletiva (rgg), coeficiente de variância genética ($CVg(\%)$) e coeficiente de variância experimental ($CVe(\%)$). (continua).	64
Tabela 3 – Estimativas dos componentes de variância genética (σg^2), variância entre locais (σa^2), variância do erro (σe^2), variância da interação genótipo por local (σi^2), variância do bloco dentro local (σba^2), herdabilidade no sentido amplo (hg^2), média genotípica ($\mu BLUP$), variância do erro de predição (PEV), acurácia seletiva (rgg), coeficiente de variância genética ($CVg(\%)$) e coeficiente de variância experimental ($CVe(\%)$) com base nas análises conjuntas dos híbridos em todos os locais.	66
Tabela 4 – Ordem dos híbridos com base na média ponderada dos escores absolutos (WAASB) para os caracteres avaliados (continua).	67
Tabela 5 - Ordem dos híbridos com base nos valores WAASBY para os caracteres avaliados.	69
Tabela 6 – Ordem dos híbridos com base nos valores do índice MTSI.	70
Tabela 7 – Ordem dos híbridos com base nas estimativas dos valores genotípicos (g) e das médias genotípicas ($\mu + g$) das análises individuais para o carácter produtividade de grãos (PROD) (continua).	71
Tabela 8 – Ordem dos híbridos com base nas estimativas dos valores genotípicos (g) e das médias genotípicas ($\mu + g$) das análises individuais para o carácter altura de planta (AP) (continua).....	73
Tabela 9 – Ordem dos híbridos com base nas estimativas dos valores genotípicos (g) e das médias genotípicas ($\mu + g$) das análises individuais para o carácter altura de espiga (AE) (continua).....	75
Tabela 10 – Ordem dos híbridos com base nas estimativas dos valores genotípicos (BLUPs) e das médias genotípicas ($\mu BLUPs$) da análise conjunta para os caracteres avaliados (continua).	77

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	Importância econômica.....	13
2.2	Manejo agrônômico.....	15
2.3	Híbridos de milho	16
2.4	Interação Genótipos x Ambientes	20
2.5	Adaptabilidade e Estabilidade	21
2.6	Modelos lineares mistos	22
2.7	Índices WAASB, WAASBY e MTSI	23
3	MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1	Locais dos experimentos	26
3.2	Manejo agrônômico dos experimentos	27
3.3	Híbridos e delineamento experimental.....	27
3.4	Caracteres avaliados	29
3.5	Análises estatísticas	30
3.5.1	Análises individuais.....	30
3.5.2	Análise conjunta	31
3.6	Precisão experimental e parâmetros genéticos	32
3.6.1	Índice de estabilidade.....	34
3.6.2	Índice de desempenho médio e estabilidade univariada.....	34
3.6.3	Índice de desempenho médio e estabilidade multivariada	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1	Análises individuais.....	36
4.2	Análise conjunta	41
4.3	Índice WAASB.....	46
4.4	Índice WAASBY	51
4.5	Índice MTSI.....	55
5	CONCLUSÕES	58
	REFERÊNCIAS	59
	APÊNDICE A – Tabelas expositivas dos resultados obtidos	64

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma das principais espécies cultivadas em todo o mundo, oferecendo grande versatilidade em seu uso e possuindo significativa importância econômica, social e cultural (Galvão; Borém; Pimentel, 2017). Segundo dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), a produção global do grão na safra 2022/23 atingiu 1.157 bilhões de toneladas, sendo os Estados Unidos, a China, o Brasil, a União Europeia e a Índia os principais produtores desse cereal, respondendo por 74% da produção mundial (USDA, 2024). No Brasil, o milho foi o segundo grão mais plantado na safra 2022/23, alcançando uma produção de 131.892,6 milhões de toneladas, com uma estimativa de 114.144,3 milhões de toneladas para a safra 2023/24 (CONAB, 2024).

Diante do crescimento previsto da população global, que pode atingir 9,9 bilhões de habitantes até 2054 (ONU, 2024), a necessidade por alimentos, fibras e energia seguirá aumentando a cada ano. Para atender a essa demanda crescente, várias estratégias estão sendo implementadas. Por exemplo, nos programas de melhoramento genético de milho, o foco está no desenvolvimento de cultivares com alto teto produtivo, que conciliem às características de estabilidade, adaptabilidade e precocidade. Um grande número de híbridos de milho são desenvolvidas anualmente pelas empresas públicas e privadas de melhoramento genético, podendo elas serem híbridos simples, híbridos duplos, híbridos triplos, híbridos *Top-Cross*, híbridos sintéticos ou variedades, todas são desenvolvidas visando atender os diferentes nichos e condições ambientais que se encontram no Brasil. Dentre essas, os híbridos de híbridos simples são responsáveis por mais de 50% do mercado brasileiro, os híbridos triplos representam 1,93%, os híbridos duplos, 1,16% e as variedades 2,70% do mercado. Além dessas, boa percentagem de híbridos *Top-Cross* e sintéticos se encontram no mercado. Grande parte das empresas não informa qual é o tipo de híbrido lançado, o que representa 42,86% do total de híbridos (Pereira Filho; Borghi, 2022).

Um programa de melhoramento genético de milho, é composto por diversas etapas, cada uma com sua relevância para o sucesso do programa. Uma das etapas mais dispendiosas é a avaliação do desempenho dos híbridos desenvolvidos. Isso se deve a quantidade de híbridos desenvolvidos e ao número de ambientes que eles serão testados para recomendação (Borém; Miranda; Fritsche-Neto, 2021).

Mesmo com o desenvolvimento de ferramentas sofisticadas para auxiliar os programas de melhoramento na recomendação e posicionamento de novos híbridos, a avaliação destes em

um ambiente representativo ao que se deseja recomendar ainda é uma etapa imprescindível para os programas. Essa avaliação se torna indispensável devido à variação do comportamento dos híbridos nos diferentes ambientes em que são testadas.

A variação de comportamento dos híbridos nos diferentes ambientes é resultado da interação complexa entre o genótipo das plantas e as condições ambientais (GxA) (De Leon et al., 2016). A interação GxA é um fenômeno que pode ser explorada de diversas formas, a depender do principal objetivo do programa de melhoramento, podendo ser ela explorada para identificação de híbridos com ampla adaptabilidade e estabilidade ou híbridos com adaptabilidade e estabilidade restritas (Borém; Miranda; Fritsche-Neto, 2021).

Analisar os dados experimentais com metodologias adequadas que maximize a precisão do ranqueamento dos híbridos, permite aos programas de melhoramento maior precisão na seleção dos híbridos para os locais de interesse. A metodologia de modelos lineares mistos permite uma análise mais robusta, flexível e eficiente dos dados. Para analisar a interação GxA, a adaptabilidade e o desempenho médio dos híbridos, índices que utilizam uma estrutura de modelo linear de efeitos misto dos híbridos foram desenvolvidos, o WAASB que se caracteriza como um índice de estabilidade genotípica, o WAASBY que se caracteriza como um índice de seleção univariada do desempenho médio e estabilidade e o MSTI que se caracteriza como um índice de seleção multivariada do desempenho médio e estabilidade das características (Olivoto et al., 2019a, 2019b). Esses métodos possibilitam decisões mais assertivas, pois fornecem informações detalhadas sobre quais híbridos apresentam maior previsibilidade de desempenho e melhor adaptação às condições ambientais avaliadas.

A identificação de genótipos mais adequados para diferentes regiões, além de auxiliar produtores e melhoristas, contribui para a regionalização da recomendação de cultivares, promovendo maior eficiência na adoção de novas tecnologias e no manejo agrônomo. Além disso, os resultados obtidos podem servir como referência para outras regiões com condições edafoclimáticas semelhantes.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar e selecionar híbridos de milho promissores para a região Sul do estado de Minas Gerais e Noroeste do estado de São Paulo e fornecer insights da influência das condições edafoclimáticas desses locais sobre o desempenho agrônomo desses híbridos, por meio de análises de modelos lineares mistos e dos índices WAASB, WAASBY e MSTI, buscando identificar híbridos que aliem alto desempenho com estabilidade nas condições ambientais em que foram avaliados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância econômica

A cultura do milho possui relevante importância econômica a nível mundial, sendo cultivada comercialmente em mais de 160 países, participando da cadeia alimentar de forma direta e indireta. Na safra 2022/23, a produção mundial de milho atingiu aproximadamente 1.157 bilhões de toneladas, refletindo sua relevância como alimento, forragem animal e matéria-prima para diversos produtos industriais (USDA, 2024).

Na safra 2022/23, os principais países produtores de milho são os Estados Unidos, que lidera a produção mundial com 346.739 milhões de toneladas, seguidos pela China com 277.20 milhões de toneladas. O Brasil foi o terceiro maior produtor, alcançando 131.892,6 milhões de toneladas. A União Europeia e a Argentina completaram a lista dos cinco principais produtores, com produções de 57.2 milhões e 51 milhões de toneladas, respectivamente (CONAB, 2024; USDA, 2024).

A produção de milho é essencial para esses países não só para o consumo interno, mas também como uma importante *commodity* de exportação. Assim como na produção, os Estados Unidos lideraram as exportações na safra 2022/23 com valores em torno de 46 milhões de toneladas de milho, equivalentes a 13.11 bilhões de dólares. O Brasil veio em seguida com 47 milhões de toneladas, a Argentina, apesar dos desafios climáticos, exportou cerca de 33 milhões de toneladas, a Ucrânia, enfrentando dificuldades devido ao conflito em seu território, ainda conseguiu exportar 27 milhões de toneladas, enquanto a União Europeia exportou 7 milhões de toneladas (CONAB, 2024; Hutchins; Williams; Liefert, 2023).

O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de milho, sendo ele cultivado em todas as regiões do País. Na safra 2022/2023, o Centro-Oeste se consolidou como a região de maior produtividade, com uma média de 6.641 kg/ha em todas as safras, e maior produção, com 77.369,5 milhões de toneladas, sendo 2.402,3 milhões de toneladas na primeira safra e a sua maior parte na segunda safra, com uma produção de 74.967,3 milhões de toneladas. A região Sul, vem em segundo lugar com uma produtividade média de 6.198 kg/ha e uma produção de 24.788,2 milhões de toneladas, sendo 10.108,5 milhões de toneladas na primeira safra e 14.679,7 milhões de toneladas na segunda safra. Em terceiro lugar, vem a região Sudeste, com produtividade de 6.088 kg/ha e produção de 12.716,1 milhões de toneladas, com 7.259,6

milhões de toneladas na primeira safra e 5.456,6 na segunda safra. A região Nordeste se encontra em quinto lugar em relação a produtividade média, com 3.542 kg/ha e a quarta em relação a produção, com 11.691,5 milhões de toneladas, dívida em três safras, a primeira ofertando a maior produção com 6.538,0 milhões de toneladas, a segunda com 3.062,2 milhões de toneladas e a terceira com 2.091,4 milhões de toneladas. A região Norte oferta a quarta maior produtividade média com 4.332 kg/ha e uma produção total de 5.327,3 milhões de toneladas nas três safras, sendo 1.064,8 milhões de toneladas na primeira safra, 4.199,3 milhões de toneladas na segunda safra e 63.1 mil toneladas na terceira safra. Nos últimos anos, os agricultores brasileiros vêm explorando a possibilidade de uma terceira safra nas regiões Norte/Nordeste, onde sua exploração já contribui com aproximadamente 1.6% da produção brasileira e com tendência de maiores contribuições nas próximas safras (Coelho, 2021; CONAB, 2024).

O milho tem importância fundamental em vários setores da indústria brasileira, dos aproximadamente 81 milhões de toneladas consumidos no Brasil no ano de 2023, 52 milhões foram destinados a alimentação animal, representando 64,2% do milho ofertado no Brasil, especialmente para os setores da avicultura e suinocultura. Sua utilização é essencial para a produção de carne de frango, suína e de outros animais, garantindo a segurança alimentar e o abastecimento do mercado interno e externo. Em 2023, cerca de 15% do milho consumido no Brasil foi utilizado na alimentação direta do homem, sendo amplamente consumido na forma de produtos alimentícios como fubá, farinha de milho, canjica, pipoca e amido de milho. Além disso, é utilizado na produção de alimentos industrializados, como cereais matinais e *snacks*.

Um setor que aumentou a procura pelo milho nos últimos anos foi o sucroenergético, que visa diversificar a matriz energética do país, utilizando o milho para produção de etanol, cerca de 14 milhões de toneladas foram destinadas a esse setor, o que representa 14,8% do milho consumido no Brasil. A indústria de amidos e derivados demanda algo em torno dos 5%, utilizando o milho como matéria-prima na indústria para a produção de amidos modificados, glicose, dextrina e outros derivados que são aplicados nos setores alimentícios, papel, têxteis e farmacêuticos (Coelho, 2021; CONAB, 2023, 2024; Galvão; Borém; Pimentel, 2017).

2.2 Manejo agrônômico

A escolha do cultivar de milho adequado para o sistema de produção, nível tecnológico da propriedade e setor ao qual a produção será destinada é crucial para determinar uma boa produtividade. Os híbridos devem ser selecionados com base na adaptabilidade às condições edafoclimáticas da região, resistência a pragas e doenças, e potencial produtivo. O manejo agrônômico do milho é fundamental para garantir alta produtividade e viabilidade econômica da cultura (Fritsche-Neto; Môro, 2015).

O milho, uma planta de origem tropical, necessita de condições favoráveis durante todo o ciclo de desenvolvimento para produzir de maneira satisfatória. A temperatura exerce influência direta em todas as fases do desenvolvimento do milho. Durante a germinação, temperaturas abaixo de 18°C podem atrasar a germinação e o desenvolvimento inicial da plântula, limitando a absorção de água e nutrientes. Por outro lado, temperaturas acima de 42°C podem levar à morte do embrião, prejudicando o estabelecimento e a produtividade da lavoura. Em geral, temperaturas diurnas entre 25°C e 30°C proporcionam as melhores condições para a germinação, desenvolvimento e produção satisfatória do milho (Cruz et al., 2006; Galvão; Borém; Pimentel, 2017; Pereira Filho, 2015).

O milho vem sendo cultivado em ambientes com precipitações que variam de 250 - 5.000 mm anuais, em média, a maioria dos genótipos necessitam de 650 mm água para completar seu ciclo, podendo sofrer variações devido as condições climáticas do ambiente em que se encontram. O ciclo fenológico da cultura possui pontos críticos em que necessitam de água disponível em um volume adequado, sendo elas as fases de emergência, florescimento e formação dos grãos, que demandam um volume médio de 2,5 mm/dia nos estádios iniciais, até 10 mm/dia nos estádios de enchimento dos grãos. O estresse ou déficit hídrico podem acarretar redução na produção da planta de milho em qualquer um dos estádios de desenvolvimento (Cruz et al., 2006; Galvão; Borém; Pimentel, 2017; Pereira Filho, 2015).

A radiação solar é um parâmetro de grande relevância para o milho, pois é uma planta que pertencem ao grupo das espécies com metabolismo fotossintético do tipo C4, que se caracteriza por uma resposta foto periódica típica de dia curto e de altas taxas fotossintéticas. No Brasil, a espécie apresenta um comportamento de fotoperíodo neutro, tendo em conta que a diminuição ou aumento da fase vegetativa do milho é resultado da soma térmica. À fase mais sensível a redução da radiação solar se encontra nos estádios reprodutivos, diminuindo o

número e a densidade dos grãos. A redução da taxa de radiação solar pode acarretar o aumento do ciclo da planta e a redução da produtividade (Cruz Et Al., 2006; GALVÃO; BORÉM; PIMENTEL, 2017).

Para alcançar as melhores produtividades no plantio de milho, é fundamental definir a época de semeadura adequada. Essa definição envolve a consideração dos fatores ambientais que impactam o desenvolvimento da planta, os quais apresentam variações de acordo com a região agroclimática. Chuva, temperatura, radiação solar e fotoperíodo são os principais elementos a serem observados. A época de plantio ideal é aquela que garante a disponibilidade adequada de água ao longo do ciclo da planta, permitindo que o período de florescimento coincida com dias de fotoperíodo mais longo e o enchimento de grãos ocorra em condições de temperaturas elevadas e alta disponibilidade de radiação solar. No Brasil, as épocas ideais de plantio variam de acordo com as regiões e são determinadas pelo Zoneamento Agrícola do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, que indica os momentos mais propícios para o plantio em cada região conforme as safras (Cruz et al., 2006; Galvão; Borém; Pimentel, 2017).

Para garantir um adequado desenvolvimento da cultura do milho, é essencial realizar um planejamento preciso e eficiente da adubação, devido à elevada demanda por nutrientes da planta. Entre os nutrientes essenciais exigidos pelo milho, os macronutrientes como nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e fósforo são os mais requisitados, enquanto os micronutrientes como ferro, manganês, zinco, boro, cobre e molibdênio também desempenham papéis fundamentais no crescimento saudável da cultura. Recomenda-se geralmente a aplicação de 40-200 kg/ha de nitrogênio, 60-120 kg/ha de fósforo (P_2O_5) e 80-150 kg/ha de potássio (K_2O) na forma de KCl. Para estabelecer uma recomendação precisa de adubação, é crucial considerar o nível tecnológico da propriedade, o histórico de calagem e adubação, os teores de nutrientes no solo obtidos por análise, as necessidades específicas de cada nutriente para atingir a produtividade almejada e o método adequado de aplicação desses nutrientes (Pereira Filho, 2015).

2.3 Híbridos de milho

No início do século XX, os pesquisadores George H. Shull e Edward M. East realizaram trabalhos pioneiros envolvendo a espécie do milho, que resultaram no estabelecimento dos

conceitos fundamentais relacionados aos malefícios da autofecundação e à superioridade dos descendentes em relação aos genitores. Essas descobertas são consideradas marcos significativos no campo da genética e representam um dos maiores triunfos na história da ciência (Borém; Miranda; Fritsche-Neto, 2021; Shull, 1909).

Durante o século XIX, estudos já demonstravam os efeitos negativos da autofecundação em diversas espécies, porém foi somente no século seguinte que Shull e East consolidaram esses conhecimentos, destacando a importância desses conceitos para compreender a genética do milho e de outras plantas (Crow, 1998). O artigo “The Composition of a Field of Maize” do pesquisador George H. Shull publicado no início de 1908 relatou a perda de vigor e produtividade das plantas que eram submetidas a sucessivas autofecundações e a recuperação dessas características após o cruzamento controlado de duas linhagens. Além de observar os malefícios causados pelas sucessivas autofecundações e a restauração do vigor após os cruzamentos das linhagens, Shull observou que o vigor, a produtividade e a uniformidade dos descendentes obtidos desses cruzamentos eram superiores às variedades em que seus genitores foram derivados. No mesmo ano (1908), Edward M. East em um relatório do seu trabalho, onde realizou sucessivas autofecundações em plantas de milho, obteve resultados que iam de acordo com os obtidos por Shull, observando e reconhecendo os prejuízos causados pelas sucessivas autofecundações (Crow, 1998; Shull, 1908).

Em 1909, Shull publicou seu segundo artigo sobre seus trabalhos de autofecundações e cruzamentos controlados, denominado “A pure-line method in corn breeding”, onde descreveu os processos para obtenção de linhagens puras e o método de hibridação entre linhagens contrastante que resultam em híbridos simples com desempenho superiores aos seus genitores. Esse trabalho estabeleceu os princípios que são utilizadas até os tempos atuais em todos os programas de melhoramento genético que tem como objetivo a obtenção de híbridos. Shull propôs a utilização dessa metodologia para a produção a nível comercial de sementes de milho, porém, não foi aceito a princípio, por não ser economicamente viável devido à baixa produção de pólen pelas linhagens utilizadas como genitor masculino e a baixa produtividade das utilizadas como genitor feminino (Borém; Miranda; Fritsche-Neto, 2021; Shull, 1909).

Essa problemática foi superada em 1918, quando Donald F. Jones desenvolveu uma metodologia a partir da que foi desenvolvida por Shull, porém, ao invés de utilizar as linhagens para produção de híbridos simples comerciais, ele utilizou dois híbridos simples contrastantes como genitores, para obtenção de híbridos duplos. Essa alteração, explorou a maior produção

de pólen do genitor masculino e maior produtividade de sementes pelo genitor feminino, já que ambos os genitores eram híbridos simples. Os híbridos duplos apresentavam menor uniformidade que os híbridos simples, porém, maior uniformidade e produtividade que as variedades de polinização abertas que eram cultivadas naquela época (Jones, 1918; Nelson, 1993).

A partir da metodologia de Shull e a modificação proposta por Jones, os híbridos começaram a ganhar espaço no mercado de sementes de milho a partir de meados da década de 1920, tendo 6% da área de milho plantada no estado de Iowa até 1935. Nos anos subsequentes ocorreu uma rápida adoção pelos agricultores do cinturão do milho e depois se espalhando por todo os Estados Unidos, sendo utilizado em mais de 90% das áreas de milho do país a partir de 1960. Essa aceitação se deve aos diversos benefícios que esses híbridos ofereciam em comparação as de polinização aberta, podendo se destacar a produtividade, o vigor e a uniformidade das plantas, que além de passar uma estética agradável para os agricultores, permitia uma mecanização mais precisa das áreas. Outros fatores que influenciaram a disseminação desses híbridos, foram a capacidade de fixar características qualitativas favoráveis de maneira precisa e sua adaptabilidade aos diferentes ambientes (Brummel; Gibson, 2022; Borém; Miranda; Fritsche-Neto, 2021; Crow, 1998).

A introdução de híbridos a partir de 1930 resultou em um significativo aumento da produtividade do milho nos Estados Unidos, que até então se mantinha praticamente constante desde 1860, com valores variando entre 1.345,02 e 2.017,53 kg/ha (Brummel; Gibson, 2022). De acordo com o banco de dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), a produtividade média em 1930 era de 1.378,65 kg/ha. Com o avanço dos híbridos de milho e a melhoria do manejo agrícola, o país alcançou, em 1948, uma produtividade média de 2.891,8 kg/ha, um incremento superior a 1.500 kg/ha em apenas 15 anos, o que representa um aumento médio de aproximadamente 100 kg/ha por ano. Em 1960, a produtividade já havia atingido 3.678,63 kg/ha. A partir dessa década, os híbridos duplos começaram a ser gradualmente substituídos pelos híbridos simples, graças ao desenvolvimento de linhagens com maior vigor e potencial produtivo. Em 1969, os híbridos simples dominavam a maior parte das áreas plantadas, contribuindo para um novo recorde de produtividade, que chegou a 5.776,87 kg/ha. Desde então, esses números continuaram a crescer safra após safra, impulsionados por melhorias no sistema agrícola e pelo desenvolvimento contínuo de híbridos de alto potencial produtivo. Em 2023, os Estados Unidos atingiram uma produtividade média impressionante de

11.923,61 kg/ha, refletindo os avanços tecnológicos e genéticos no cultivo de milho (Brummel; Gibson, 2022; Borém; Miranda; Fritsche-Neto, 2021; Crow, 1998; USDA).

No Brasil, a história do milho híbrido iniciou-se em 1939, sendo o segundo país a desenvolver e explorar esses híbridos, assim como nos Estados Unidos, os primeiros híbridos a serem explorados eram duplos e foram desenvolvidos pelo Instituto Agronômico de Campinas e a Universidade Federal de Viçosa, instituições públicas. Em 1945, foi fundada a primeira empresa privada para desenvolvimento de híbridos de milho híbrido no Brasil, a Agroceres, sendo uma das principais responsáveis na introdução desses híbridos no país (Filho et al., 2000).

Segundo a série histórica da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a produtividade média brasileira na safra 1976/77 era de 1632 kg/ha, com o desenvolvimento e introdução de novos híbridos e a modernização do manejo agrônomo, esses valores foram aumentando gradativamente, no início da década de 1990, a produtividade média já ultrapassava os 2000 kg/ha. No início do século XIX, os híbridos triplos e simples foram substituindo os híbridos duplos e contribuíram para o aumento da produtividade média, que ultrapassou os 3.000 kg/ha na safra 2000/01. A partir da safra 2011/12, o milho da segunda safra se tornou mais relevante que o da primeira safra, onde obteve uma maior área plantada e maior produtividade média com 5.133 kg/ha e o da primeira safra com 4481 kg/ha. Um dos fatores que contribuíram para essa mudança foi o desenvolvimento de híbridos adaptadas as condições da segunda safra. Atualmente, o Brasil possui três safras agrícolas por ano, divididas em diferentes regiões, na safra 2022/23, a produtividade média na primeira, segunda e terceira safra foi de 6.160 kg/ha, 5.954 kg/ha, 3.406 kg/ha, respectivamente. Dos híbridos registrados no Brasil, 66,3% oferecem ampla adaptabilidade e estabilidade, o que releva a importância dessas características no desenvolvimento de híbridos modernos (Borém; Miranda; Fritsche-Neto, 2021; CONAB, 2024; Pereira Filho; Borghi, 2022).

Os híbridos de milho são desenvolvidos a partir de cruzamentos controlados entre indivíduos geneticamente distintos. Existem três tipos principais de híbridos: simples, duplos e triplos, que são de maior interesse nos programas comerciais de melhoramento genético.

Inicialmente, os híbridos simples são obtidos a partir do cruzamento de linhagens endogâmicas. Em contraste, os híbridos duplos são formados pelo cruzamento de dois híbridos simples. Por fim, os híbridos triplos resultam do cruzamento de um híbrido simples com uma terceira linhagem endogâmica. Cada tipo de cruzamento gera híbridos com características específicas.

De maneira geral, os híbridos simples apresentam o maior potencial produtivo, uniformidade de ciclo, altura de plantas e altura de espigas. Entretanto, são mais custosos para a obtenção de suas sementes e demandam um maior nível tecnológico em seu manejo. Os híbridos triplos são menos produtivos e homogêneos em comparação com os híbridos simples, porém, são mais estáveis e têm um custo menor para obtenção de sementes. Os híbridos duplos são os menos produtivos e uniformes dentre os três tipos, porém, apresentam maior estabilidade e menor custo em comparação com os outros dois tipos (Galvão; Borém; Pimentel, 2017; Pereira Filho; Borghi, 2022).

2.4 Interação Genótipos x Ambientes

A interação genótipos por ambientes (GxA) refere-se ao fenômeno em que o desempenho relativo dos genótipos de uma cultura, como o milho, varia de acordo com as condições do ambiente em que estão inseridos. Essa interação é um fenômeno crítico na agricultura, pois impacta significativamente as características qualitativas, quantitativas e a estabilidade dos híbridos. Quando ocorrem mudanças nas condições edafoclimáticas, as respostas fenotípicas dos genótipos são influenciadas por dois tipos de fatores: os previsíveis e os imprevisíveis. Fatores previsíveis incluem variáveis que mudam de maneira sistemática, como fotoperíodo, tipo e fertilidade do solo, e práticas de manejo agrônômico. Por outro lado, os fatores imprevisíveis, que têm um papel mais significativo nas interações entre genótipos e anos, bem como entre genótipos e locais, abrangem variações na precipitação, umidade relativa do ar, temperatura atmosférica e do solo, pragas, doenças e outros (Borém; Miranda; Fritsche-Neto, 2021; Paes; Von Pinho; Moreira, 2018).

A GxA pode ser classificada como ausente, simples ou complexa, sendo ausente quando o desempenho dos genótipos mantém sua posição relativa de desempenho, independente das variações nas condições ambientais, não apresentando plasticidade diante dessas variações. A interação simples ocorre quando a ordem dos genótipos não muda entre os diferentes ambientes, porém, respondem de modo distinto quanto a essas variações, com os genótipos apresentando plasticidades distintas. A interação complexa é a mais observada nos programas de melhoramento genético e ocorre quando a ordem dos genótipos se alterna entre os ambientes avaliados (Borém; Miranda; Fritsche-Neto, 2021; Ramalho et al., 2024).

O conhecimento da GxA permite ao programa de melhoramento explorar esse fenômeno de maneira eficiente e de acordo com o seu objetivo para recomendação de híbridos. Caso o objetivo seja obtenção de híbridos para diversas regiões, os híbridos devem expressar ampla adaptabilidade e estabilidade, e a interação GxA devem ser de pequena magnitude. Caso o objetivo seja a obtenção de híbridos para regiões específicas, a interação GxA de maior magnitude permitem a identificação e seleção de híbridos adaptadas aquela região (Borém; Miranda; Fritsche-Neto, 2021; De Leon et al., 2016).

Diversas metodologias foram desenvolvidas para à avaliação da interação GxA e sua escolha depende do objetivo do estudo e dos fatores experimentais, como o número de ambientes em que os experimentos foram instalados e o número de híbridos por experimentos. De modo geral, essas metodologias têm como objetivo obter informações sobre a adaptabilidade e estabilidade dos híbridos nos diferentes ambientes (Borém; Miranda; Fritsche-Neto, 2021).

2.5 Adaptabilidade e Estabilidade

A adaptabilidade e a estabilidade são conceitos cruciais para a compreensão do desempenho das cultivares em diferentes ambientes. A adaptabilidade refere-se à capacidade de uma cultivar ajustar seu crescimento e desenvolvimento positivamente em diferentes condições ambientais, como temperatura, precipitação, umidade, tipos de solo e práticas de manejo agrícola. Por sua vez, a estabilidade diz respeito à consistência e previsibilidade do desempenho da cultivar sob diferentes condições edafoclimáticas e de cultivo. Ambos os fatores são extremamente relevantes para os híbridos modernos e estão diretamente relacionados à sua constituição genética (Borém; Miranda; Fritsche-Neto, 2021; Vencovsky; Barriga, 1992).

A adaptabilidade pode ser classificada de duas formas: no sentido amplo e no sentido restrito, o amplo é caracterizado quando os híbridos expressam um bom desempenho em todos ou na maioria dos ambientes testados, o sentido restrito é caracterizado quando os híbridos expressam um bom desempenho em poucos ou apenas um ambiente dos testados (Borém; Miranda; Fritsche-Neto, 2021; Annicchiarico, 2002).

No que diz respeito à estabilidade, ela pode ser classificada como estática ou dinâmica. A estabilidade estática é observada quando o cultivar apresenta performance estável em diferentes ambientes sem respostas mesmo com a melhoria do ambiente, ocorrendo variações

de pequena magnitude entre os ambientes. Em contrapartida, a estabilidade dinâmica refere-se a híbridos que mantêm uma performance estável, mas que reagem positivamente a melhorias no ambiente, sendo esta última denominada estabilidade no sentido agrônômico (Borém; Miranda; Fritsche-Neto, 2021; Gomes Squilassi, 2003).

A adaptabilidade e a estabilidade são fenômenos relacionados, entretanto, não devem ser considerados como um só (Gomes Squilassi, 2003). Por sua natureza complexa, diversos métodos estatísticos foram desenvolvidos para medir a estabilidade e a adaptabilidade fenotípica e genotípica. Se divergindo nos conceitos e nos diferentes procedimentos estatísticos utilizados para suas determinações.

2.6 Modelos lineares mistos

A metodologia de análise estatística via modelos lineares mistos vem sendo bastante utilizada pelos programas de melhoramento de plantas para a estimação de componentes de variância em diversas situações, como em experimentos com dados desbalanceados, experimentos não ortogonais, variâncias heterogêneas e erros correlacionados, estimativa de parâmetros genéticos, como herdabilidade e correlações genéticas, de forma mais eficiente. Também tem ampla utilização para a estimação de valores fenotípicos (BLUE) e predição de valores genotípicos (BLUP) na análise de experimentos em múltiplos ambientes e de delineamentos genéticos (Gonçalves; Fritsche-Neto, 2023).

A flexibilidade dessa metodologia permite decompor a variabilidade em componentes fixos e aleatórios, podendo ser definido de acordo com o modelo e objetivo. Os efeitos fixos podem incluir tratamentos aplicados, blocos de experimento ou locais, enquanto os efeitos aleatórios podem incluir valores genéticos dos indivíduos e efeitos ambientais específicos (Henderson, 1984).

O melhor estimador não viesado (BLUE) é utilizado para estimar efeitos fixos nos modelos mistos, esses efeitos são consistentes e não aleatórios, como tratamentos aplicados em um experimento ou locais onde os experimentos são conduzidos. Ele fornece estimativas que são lineares, não tendenciosas e têm a menor variância possível entre todas as estimativas lineares não tendenciosas (Henderson, 1984). Em contrapartida, o melhor preditor linear não viesado (BLUP) é usado para prever os efeitos aleatórios. Ele fornece previsões não tendenciosas com a menor variância possível para os efeitos aleatórios. Os valores preditos dos

efeitos aleatórios (BLUPs) são particularmente importantes, pois permitem identificar genótipos superiores com base em suas performances ajustadas para efeitos ambientais e outros fatores aleatórios. Isso ajuda a acelerar o progresso genético e a aumentar a eficiência dos programas de melhoramento (Bernardo, 2010; Henderson, 1984).

A seleção feita sobre valores genéticos permitem maior assertividade na identificação de híbridos superiores que a feita por médias fenotípicas (Resende; Duarte, 2007). Sendo assim, a seleção de indivíduos superiores via modelos lineares mistos com a metodologia da máxima verossimilhança restrita/melhor preditor linear não viesado (REML/BLUP) oferta diversas vantagens, por maximiza a acurácia de predição e explorar os estimadores do tipo *shrinkage* (Duarte; Vencovsky, 2001).

2.7 Índices WAASB, WAASBY e MTSI

Na análise de experimentos agrícolas, a avaliação da estabilidade genotípica e do desempenho médio de híbridos é crucial para os melhoristas no desenvolvimento de cultivares ideais. Nesse contexto, foram desenvolvidos os índices WAASB e WAASBY, que combinam métodos estatísticos avançados para oferecer uma visão abrangente sobre a interação genótipos-ambientes e a estabilidade dos híbridos. Esses métodos visam combinar a capacidade de predição da metodologia do REML/BLUP e as propriedades gráficas da metodologia de Efeito Principal Aditivo e Interação Multiplicativo (AMMI) (Olivoto et al., 2019).

O WAASB, é um índice quantitativo de estabilidade genotípica que permite a classificação de híbridos com diferentes padrões de estabilidade via gráficos. Ele se refere à média ponderada das pontuações absolutas que são obtidos pela decomposição dos valores singulares da matriz BLUPs para interação GxA obtidos por um modelo linear de efeito misto. O cultivar com o menor valor WAASB é considerado o mais estável, ou seja, aquele que menos se desvia do desempenho médio entre os ambientes. Esse índice oferta a possibilidade de utilizar os valores BLUPs dos híbridos e de usar todos os eixos estimados do IPCA para identificar a estabilidade em um gráfico bidimensional.

Por outro lado, o WAASBY é um índice de superioridade que combina o desempenho médio do genótipo com sua estabilidade genotípica, representada pelo índice WAASB. Esse índice é calculado para cada genótipo avaliado e varia de 0 a 100, onde valores mais altos indicam que o genótipo possui tanto um desempenho médio superior quanto uma estabilidade

genotípica mais robusta em relação aos demais cultivares analisados (Olivoto et al., 2019). Assim, o genótipo com um valor de WAASBY igual a 100 é considerado o ideal ou "ideótipo" para as características específicas investigadas, oferecendo um equilíbrio ideal entre produção consistente e adaptação a diferentes ambientes.

Visando classificar e selecionar genótipos avaliados em múltiplos ambientes, a partir da estabilidade e desempenho médio de multicaracterísticas, Olivoto et al. (2019b) propôs um índice de seleção simultânea multivariada (MTSI), que é baseado na distância euclidiana entre genótipo-ideótipo. Ele utiliza o maior valor WAASBY de cada característica avaliada para definir seu respectivo ideótipo (Olivoto et al., 2019b).

Essas metodologias foram desenvolvidas recentemente e suas utilizações em análises de interação GxA ainda não se encontram amplamente difundida em ensaios de avaliações de cultivares de milho. Al-Ashkar et al. (2023), avaliou 20 genótipos de trigo sob estresse hídrico e térmico em nove ambientes e utilizou os índices MGIDI, WAASB e WAASBY para identificar genótipos tolerantes, estáveis e produtivos. O estresse reduziu a maioria dos traços, mas alguns genótipos, como G04, G12, G13 e G17, mostraram melhor tolerância. O genótipo G12 se destacou consistentemente em todos os índices, sendo o mais promissor. A combinação dos métodos MGIDI, WAASB e WAASBY foi eficaz na seleção de genótipos superiores, oferecendo uma ferramenta poderosa para programas de melhoramento de trigo em condições adversas. Nataraj et al. (2021), utilizou os índices MGIDI, WAASB e WAASBY para avaliar 32 genótipos de soja em oito locais durante dois anos para entender a interação GxA. A análise com o índice WAASB identificou o genótipo SL1171 como altamente estável, embora com rendimento de grãos abaixo da média. Usando o índice WAASBY, o genótipo MACS 1620 foi classificado como o mais produtivo e adaptável. O índice de seleção simultânea MTSI destacou o genótipo DSb 33 como o melhor para maturação precoce e rendimento. O peso de 100 sementes foi associado positivamente ao rendimento, com o genótipo NRC 146 sendo o mais divergente e promissor para seleção de maior produtividade.

Já Olivoto et al. (2021) propões o uso do índice MTSI para selecionar híbridos de milho com base no desempenho médio e na estabilidade de múltiplas características. Foram avaliadas 10 características, incluindo rendimento de grãos e componentes da planta, em 90 híbridos F1 em ensaios multiambientais. O MTSI mostrou ganhos positivos para características como rendimento de grãos (4,86%) e negativos para características indesejáveis como número de ramos de borla (-20,28%). A seleção direta apenas para rendimento não foi eficaz para todas

as características, destacando o MTSI como uma ferramenta robusta e eficiente para otimizar programas de melhoramento de milho.

A utilização de metodologias como WAASB, WAASBY e MTSI para avaliar a interação GxA oferece vantagens significativas aos programas de melhoramento. Essas abordagens permitem análises considerando tanto o desempenho médio quanto a estabilidade dos genótipos em diferentes ambientes. Além disso, proporcionam uma seleção mais eficiente ao otimizar múltiplas características ao mesmo tempo, garantindo ganhos desejáveis em produtividade e redução de traços indesejados. Tais metodologias aumentam a precisão em ensaios multiambientais e contribuem para o desenvolvimento de cultivares mais estáveis e resilientes.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Locais dos experimentos

Foram conduzidos três experimentos, sendo dois no estado de Minas Gerais e um no estado de São Paulo. Os experimentos de Minas Gerais foram instalados nos municípios de Lavras (A1) e Ijaci (A2), localizados na mesorregião do Campo das Vertentes e microrregião de Lavras. O experimento de São Paulo foi instalado no município de General Salgado (A3), localizado na mesorregião de São José do Rio Preto e microrregião de Auriflama.

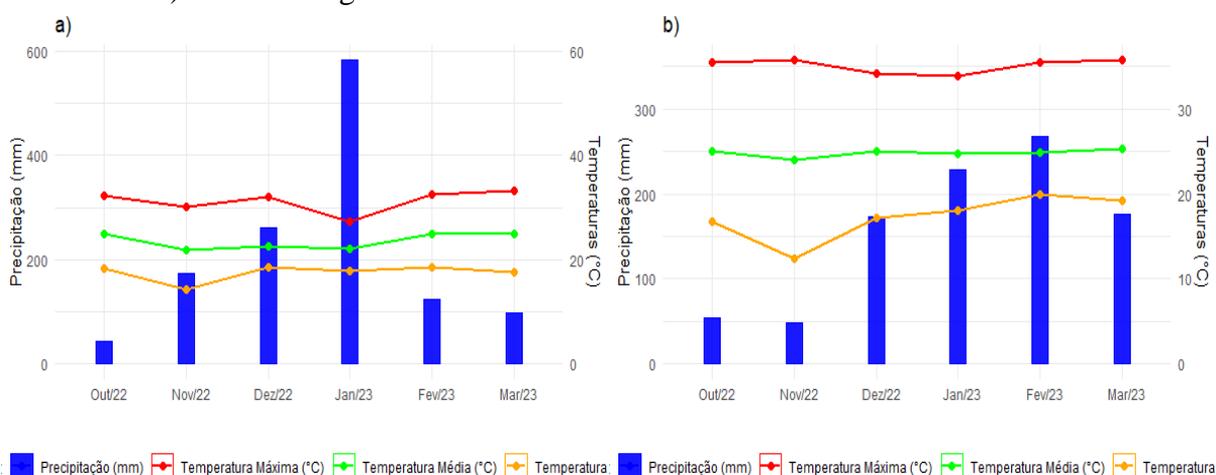
O experimento no município de Lavras foi instalado no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico da Universidade Federal de Lavras. Situado a 920 metros de altitude, aos 21° 14' 45'' de latitude sul e 44° 59' 59'' de longitude oeste, com solo Latossolo Vermelho-Amarelo. O clima da região segundo classificação Köppen, é Cwa, clima temperado úmido com inverno seco e verão quente. O experimento em Lavras foi semeado no dia 14/10/2022 e colhido no dia 18/03/2023.

O experimento no município de Ijaci foi instalado em uma propriedade rural do município. Situado a 833 metros de altitude, aos 21° 9' 24'' de latitude sul e 44° 55' 34'' de longitude oeste, com solo Latossolo Vermelho-Amarelo. O clima da região segundo classificação Köppen, é Cwa, clima temperado úmido com inverno seco e verão quente. O experimento em Ijaci foi semeado no dia 17/10/2022 e colhido no dia 20/03/2023.

O experimento em General Salgado foi instalado em uma propriedade rural do município. Situado a 509 metros de altitude, aos 20° 38' 30'' de latitude sul e 50° 21' 42'' de longitude oeste, com solo Latossolo Vermelho. O clima da região segundo classificação climática de Köppen, é Aw, clima tropical com estação seca. O experimento em General Salgado foi semeado no dia 25/10/2022 e colhido no dia 30/03/2023.

A figura 1, apresenta os valores de pluviometria e temperatura durante o período dos experimentos, Ijaci não possui estação meteorológica registrada no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e por conta da proximidade entre as cidades (12 km), os dados da estação meteorológica de Lavras, foi utilizada como parâmetro para Ijaci.

Figura 1 - Precipitação, temperaturas máximas, médias e mínimas do plantio à colheita dos experimentos de avaliação de híbridos de milho na safra 2022/23. a) Lavras e Ijaci; b) General Salgado.



Fonte: INMET (2024).

3.2 Manejo agrônômico dos experimentos

Os experimentos foram manejados de forma semelhante em todos os locais, sendo a área submetida a dessecação 15 dias antes do plantio com os herbicidas Roundup WG® (Glifosato) + Aurora 400 EC® (Triazolona) nas doses de 3 L/ha e 30 mL/ha, respectivamente. As áreas foram sulcadas no espaçamento de 0,6 m entre linhas. A adubação de plantio foi com fosfato monoamônico (MAP) com uma dose de 200 kg/ha (11% N; 52% P₂O₅). A adubação de cobertura foi com 450 kg/ha de ureia (45% N) e 110 kg/ha de cloreto de potássio (60% K₂O), realizada no estágio fenológico V4. Os tratos culturais foram realizados de acordo com recomendações de Borém, Galvão e Pimentel (2017).

3.3 Híbridos e delineamento experimental

Avaliaram-se 26 híbridos simples desenvolvidos pelo programa de genética e melhoramento de milho da Universidade Federal de Lavras. Para compor o experimento, foram utilizados como testemunha os híbridos BM930 VTPRO3® e DKB230 VTPRO4®. O BM930 VTPRO3® é um cultivar da empresa Biomatrix, com ciclo superprecoce e de ampla adaptabilidade e alto teto produtivo. Ele é recomendado tanto para produção de grãos quanto para silagem de grãos úmidos. A biotecnologia incorporada neste híbrido, apresenta duas

proteínas Bts para o controle das principais lagartas da parte aérea e uma proteína Bt específica contra a larva alfinete, além da tolerância ao herbicida glifosato. Já o cultivar DKB230 VTPRO4®, da Dekalb, é um híbrido de ciclo hiperprecoce, apresentando alto potencial produtivo e estabilidade. A biotecnologia incorporada neste híbrido, é uma atualização da VTPRO3®, que apresenta três proteínas Bts para o controle das principais lagartas da parte aérea e duas proteínas Bts específica contra lagartas da parte radicular, além da tolerância ao herbicida glifosato.

Tabela 1 - Híbridos de milho avaliados na safra 2022/23 nos estados de Minas Gerais e São Paulo (continua).

GENÓTIPO	CÓDIGO	CLASSIFICAÇÃO	DETENTORA	TECNOLOGIA
AB90	1	HS	UFLA	Convencional
DKB230*	2*	HS	Dekalb	PRO4
AB2	3	HS	UFLA	Convencional
BM930*	4*	HS	Biomatrix	PRO3
AB58	5	HS	UFLA	Convencional
AB87	6	HS	UFLA	Convencional
AB5	7	HS	UFLA	Convencional
BA6	8	HS	UFLA	Convencional
AB81	9	HS	UFLA	Convencional
AB36	10	HS	UFLA	Convencional
AB43	11	HS	UFLA	Convencional
AB73	12	HS	UFLA	Convencional
BA90	13	HS	UFLA	Convencional
BA46	14	HS	UFLA	Convencional
BA35	15	HS	UFLA	Convencional
AB150	16	HS	UFLA	Convencional
BA148	17	HS	UFLA	Convencional
AB29	18	HS	UFLA	Convencional
AB115	19	HS	UFLA	Convencional
BA172	20	HS	UFLA	Convencional
AB22	21	HS	UFLA	Convencional

Tabela 2 - Híbridos de milho avaliados na safra 2022/23 nos estados de Minas Gerais e São Paulo (conclusão).

GENÓTIPO	CÓDIGO	CLASSIFICAÇÃO	DETENTORA	TECNOLOGIA
AB143	22	HS	UFLA	Convencional
BA43	23	HS	UFLA	Convencional
AB53	24	HS	UFLA	Convencional
BA38	25	HS	UFLA	Convencional
AB99	26	HS	UFLA	Convencional
BA78	27	HS	UFLA	Convencional
AB10	28	HS	UFLA	Convencional

Legenda: Os híbridos marcados com ‘*’ foram utilizados como testemunhas.

Fonte: Do autor (2024).

No total, foram utilizados 28 tratamentos para compor os experimentos que seguiram o delineamento de blocos completamente casualizados, com três repetições. As 84 parcelas foram constituídas por quatro linhas de cinco metros, com espaçamento de 0,6 metros entre linhas e 0,25 entre plantas, com uma população de 80.000 plantas/ha, e ocupando uma área de 1.008 m² em cada experimento.

3.4 Caracteres avaliados

Foram avaliados os seguintes caracteres agronômicos:

1. Altura de espiga (AE): corresponde à média da altura da espiga de três plantas por parcela medidas a partir do nível do solo até a inserção da espiga superior, no estágio fenológico R1, em metros (m);
2. Altura de planta (AP): corresponde à média da altura de três plantas por parcela medidas a partir do nível do solo até a inserção do pendão, no estágio fenológico R1, expressa em metros (m);
3. Produtividade de grãos (PROD): corresponde a massa de grãos da parcela, obtido em kg/parcela, corrigido para o teor de umidade de 13% e extrapolada para t/ha. Fórmula para correção do peso de grãos para o teor de 13% de umidade:

(3.1)

$$P_{13\%} = \frac{P_i(100 \times U)}{87}$$

Onde:

$P_{13\%}$: massa de grãos corrigida para 13% de umidade em kg/parcela;

P_i : massa de grãos não corrigida em kg/parcela;

U : é o teor de umidade de grãos da parcela.

A produtividade foi extrapolada para t/ha utilizando a produção de grãos por parcela à 13% de umidade ($P_{13\%}$), área útil da parcela (6 m^2) e a área equivalente a um hectare (10000 m^2), de acordo com a seguinte equação:

$$PROD = \frac{\left(\frac{P_{13\%} \times 10000}{6}\right)}{1000} \quad (3.2)$$

3.5 Análises estatísticas

Inicialmente, foi verificado o atendimento dos dados de forma individual aos pressupostos de normalidade dos erros pelo teste de Shapiro e Wilk (1965) e da homogeneidade das variâncias residuais pelo teste de Bartlett (1937).

As análises individuais e conjunta foram realizadas via abordagem de modelos lineares mistos proposto por Henderson (RESENDE, 2007), utilizando o melhor preditor linear não viesado (BLUP), para predição dos valores genéticos, e os componentes de variância foram estimados via o método da máxima verossimilhança residual (REML).

As significâncias das variâncias dos efeitos aleatórios foram avaliadas pelo teste LRT e o valor das predições BLUP pelo erro padrão associado a estimativa BLUP, ambos a 5% de significância. Os dados analisados foram relativos a três variáveis: produtividade de grãos (PROD), altura de planta (AP) e altura de espiga (AE).

3.5.1 Análises individuais

Foram realizadas as análises individuais para cada ambiente, de acordo com o modelo:

(3.3)

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \tau_j + \varepsilon_{ij}$$

Onde:

y_{ij} : é o valor observado para o (i)-ésimo híbrido no (j)-ésimo bloco ((i) = 1, 2, ..., 28.; (j) = 1, 2, 3.);

μ : é uma constante associada às observações;

α_i : é o efeito aleatório do (i)-ésimo híbrido i , com $\alpha_i \sim N(0, \sigma_\alpha^2)$ sendo σ_α^2 a variância do híbrido;

τ_j : é o efeito fixo do bloco (i)-ésimo bloco (j);

ε_{ij} : é o erro aleatório associado a y_{ij} , $\varepsilon_{ij} \sim (0, \sigma_\varepsilon^2)$ sendo σ_ε^2 a variância do erro.

3.5.2 Análise conjunta

Foi realizada uma análise conjunta para todos os ambientes, de acordo com o modelo:

(3.4)

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + a_k + b_{l(k)} + (\alpha a)_{ik} + \varepsilon_{ijkl}$$

Onde:

y_{ijkl} : é o valor observado para o (i)-ésimo híbrido no (j)-ésimo bloco ((i) = 1, 2, ..., 28.; (j) = 1, 2, 3.);

μ : é uma constante associada às observações;

α_i : é o efeito aleatório do (i)-ésimo híbrido i , com $\alpha_i \sim N(0, \sigma_\alpha^2)$ sendo σ_α^2 a variância do híbrido;

a_k : é o efeito aleatório do (i)-ésimo ambiente k ; com $a_k \sim N(0, \sigma_k^2)$ sendo σ_k^2 a variância do ambiente;

$b_{l(k)}$: é o efeito aleatório do bloco l dentro do ambiente k , com $b_{l(k)} \sim N(0, \sigma_b^2)$ sendo σ_b^2 a variância dos blocos dentro dos ambientes;

$(\alpha a)_{ik}$: é o efeito aleatório da interação do (i)-ésimo híbrido i , com (i)-ésimo ambiente k ; com $\alpha a_{ik} \sim N(0, \sigma_{\alpha a}^2)$ sendo $\sigma_{\alpha a}^2$ a variância da interação do híbrido com ambiente;

ε_{ijkl} : é o erro aleatório associado a y_{ijkl} , $\varepsilon_{ijkl} \sim (0, \sigma_\varepsilon^2)$ sendo σ_ε^2 a variância do erro.

Verificou-se para a análise conjunta, a homogeneidade das variâncias residuais entre os locais pelo teste de Levene e o teste da normalidade dos resíduos foi feito pelo método QQ-Plot (Kosak; Piepho, 2018). Todas as análises estatísticas foram em ambiente R (R Core Team, 2024) por meio do pacote “metan” (Olivoto; Lúcio, 2020).

3.6 Precisão experimental e parâmetros genéticos

A precisão experimental foi avaliada segundo recomendações de Resende e Duarte (2007), utilizando estimativas do coeficiente de variação experimental ($CV_e\%$) e acurácia seletiva ($r\hat{g}g$). O coeficiente de variância foi determinado pelo seguinte estimador:

$$CV_e(\%) = \frac{\sqrt{\sigma_e^2}}{\bar{Y}} \times 100 \quad (3.5)$$

Onde:

$CV_e(\%)$: é o coeficiente de variação experimental;

σ_e^2 : é a variância do erro experimental;

\bar{Y} : é a média geral dos experimentos.

Já a acurácia seletiva foi determinada pelo seguinte estimador:

$$r\hat{g}g = \sqrt{1 - \frac{PEV}{\sigma_g^2}} \quad (3.6)$$

Onde:

$r\hat{g}g$: é a acurácia seletiva do experimento;

PEV : é a variância do erro de predição dos BLUPs;

σ_g^2 : é a variância genotípica.

A herdabilidade no sentido amplo (h^2) na análise individual foi estimada de acordo com estimador:

$$(3.7)$$

$$h^2 = \frac{\sigma_g^2}{[\hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_e^2/b]}$$

Onde:

h^2 : é a herdabilidade no sentido amplo;

σ_g^2 : é a variância genotípica;

σ_e^2 : é a variância do erro experimental;

b : é o número de blocos.

A herdabilidade no sentido amplo (h^2) na análise conjunta foi estimada de acordo com estimador:

(3.8)

$$h^2 = \frac{\sigma_g^2}{[\hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_i^2/e + \hat{\sigma}_e^2/(eb)]}$$

Onde:

h^2 : é a herdabilidade no sentido amplo;

σ_g^2 : é a variância genotípica;

σ_i^2 : é a variância da interação genotípico por ambiente;

σ_e^2 : é a variância do erro experimental;

e : é o número de ambientes;

b : é o número de blocos.

O coeficiente de variância genotípica foi determinado pelo seguinte estimador:

(3.9)

$$CV_g(\%) = \frac{\sqrt{\sigma_g^2}}{\bar{Y}} \times 100$$

Onde:

$CV_g(\%)$: é o coeficiente de variação genotípica;

σ_g^2 : é a variância genotípica;

\bar{Y} : é a média geral dos experimentos.

3.6.1 Índice de estabilidade

A estabilidade dos híbridos foi determinada de acordo com a metodologia do índice *WAASB*, que é calculada a partir da seguinte expressão:

$$WAASB_i = \sum_{k=1}^2 \frac{|IPCA_{ik} \times EP_k|}{EP_k} \quad (3.10)$$

Onde:

$WAASB_i$: é a média ponderada das pontuações absolutas do híbrido i

$IPCA_{ik}$: é o escore da i -ésimo híbrido no k -ésimo eixo do componente principal;

EP_k : é a quantidade de variação explicada pelo k -ésimo componente principal.

3.6.2 Índice de desempenho médio e estabilidade univariada

O índice *WAASBY* foi utilizado para classificar e selecionar os híbridos que apresentam melhores desempenho e estabilidade genotípica, de forma ponderada, a partir da seguinte expressão:

$$WAASBY_i = \frac{(rY_i \times \theta_Y) + (rW_i \times \theta_S)}{\theta_Y \times \theta_S} \quad (3.11)$$

Onde:

$WAASBY_i$: é o índice de superioridade para o i -ésimo híbrido que pondera entre desempenho e estabilidade;

rY_i : é o valor redimensionado para variável depende do i -ésimo híbrido (0-100);

rW_i : é o valor redimensionado para *WAASB* do i -ésimo híbrido (0-100);

θ_Y : é o peso para a varável depende do i -ésimo híbrido;

θ_S : é o peso para *WAASB* do i -ésimo híbrido.

Pesos para o desempenho médio das características avaliadas, produtividade (PROD) = 75, altura de planta (AP) = 50 e altura de espiga (AE) = 50;

Pesos para a estabilidade das características avaliadas, produtividade (PROD) = 25, altura de planta (AP) = 50 e altura de espiga (AE) = 50.

3.6.3 Índice de desempenho médio e estabilidade multivariada

O índice *MTSI* foi calculado para classificar e selecionar os híbridos de forma simultânea para estabilidade e desempenho médio das múltiplas características apresentadas, a partir da seguinte expressão:

$$MTSI_i = \left[\sum_{j=1}^f (F_{ij} - F_j)^2 \right]^{0.5} \quad (3.12)$$

Onde:

$MTSI_i$: é o índice de superioridade e estabilidade de multicaracterística para o i-ésimo genótipo;

F_{ij} : é a j-ésima pontuação do i-ésimo híbrido;

F_j : é a j-ésima pontuação do ideótipo.

Pesos para o desempenho médio das características avaliadas, produtividade (PROD) = 75, altura de planta (AP) = 25 e altura de espiga (AE) = 25;

Pesos para a estabilidade das características avaliadas, produtividade (PROD) = 25, altura de planta (AP) = 75 e altura de espiga (AE) = 75;

Para seleção dos híbridos, foi utilizado uma intensidade de seleção de 30%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análises individuais

As estimativas dos componentes de variância, assim como dos parâmetros genéticos e fenotípicos das análises individuais, estão apresentadas na Tabela 2 do apêndice. Com base nos resultados, observou-se que a variância genética entre os híbridos foi significativa ($p < 0,05$) para os caracteres produtividade de grãos (PROD), altura de planta (AP) e altura de espiga (AE). A magnitude da variância genética para PROD e AP foi superior em Lavras, enquanto para AE foi superior em Ijaci. Os resultados indicam diferenças genéticas significativas entre os híbridos para as características avaliadas, demonstrando variabilidade genética suficiente para a seleção. A maior variância genética para PROD e AP em Lavras sugere maior potencial seletivo nesses caracteres nesse ambiente, enquanto a maior variância genética para AE em Ijaci indica maior diversidade para essa característica nesse local.

O maior objetivo do uso de delineamentos experimentais é permitir a estimativa e a redução do impacto da variância do erro sobre os efeitos dos tratamentos avaliados. Quanto menor for a variância do erro, maior será a precisão e a acurácia dos experimentos, permitindo assim, uma inferência mais assertiva dos valores genotípicos dos híbridos testados (Gonçalves; Fritsche-Neto, 2023). Nesse trabalho, a precisão experimental foi avaliada pela acurácia seletiva ($r_{\hat{g}g}$) e o coeficiente de variação experimental (CVe) para as análises individuais e conjunta. As estimativas dos componentes de variância, assim como dos parâmetros genéticos e fenotípicos das análises individuais, estão apresentadas na Tabela 2 do apêndice.

A acurácia seletiva é considerada uma correlação de quanto o valor genotípico predito é similar ao valor genotípico real dos tratamentos. De acordo com a classificação de Resende e Duarte (2007), sendo os valores próximos de 1 as classes de maior precisão. Valores de acurácia acima de 0,90 são classificadas como muito alta, entre 0,70 – 0,90 são classificadas como alta, entre 0,4 – 0,7 são classificadas como moderada e entre 0,10 – 0,40 são classificadas como baixa (Resende; Duarte, 2007).

Diante dessa classificação, podemos constatar acurácias seletivas muito altas para o carácter produtividade de grãos em General Salgado (0,981) e Lavras (0,962). Para o local de Ijaci, a acurácia para esse carácter foi de 0,727, sendo classificada como alta. Para altura de planta, as acurácias para as análises individuais foram classificadas como altas, variando de

0,765 em General Salgado até 0,86 em Lavras. Para altura de espiga, os valores variaram de 0,74 em Lavras até 0,88 em General Salgado, sendo classificadas como altas.

Para uma boa eficácia na seleção dos híbridos avaliados, é recomendado acurácias superiores a 0,70, e para recomendação, valores acima de 0,90 (Deon Vilela De Resende; Silva Alves, 2020). Estes resultados permitem a seleção e recomendação de híbridos com alta precisão para os caracteres avaliados neste trabalho, pois os respectivos valores genéticos foram inferidos com altas acurácias. Trabalhos avaliando a produtividade de grãos de híbridos de milho no Norte e Centro-sul do Brasil (Alves Lacerda et al., 2021; Dos Santos et al., 2021) apresentaram valores de acurácia seletiva entre as classes moderadas (0,57) até muito altas (0,96) (Tabela 2).

Os coeficientes de variação experimental ($CV_e\%$) foram classificados de acordo com a proposta por Fritsche-Neto et al. (2012), que apresentaram coeficientes de variação para os principais caracteres da cultura do milho. Nesse trabalho, os $CV_e(\%)$ para produtividade de grãos foram classificados como baixos para Lavras (7,78) e General Salgado (7,898) e intermediário para Ijaci (9,123). Para a altura de planta, os $CV_e(\%)$ de Ijaci (4,408), Lavras (4,849), General Salgado (6,377) foram classificados como intermediários. Para a altura de espiga, as análises individuais obtiveram classificação de $CV_e(\%)$ intermediários. Como discutido por Fritsche-Neto et al. (2012), esses valores vão de acordo com a classificação proposta por Scapim et al. (1995). As classificações entre baixas e intermediárias para os caracteres avaliados indica uma boa qualidade experimental, implicando em resultados consistentes (Tabela 2 do apêndice) (FRITSCHÉ-NETO et al., 2012).

A herdabilidade é um dos principais parâmetros estimados nos experimentos realizados pelos programas de melhoramento de plantas, ela pode variar de 0 a 1, com os valores de 0 – 0,3 classificados como baixas herdabilidade, de 0,31 – 0,6 classificados como herdabilidade moderada e de 0,61 – 1 classificados com alta herdabilidade. A herdabilidade indica aos melhoristas a proporção da variação fenotípica total de determinada característica, que pode ser atribuída à variação genética entre os tratamentos (Visscher; Hill; Wray, 2008).

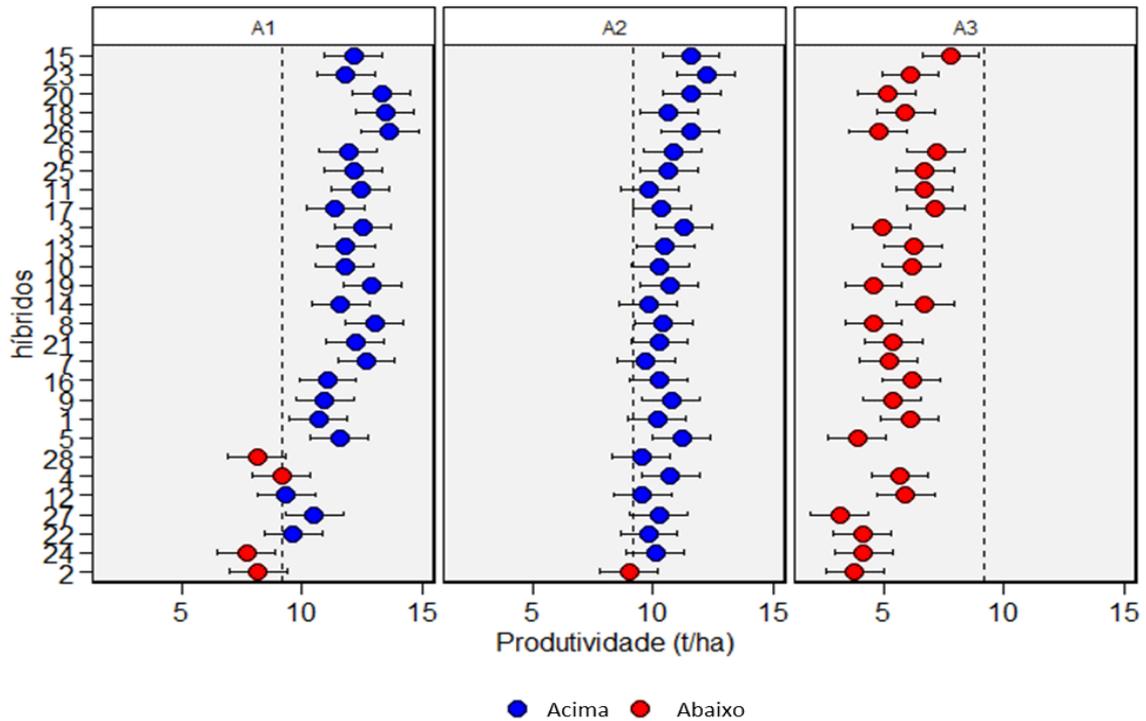
No presente trabalho, a herdabilidade para o carácter da produtividade de grãos foi classificada como alta para os experimentos em General Salgado (0,963) e Lavras (0,925), moderada para Ijaci (0,529). Para a altura de planta, a herdabilidade foi alta para os locais de Lavras (0,747) e Ijaci (0,704), já em General Salgado, a herdabilidade foi considerada moderada (0,585). No caso da altura de espiga, Ijaci (0,774) apresentou herdabilidade alta, enquanto os

outros locais foram classificados com uma herdabilidade moderada. Guimarães et al. (2010) avaliando híbridos de milho em múltiplos ambientes utilizando a análise de modelos mistos, apresentou herdabilidade média de 0,935 para a análise conjunta, apresentando valores de alta herdabilidade, e acima do valor obtido nesse estudo.

Em relação as estimativas das médias genotípicas preditas (μ BLUP), Lavras apresentou o maior valor para a produtividade de grãos (11,28) e altura de plantas (2,77). Em Ijaci, foram observados valores próximos aos de Lavras para a produtividade de grãos (10,42) e altura de plantas (2,76). Para à altura de espiga, esse ambiente apresentou a maior média, com 1,47. Em General Salgado, foram observadas as menores médias entre os ambientes para todas as características avaliadas: 5,5 para produtividade de grãos, 2,1 para altura de planta e 1,04 para altura de espiga (Tabela 2 do apêndice).

As médias genotípicas preditas (μ BLUP) dos híbridos e os respectivos intervalos de confiança para os caracteres avaliados são representados nas Figuras 2, 3 e 4, e os valores estão apresentados nas Tabelas 7, 8 e 9 do apêndice. Os híbridos demonstraram valores distintos para as μ BLUP entre os locais para todos os caracteres avaliados, indicando a influência do ambiente na expressão fenotípica dos híbridos. Para a produtividade, os híbridos com as melhores μ BLUP em Lavras foram os 26 (13,69), 18 (13,47), 20 (13,33) e 8 (13,06). Já em Ijaci, os híbridos 23 (11,45), 20 (11,07), 26 (11,05) e 15 (11,03) apresentaram os maiores valores. Em General Salgado, os melhores desempenhos foram observados nos híbridos 15 (7,90), 6 (7,28), 17 (7,25) e 14 (6,80) (Tabela 7 do apêndice e Figura 2). Essas estimativas permitem identificar híbridos com desempenho superior devido às suas características genéticas, minimizando a influência de fatores ambientais específicos e contribuindo para uma seleção mais eficiente de materiais com maior potencial de adaptação.

Figura 2 - Produtividade de grãos (t/ha) predita (μ BLUP) dos 28 híbridos de milho avaliados com base na análise individual para cada local.

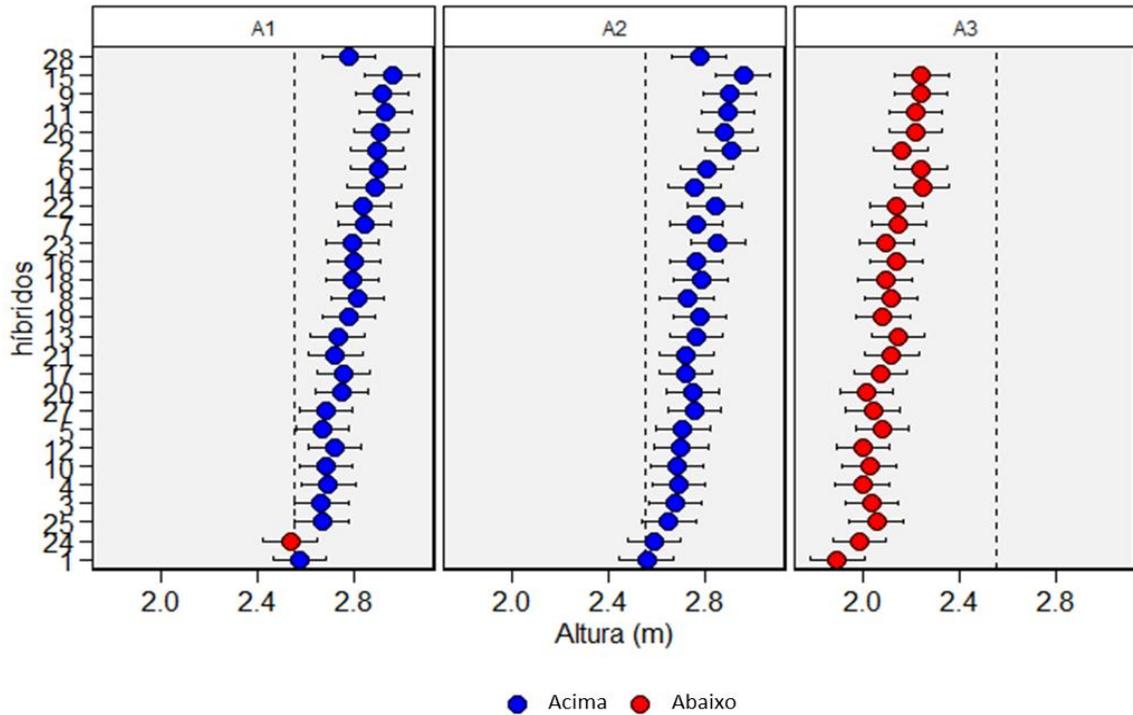


Legenda: A1 = Lavras – MG; A2 = Ijaci – MG; A3 = General Salgado – SP. Em azul estão os híbridos com valores acima da média geral dos três locais e em vermelho os de valores abaixo.

Fonte: Do autor (2024).

Para altura de planta, em Lavras, os valores variaram de 2,49 a 2,95 metros, sendo os maiores valores apresentados pelos híbridos 15 (2,95), 11 (2,94), 26 (2,91) e 6 (2,91) e os menores valores apresentados pelos híbridos 24 (2,49), 1 (2,6) e 5 (2,63). Em Ijaci, os valores ficaram entre 2,59 e 2,95, com os híbridos 15 (2,95), 2 (2,92), 23 (2,89) e 9 (2,88) apresentando os maiores valores e os híbridos 1 (2,59), 24 (2,62) e 25 (2,65) com os menores valores. Em General Salgado, o valor máximo foi de 2,25 e o mínimo de 1,95, com os maiores valores observados nos híbridos 14 (2,25), 6 (2,22), 9 (2,19), e os menores valores apresentados pelos híbridos 27 (1,95), 26, 25 e 24 (2,00) (Figura 3 e Tabela 8 do apêndice).

Figura 3 - Altura de planta (m) predita (μ BLUP) dos 28 híbridos de milho avaliados com base na análise individual para cada local.



Legenda: A1 = Lavras – MG; A2 = Ijaci – MG; A3 = General Salgado – SP. Em azul estão os híbridos com valores acima da média geral dos três locais e em vermelho os de valores abaixo.

Fonte: Do autor (2024).

Para altura de espiga, os maiores valores em Lavras foram de 1,54 (14), 1,53 (15), 1,53 (6) e 1,52 (2) e o menor foi de 1,34 (27, 5 e 10). Em Ijaci, o maior valor foi apresentado pelo híbrido 9 (1,62) e o menor pelo híbrido 1 (1,22). General salgado teve valor máximo de 1,13 (14) e mínimo de 0,94 (2) (Tabela 9 do apêndice e Figura 4).

As magnitudes da variância dos locais e da interação, podem ser explicadas pelo contraste das condições edafoclimáticas dos ambientes em que os experimentos foram conduzidos. A cidade de General Salgado fica localizado no noroeste do estado de São Paulo é classificado com o clima tropical pela classificação de Köppen, enquanto os municípios de Lavras e Ijaci, são ficam na região sul/sudeste de Minas Gerais, e estão classificados com o clima temperado úmido. Lavras e Ijaci, apresentaram maior volume pluviométrico (1282,2 mm) e chuvas distribuídas uniformemente, sem períodos de estiagem, permitindo o desenvolvimento das plantas sem restrições hídricas em nenhum de seus estádios. Situação adversa a que ocorreu em General Salgado, que além do menor índice pluviométrico (948,8 mm), apresentou chuvas irregulares em estádios críticos para a cultura, afetando o potencial produtivo (Figura 1). Essas diferenças climáticas ficaram evidentes durante o período dos experimentos conduzidos e influenciaram nos caracteres avaliados.

Outro parâmetro de relevância é o da variância genética (σ_g^2), que é um indicativo das diferenças genética dos genótipos avaliados. Nesse trabalho, a σ_g^2 entre os híbridos foram significativos ($P>0,01$; $P>0,05$) para as análises conjuntas de todos os caracteres avaliados (Tabelas 2 e 3 do apêndice). Esses resultados indicam que ocorrem diferenças genéticas entre os híbridos avaliados para todos os caracteres, o que permite a classificação e seleção dos híbridos para os todos os caracteres de interesse.

A classificação e seleção dos híbridos para todos os ambientes avaliados se torna complexa devido a variância dos locais e da interação GxA diferirem significativamente ($P>0,01$) para todos os caracteres avaliados, o que pode ser observado na variação do desempenho dos mesmos híbridos nos diferentes locais, constatando uma interação complexa dos híbridos com os locais (Tabela 3 e 10 do apêndice). Alternativas como a recomendação específica dos híbridos para cada local em que tiveram melhor desempenho ou de recomendação ampla de híbridos com bom desempenho e estabilidade para todos os locais, podem ser utilizadas para esse tipo de situação (Borém; Miranda; Fritsche-Neto, 2021; De Leon et al., 2016).

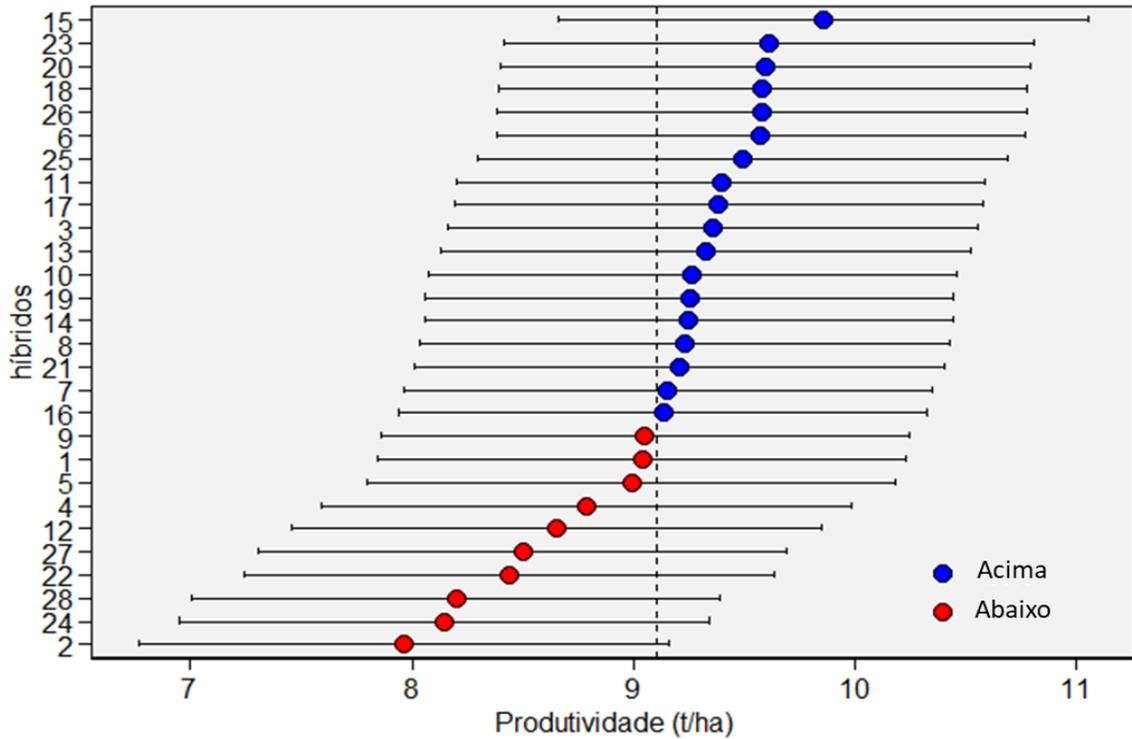
A herdabilidade para as características avaliadas variou entre 0,50 (produtividade de grãos) e 0,75 (altura de planta). Nota-se uma redução da herdabilidade da produtividade de grãos da análise conjunta, quando comparada com as análises de cada local. Essa redução pode ser explicada devido à magnitude da variância dos locais (9,79) e da variância da interação genótipo por local (1,236), sendo responsável por mais de 90% da variância fenotípica da

produtividade (Tabelas 2 e 3 do apêndice) (Gomes Squilassi, 2003). A presença da interação genótipo x ambiente (GxA) pode comprometer a precisão da estimativa da herdabilidade. Quando essa interação é intensa, a variação fenotípica observada nas plantas tende a ser mais influenciada por fatores ambientais do que por diferenças genéticas. Como resultado, a herdabilidade pode ser subestimada, uma vez que a variabilidade genética real da característica pode ser obscurecida pelas variações ambientais.

As médias genotípicas preditas (μ BLUP) dos híbridos e os respectivos intervalos de confiança para os caracteres avaliados são representados nas Figuras 5, 6 e 7 e os valores apresentados na Tabela 10 do apêndice. Para a produtividade de grãos, à média geral foi de 9,11 (t/ha), com 18 híbridos demonstrando valores acima da média. Os híbridos 15 (9,86), 23 (9,61), 20 (9,59), 18 (9,58), 26 (9,58) e 6 (9,58) apresentaram os maiores valores, enquanto os híbridos 22 (8,44), 28 (8,19), 24 (8,14) e 2 (7,97) apresentaram os menores (Figura 5 e Tabela 10 do apêndice).

A produtividade de grãos é uma característica quantitativa altamente influenciada pelas condições ambientais. O estresse hídrico nos estádios iniciais do milho no ambiente de General Salgado teve forte influência para a baixa produtividade do experimento, pois retardou o desenvolvimento vegetativo da cultura, ocasionando plantas com menor porte, área foliar e conseqüentemente menor área fotossintética (Paes; Von Pinho; Moreira, 2018). Sousa *et al.* (2015) avaliando genótipos de milho em condições de déficit hídrico, observou reduções de 59,5% na produtividade de grãos.

Figura 5 - Produtividade de grãos (t/ha) predita (μ BLUP) dos híbridos 28 híbridos de milho avaliados com base na análise conjunta.

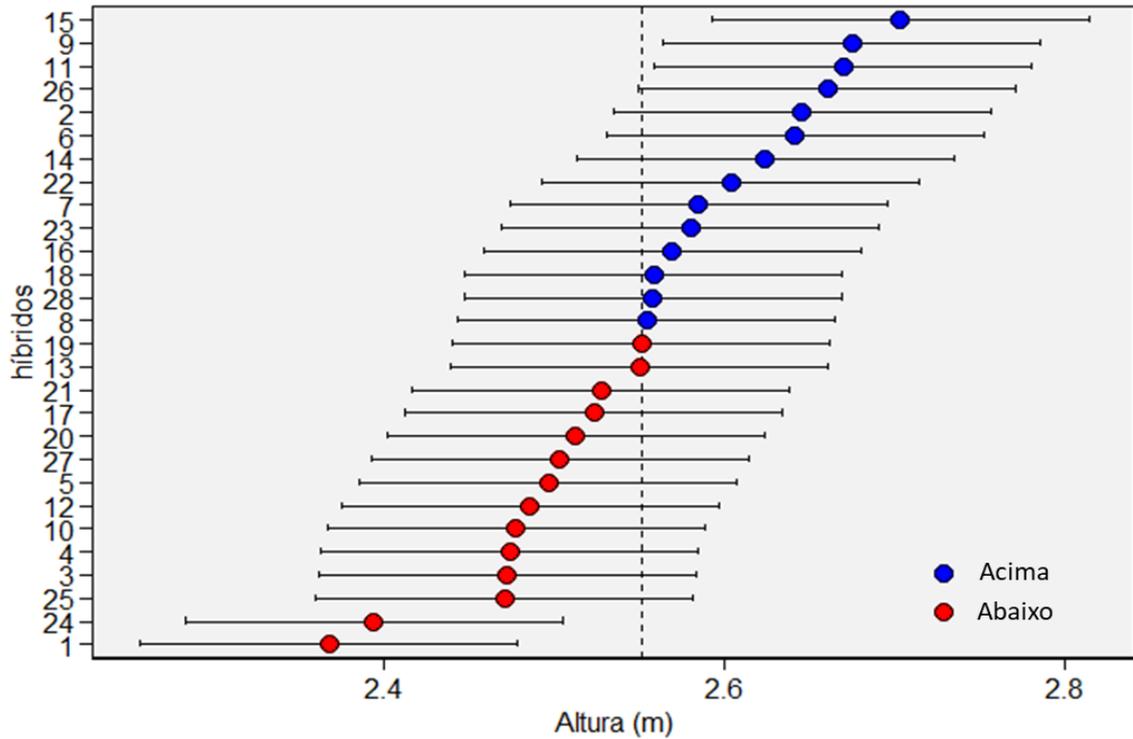


Legenda: Em azul estão os valores acima da média geral e em vermelho os valores abaixo da média geral. As barras de erro horizontais representam o intervalo de confiança de 95% de previsão considerando um teste *t* bicaudal.

Fonte: Do autor (2024).

Para a altura de planta, a média geral foi de 2,55 (m), com 14 híbridos apresentando valores superiores. As maiores μ BLUP foram observadas nos híbridos 15 (2,70), 9 (2,67), 11 (2,67), 26 (2,66), 2 (2,64) e 6 (2,64), enquanto os híbridos 24 (2,39) e 1 (2,37) apresentaram as menores médias (Tabela 9 do apêndice e Figura 6).

Figura 6 - Altura de planta (m) predita (μ BLUP) dos híbridos 28 híbridos de milho avaliados com base na análise conjunta.

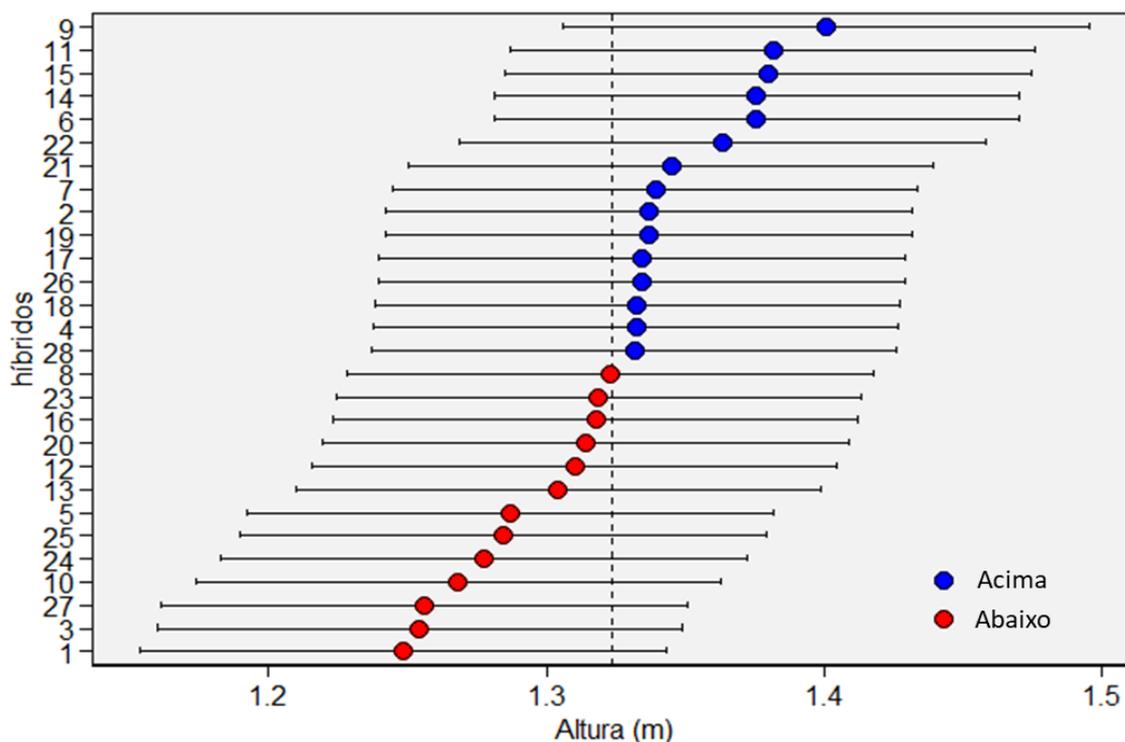


Legenda: Em azul estão os valores acima da média geral e em vermelho os valores abaixo da média geral. As barras de erro horizontais representam o intervalo de confiança de 95% de previsão considerando um teste t bicaudal.

Fonte: Do autor (2024).

Para a altura de espiga, a estimativa da média genotípica predita foi de 1,32 (m), com 15 híbridos obtendo valores acima da média. Os híbridos 9 (1,4), 11 (1,38), 15 (1,308), 14 (1,38) e 6 (1,38) apresentaram os maiores valores e os híbridos 1 (1,25), 3 (1,25), 27 (1,26) e 10 (1,27) os menores valores (Tabela 10 do apêndice e Figura 7). Em todos os ambientes, grande parte dos híbridos apresentaram altura de espiga dentro da faixa requerida para colheita mecanizada e que não influenciem no acamamento das plantas.

Figura 7 - Altura de espiga (m) predita (μ BLUP) dos 28 híbridos de milho avaliados com base na análise conjunta.



Legenda: Em azul estão os valores acima da média geral e em vermelho os valores abaixo da média geral. As barras de erro horizontais representam o intervalo de confiança de 95% de previsão considerando um teste t bicaudal.

Fonte: Do autor (2024).

A altura de planta e altura de espiga são caracteres morfológicos de grande relevância e podem auxiliar no aumento da produtividade de grãos, os programas de melhoramento visam a obtenção de híbridos de menor porte e arquitetura foliar ereta, que permitem maior população de plantas e menores taxas de plantas acamadas por hectare (Li et al., 2016). No caso de híbridos voltados para produção de silagem ou dupla aptidão (grão/silagem), são desenvolvidos híbridos de maior estatura, com maior produção de massa e alto potencial produtivo de grãos. Alturas de espiga entre 0,8 – 1,5 metros são as mais requeridas para os híbridos por permitirem maior eficiência na colheita mecânica, alturas acima 1,50 metros podem contribuir para o acamamento das plantas (Cruz et al., 2006; Paes; Von Pinho; Moreira, 2018).

4.3 Índice WAASB

A estabilidade dos híbridos nos locais de Lavras – MG, Ijaci – MG e General Salgado – SP foram analisadas com base na metodologia WAASB para os caracteres de produtividade

de grãos (t/ha), altura de planta (m) e altura de espiga (cm). Os valores e ordenamento dos híbridos estão apresentados na Tabela 4 do apêndice.

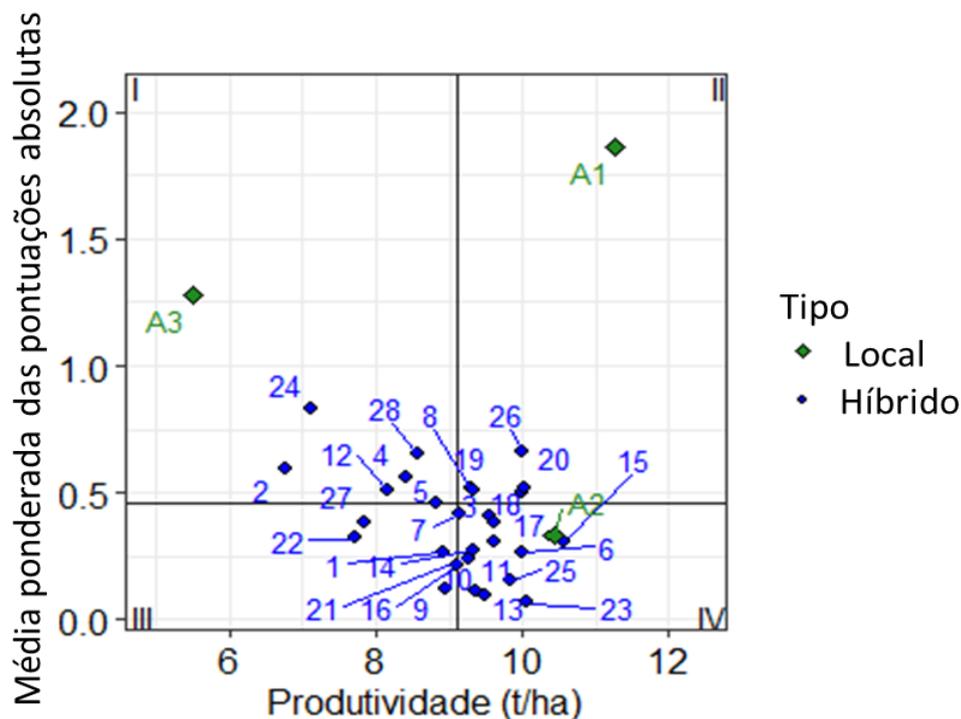
De acordo com o índice WAASB, os híbridos 23 (0,07), 13 (0,099), 10 (0,11), 9 (0,12) e 25 (0,15), apresentaram maior estabilidade para o carácter produtividade de grãos. Em contrapartida, os híbridos 24 (0,83), 26 (0,66), 28 (0,65), 2 (0,6) e 4 (0,57), apresentaram as menores estabilidade para o carácter. Essa baixa estabilidade pode indicar que esses híbridos possuem boa produtividade em ambientes específicos, mas são sensíveis a variações ambientais.

Para a altura de planta, os híbridos 1 (0,009), 10 (0,014), 28 (0,014), 17 (0,018) e 9 (0,02) foram os mais estáveis, enquanto os híbridos 2 (0,11), 23 (0,12), 6 (0,12), 24 (0,14) e 14 (0,18), foram os menos estáveis. Em relação à altura de espiga, os híbridos mais estáveis foram os 17 (0,02), 18 (0,023), 26 (0,024), 16 (0,025) e 8 (0,026), e menos estáveis os 25 (0,14), 20 (0,14), 1 (0,15), 2 (0,16) e 24 (0,19).

As Figuras 8, 9 e 10, são *biplots* que permitem identificar os híbridos instáveis e com desempenho abaixo da média geral, os híbridos instáveis e com desempenho acima da média geral, os híbridos estáveis e com desempenho abaixo da média geral e os híbridos estáveis e com desempenho acima da média geral, para os caracteres avaliados de forma individual.

Para a produtividade de grãos, os híbridos 24, 2, 28, 4 e 12 estão no quadrante I que apresentam o grupo de híbridos menos estáveis e de baixa produtividade. Já os híbridos 26, 20, 8, 19 e 18 compõem o grupo do quadrante II, que apresentam os híbridos instáveis, porém, com produtividade acima da média. O quadrante III, apresenta o grupo de híbridos estáveis e com produtividade inferior à média, esse grupo é composto pelos híbridos 22, 27, 5, 14 e 9. O quadrante IV, apresenta o grupo dos híbridos estáveis e de produtividade de grãos acima da média, sendo composto pelos híbridos 15, 23, 6, 25, 11, 17, 3, 13, 10, 14, 21, 7, 16 (Figura 8). Nota-se que o ambiente 2 foi o que melhor permitiu a discriminação dos híbridos mais estáveis.

Figura 8 - *Biplot* da produtividade de grãos (t/ha) versus WAASB dos 28 híbridos de milho avaliados em 3 locais.

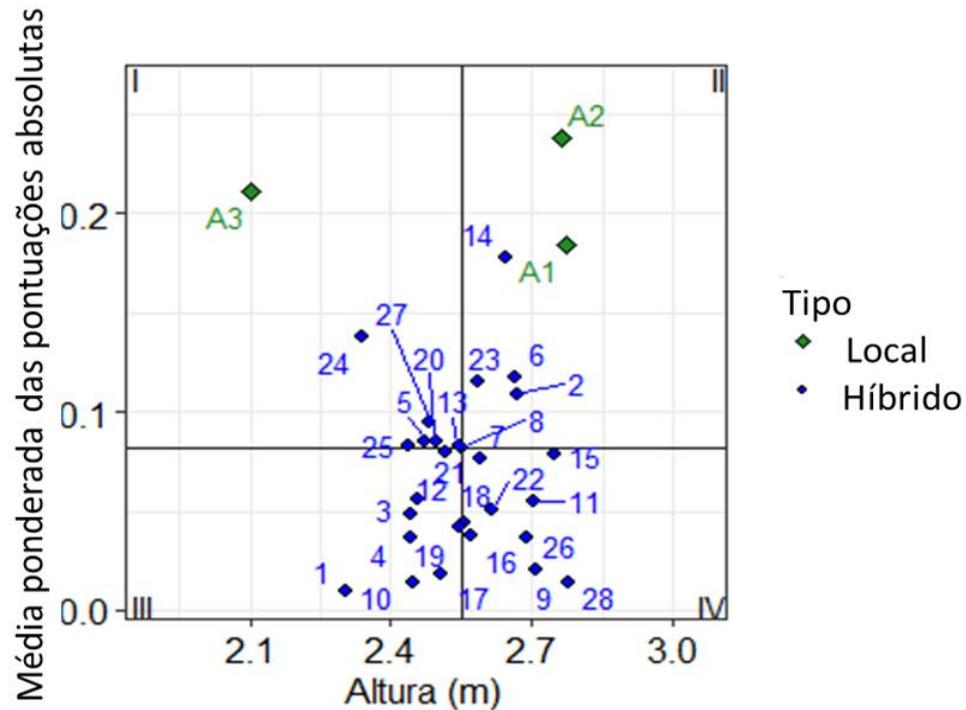


Legenda: I = quadrante dos híbridos e locais com desempenho abaixo da média e menor estabilidade; II = quadrante dos híbridos com desempenho acima da média e menor estabilidade; III = quadrante dos híbridos e locais com desempenho abaixo da média e maior estabilidade; IV = quadrante dos híbridos e locais com desempenho acima da média e maior estabilidade. A1 = Lavras – MG; A2 = Ijaci – MG; A3 = General Salgado – SP. Híbridos = 1, 2, 3..., 28.

Fonte: Do autor (2024).

Em relação à altura de planta, o grupo de baixa estabilidade e desempenho acima da média é composto pelos híbridos 24, 27, 20, 5, 25 e 13. Os híbridos do grupo menos estáveis e baixo desempenho são os 1, 10, 4, 19, 3, 12 e 21. Já os híbridos 14, 23, 6 e 2 compõem o grupo dos instáveis e altura de planta acima da média. Os híbridos que fazem parte do grupo de maior estabilidade e desempenho acima da média foram os 15, 9, 11, 26, 22, 7, 16, 18 e 28. (Figura 9).

Figura 9 - *Biplot* da altura de planta (m) versus WAASB dos 28 híbridos de milho avaliados em 3 locais.

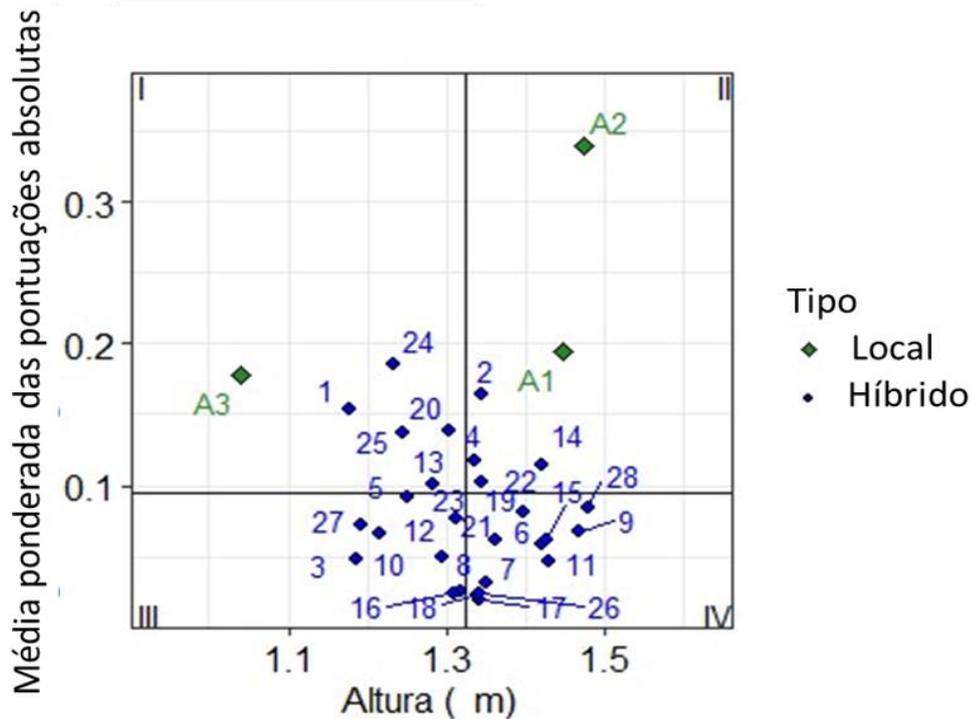


Legenda: I = quadrante dos híbridos e locais com desempenho abaixo da média e menor estabilidade; II = quadrante dos híbridos com desempenho acima da média e menor estabilidade; III = quadrante dos híbridos e locais com desempenho abaixo da média e maior estabilidade; IV = quadrante dos híbridos e locais com desempenho acima da média e maior estabilidade. A1 = Lavras – MG; A2 = Ijaci – MG; A3 = General Salgado – SP. Híbridos = 1, 2, 3..., 28.

Fonte: Do autor (2024).

Para a altura de espigas, os híbridos que fazem parte do grupo de maior estabilidade e altura acima da média foram os 9, 11, 15, 6, 21, 7, 19, 17, 26, 18, e 28. O grupo de baixa estabilidade e desempenho abaixo da média é formado pelos híbridos 3, 27, 12, 10, 8, 23, 5 e 16. Os híbridos do grupo menos estáveis e altura acima da média são os 1, 24, 20, 25 e 13. Já os híbridos 2, 4, 14 e 22 compõem o grupo dos instáveis e altura de espiga acima da média. (Figura 10).

Figura 10 - *Biplot* da altura de espiga (m) versus WAASB dos 28 híbridos de milho avaliados em 3 locais.



Legenda: I = quadrante dos híbridos e locais com desempenho abaixo da média e menor estabilidade; II = quadrante dos híbridos com desempenho acima da média e menor estabilidade; III = quadrante dos híbridos e locais com desempenho abaixo da média e maior estabilidade; IV = quadrante dos híbridos e locais com desempenho acima da média e maior estabilidade. A1 = Lavras – MG; A2 = Ijaci – MG; A3 = General Salgado – SP. Híbridos = 1, 2, 3..., 28.

Fonte: Do autor (2024).

A metodologia WAASB permitiu uma classificação detalhada dos híbridos, separando os que combinam alta estabilidade e desempenho superior dos que possuem baixa estabilidade e produtividade reduzida. Apesar de sua introdução recente no melhoramento de milho (Olivoto et al., 2019a), estudos já demonstram sua eficácia. Boa et al. (2023), ao avaliar a estabilidade da produtividade em cultivares de milho em Moçambique, utilizou o WAASB para recomendar genótipos mais estáveis para cultivo no estado de Vilankulo, obtendo sucesso na indicação de uma cultivar. Carvalho et al. (2023) aplicaram esse índice na avaliação de híbridos triplos em diferentes estados do Brasil, fornecendo informações sobre a estabilidade de diferentes híbridos, além de permitir a recomendação de 7 novos híbridos mais estáveis e com bom desempenho para cultivo em Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso. Além do milho, o índice WAASB tem sido utilizado em estudos com batata-doce (Silva et al., 2024) e soja (Nataraj et al., 2021) para análise da adaptabilidade e estabilidade de genótipos.

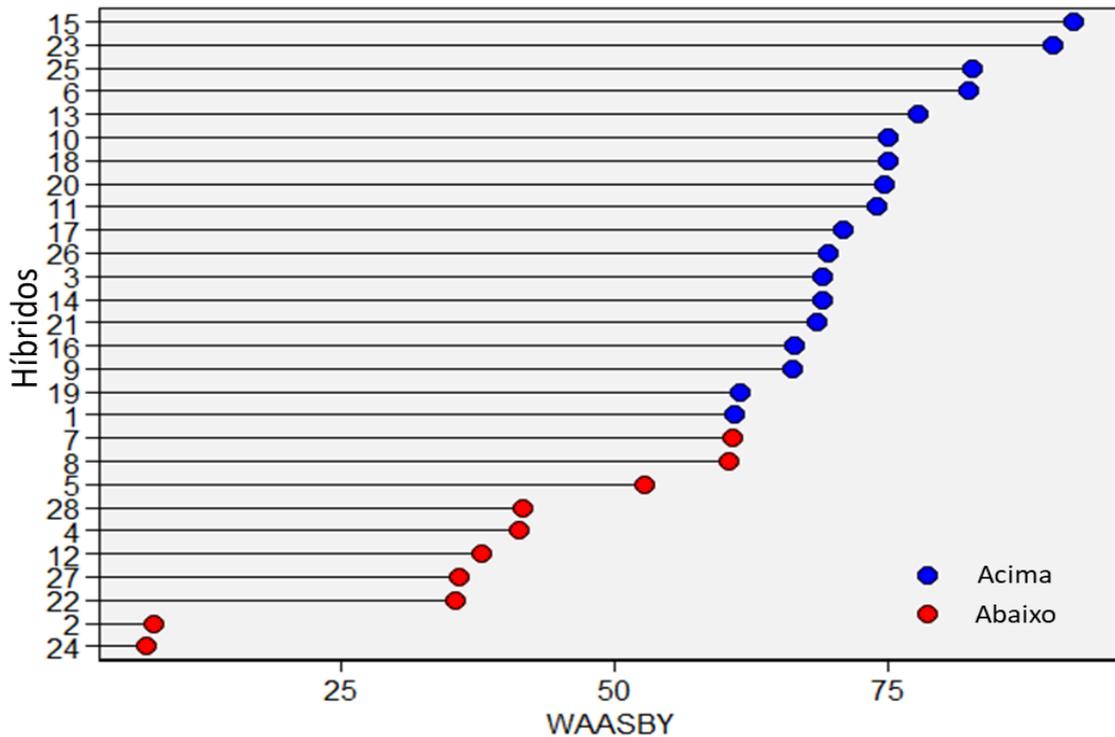
Os resultados deste estudo reforçam a utilidade do WAASB na seleção de híbridos superiores, permitindo decisões mais assertivas no posicionamento de cultivares em diferentes ambientes. A presença de híbridos com alta estabilidade e produtividade acima da média sugere que esses materiais podem ser recomendados para regiões com maior variabilidade ambiental, garantindo maior previsibilidade do desempenho agrônômico. Por outro lado, híbridos menos estáveis podem ser mais bem aproveitados em ambientes específicos, onde apresentam produtividade satisfatória. Esses achados contribuem para a otimização da recomendação de cultivares e para um manejo mais eficiente dos recursos genéticos disponíveis.

4.4 Índice WAASBY

O índice WAASBY possibilitou a classificação e seleção dos híbridos ponderando a estabilidade e o desempenho médio do carácter. As figuras 11, 12 e 13 fornecem a classificação dos híbridos de acordo com o WAASBY para os caracteres avaliados, os valores do índice está presente na tabela 5 do apêndice.

Para a produtividade de grãos, foram identificados 17 híbridos com pontuação WAASBY acima de 61, sendo os híbridos 15 (92,04), 23 (90,22), 25 (82,78) e 6 (82,41) os de maiores pontuações. Já os híbridos 12 (37,85), 27 (35,68), 22 (35,45), 2 (7,67) e 24 (7,09) tiveram as menores pontuações (Tabela 5 e Figura 11).

Figura 11 - Ordem dos híbridos de acordo com o índice WAASBY para os 28 híbridos avaliados considerando os pesos de 75 para a produtividade de grãos (t/ha) e 25 para estabilidade.

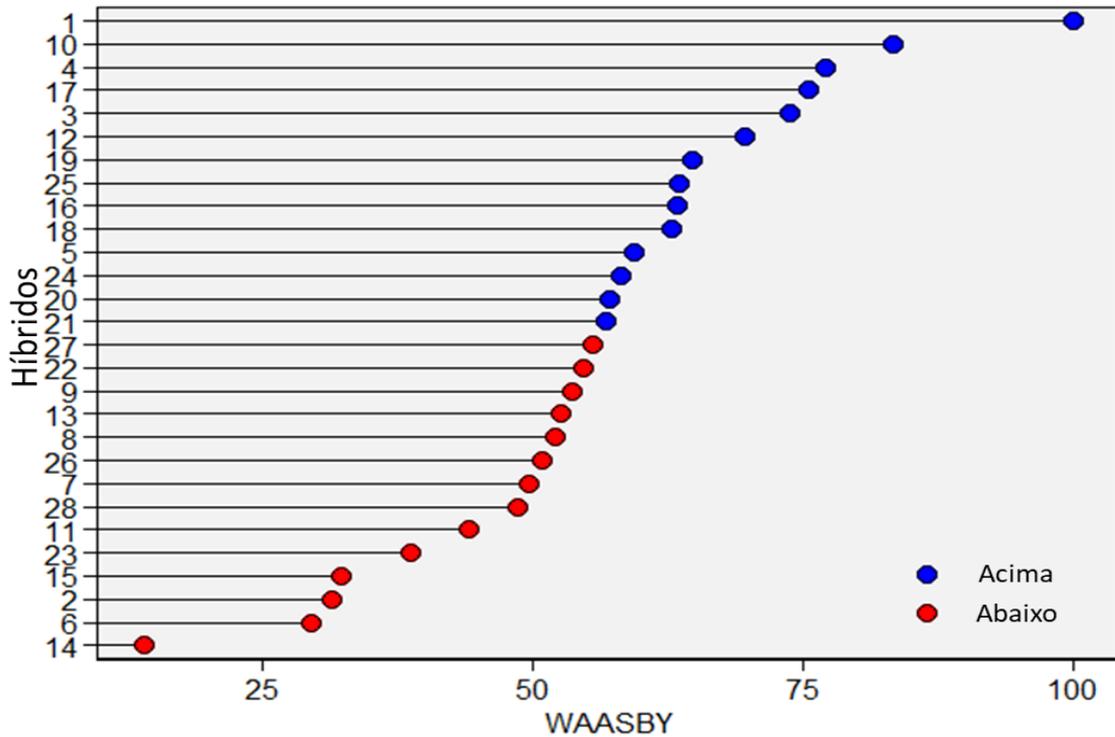


Legenda: Em azul estão os híbridos com pontuação WAASBY acima de 61 e em vermelho os com pontuação abaixo desse valor.

Fonte: Do autor (2024).

O índice WAASBY, para altura de planta, identificou 14 híbridos com pontuação acima de 56, sendo os híbridos 1 (100), 10 (83,27) e 4 (77,04) os de maiores pontuações e os híbridos 14 (14,17), 6 (29,53), 2 (31,50) e 15 (32,42) (Tabela 5 do apêndice e Figura 12).

Figura 12 - Ordem dos híbridos de acordo com o índice WAASBY para os 28 híbridos avaliados considerando os pesos de 50 para à altura de planta (m) e 50 para estabilidade.

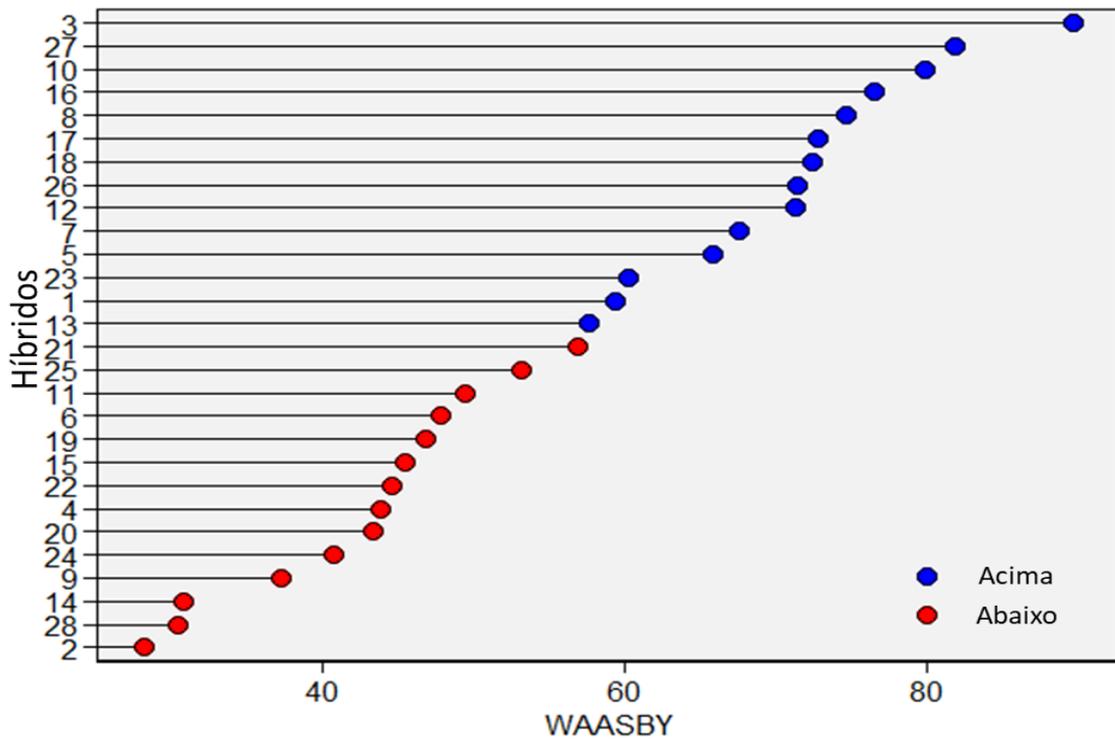


Legenda: Em azul estão os híbridos com pontuação WAASBY acima de 56 e em vermelho os com pontuação abaixo desse valor.

Fonte: Do autor (2024).

Para à altura de espiga, 15 híbridos foram selecionados com pontuação WAASBY acima de 57, sendo os híbridos 3 (89,67), 27 (81,82) e 10 (79,85) os de maiores pontuações e os híbridos 2 (28,28), 28 (30,51), 14 (30,82) e 9 (37,34) (Tabela 5 do apêndice e Figura 13).

Figura 13 - Ordem dos híbridos de acordo com o índice WAASBY para os 28 híbridos avaliados considerando os pesos de 50 para a altura de espiga (m) e 50 para estabilidade.



Legenda: Em azul estão os híbridos com pontuação WAASBY acima de 57 e em vermelho os com pontuação abaixo desse valor.

Fonte: Do autor (2024).

O índice WAASBY permitiu a classificação e seleção dos híbridos conforme os pesos atribuídos ao desempenho médio e à estabilidade. Diferentes estudos demonstram que a atribuição desses pesos pode variar conforme os objetivos do programa de melhoramento. Carvalho et al. (2023), ao utilizar o WAASBY para avaliar híbridos de milho, atribuiu pesos de 60% ao desempenho médio e 40% à estabilidade. Já Shiri et al. (2024), buscando selecionar híbridos com alto desempenho e elevada estabilidade, optou por uma distribuição equilibrada de 50% para cada componente. Segundo Olivoto et al. (2019a), a proporção ideal entre desempenho e estabilidade depende dos objetivos do estudo, podendo ser ajustada para priorizar características específicas.

Neste trabalho, a ênfase foi na identificação de híbridos mais produtivos, mas que também apresentassem moderada estabilidade. Por isso, foi adotado um peso maior para a produtividade de grãos e menor para a estabilidade. Para altura de planta e altura de espiga, foi mantida uma distribuição equilibrada de 50% para cada fator, garantindo uma seleção que considera tanto o desempenho absoluto quanto a estabilidade ao longo dos diferentes ambientes.

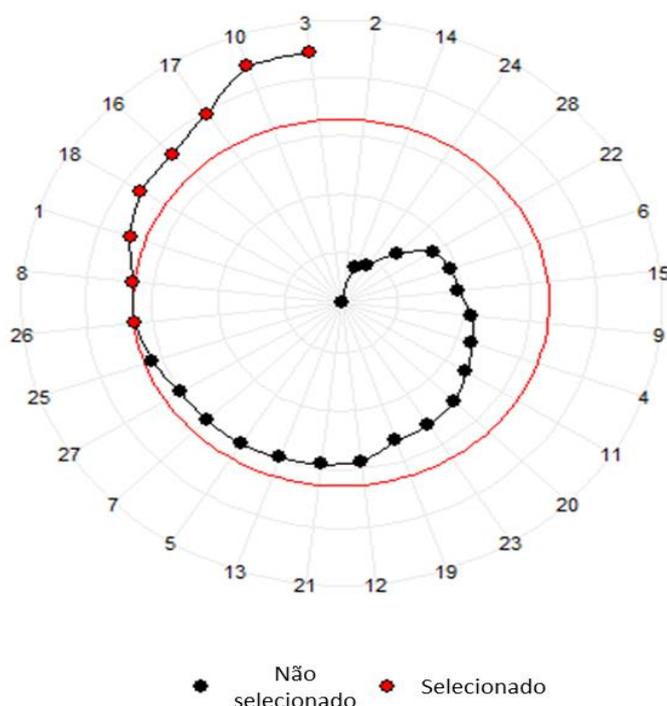
Os resultados indicam que os híbridos 15, 23, 25 e 6, que apresentaram as maiores pontuações WAASBY para produtividade de grãos, combinam alto rendimento e estabilidade, tornando-se candidatos promissores para recomendação em diferentes ambientes. Em contrapartida, os híbridos com menor pontuação WAASBY demonstraram limitações quanto à estabilidade ou desempenho absoluto, o que pode restringir sua recomendação para regiões específicas.

4.5 Índice MTSI

O índice MTSI classificou e selecionou os híbridos de forma simultânea para estabilidade e desempenho de todos os caracteres avaliados. Os valores do índice se encontram na tabela 6 do apêndice.

As pontuações do índice MTSI de acordo com os pesos atribuídos ao desempenho médio e estabilidade de cada carácter, variaram de 1,56 até 5,86. Sendo os híbridos 3 (1,56), 10 (1,58), 17 (2,05), 16 (2,27), 18 (2,29), 1 (2,48), 8 (2,71) e 26 os que mais se aproximam do ideótipo para esses híbridos e que foram selecionados a partir de uma intensidade de seleção de 25% (Tabela 6 do apêndice e Figura 14).

Figura 14 - Ordem pelo índice MTSI dos 28 híbridos avaliados.



Legenda: Em vermelho estão os híbridos selecionados e em preto os híbridos não selecionados. Híbridos = 1, 2, 3 ..., 28.

Fonte: Do autor (2024).

O índice MTSI permitiu a classificação e seleção simultânea dos híbridos, considerando estabilidade e desempenho para todas as características avaliadas. Os valores do índice estão apresentados na Tabela 6 do apêndice. As pontuações variaram de 1,56 a 5,86, sendo que os híbridos 3 (1,56), 10 (1,58), 17 (2,05), 16 (2,27), 18 (2,29), 1 (2,48), 8 (2,71) e 26 (2,74) foram os que mais se aproximaram do ideótipo desejado. Esses híbridos foram selecionados com uma intensidade de 30% (Tabela 6 do apêndice e Figura 14).

A principal vantagem do índice MTSI está na possibilidade de selecionar híbridos equilibrados, combinando alto desempenho produtivo com estabilidade para múltiplos caracteres. Neste estudo, a seleção foi orientada para priorizar híbridos produtivos, mas que também apresentassem estabilidade moderada e níveis desejáveis para altura de planta e espiga.

A escolha dos pesos reflete a estratégia do programa de melhoramento, onde o foco principal é maximizar a produtividade de grãos, mas sem comprometer características estruturais das plantas, que impactam diretamente na colheita e no manejo. Em estudos anteriores, Olivoto et al. (2021), ao utilizar o índice MTSI na seleção de híbridos simples de milho, relataram maiores ganhos de seleção para todos os caracteres, destacando a relevância

dessa metodologia para programas de melhoramento genético. Além disso, o índice MTSI tem sido aplicado em diversas culturas, como observado em trabalhos recentes com trigo, batata-doce e sorgo (Al-Ashkar et al., 2023; Boa et al., 2023; Sellami; Pulvento; Lavini, 2021), evidenciando sua versatilidade e potencial para melhoramento para múltiplas características.

Os híbridos que apresentaram maior produtividade e estabilidade neste estudo representam candidatos promissores para testes em maior escala e avaliações em novas regiões, possibilitando uma validação mais ampla de seu desempenho em diferentes condições edafoclimáticas. Estudos futuros poderão incluir características agronômicas adicionais, como resistência a estresses bióticos e abióticos, eficiência no uso de nutrientes e qualidade de grãos, ampliando a base de informações para a recomendação de cultivares mais adaptadas e produtivas.

5 CONCLUSÕES

Os híbridos avaliados têm um elevado potencial para todos os caracteres agronômicos analisados, com destaque para a produtividade de grãos. Os resultados indicam que uma parte significativa dos híbridos apresentam características promissoras que podem torná-los candidatos ideais para uso como cultivares comerciais.

Lavras e Ijaci se destacaram como locais com condições ideais para o desenvolvimento dos híbridos, oferecendo um ambiente mais favorável ao crescimento e produtividade. Em contraste, General Salgado apresentou desafios significativos. A recomendação para esta região inclui o ajuste na época de plantio para mitigar os riscos associados a condições climáticas adversas.

A aplicação dos índices WAASB, WAASBY e MSTI foram eficientes para avaliar a performance dos híbridos. Os híbridos identificados com melhores índices de estabilidade e desempenho superior à média revelam um grande potencial para oferecer resultados consistentes em diferentes condições. Os híbridos 3 e 10, em particular, destacam-se como os mais recomendados para todos os ambientes estudados.

REFERÊNCIAS

- AL-ASHKAR, I. et al. Detection of high-performance wheat genotypes and genetic stability to determine complex interplay between genotypes and environments. **Agronomy**, v. 13, n. 2, 1 fev. 2023.
- ALVES LACERDA, V. et al. **Avaliação do desempenho agronômico de híbridos de milho na safrinha da região centro-sul do Brasil via modelos mistos**. SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA PIBIC/CNPq. **Anais...Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo**, 2021.
- ANNICCHIARICO, P. **Genotype x environment interactions: challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations**. Rome: Food and Agriculture Organization, Plant Production and Protection Paper, n° 174, 2002.
- BERNARDO, R. (2010). **Breeding for quantitative traits in plants**. 2nd Edition, Stemma Press, Woodbury.
- BOA, A. F. et al. Interação cultivar x ambiente e estabilidade em cultivares de milho (*Zea mays* L.) de baixo custo. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 12, p. e06121243806, 8 nov. 2023.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de plantas**. 8. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2021.
- BRUMMEL, D.; GIBSON; L. **A brief history of corn - from domestication to 1995**. Pioneer, 19 dez. 2022. Disponível em: https://www.pioneer.com/us/agronomy/domestication-ofcorn.html?cid=mkch:sem_mktp:gsh_ctry:us_brnd:phi_agny:IHA_cpil:CPN-24_cpno:104286_cpds:pio-agronomy-dynamic-sem_. Acesso em: 5 jul. 2024.
- CARVALHO, T. B. et al. **Performance e estabilidade de híbridos triplos de milho da UFV pelo índice WAASBY**. XIV SIGM INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GENETICS AND BREEDING. **Anais...2023**. Disponível em: <https://proceedings.science/p/177726?lang=pt-br> Acesso em: 5 jul. 2024.
- COÊLHO, J. D. **Milho: produção e mercados**. ETENE - ESCRITÓRIO DE ESTUDOS ECONÔMICOS DO NORDESTE, , dez. 2021. (Nota técnica).
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Brasília, DF: CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2023. v. 11, safra 23/24, n.3
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília, DF: CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2024. v. 11, safra 23/24, n.9
- CROW, J. F. **Perspectives anecdotal, historical and critical commentaries on genetics 90 years ago: the beginning of hybrid maize**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://academic.oup.com/genetics/article/148/3/923/6034434>.

CRUZ, J. C. et al. **Manejo da cultura do milho**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, , dez. 2006. (Nota técnica).

DE LEON, N. et al. Introduction to a special issue on genotype by environment interaction. **Crop Science**, v. 56, n. 5, p. 2081–2089, 1 set. 2016.

DEON VILELA DE RESENDE, M.; SILVA ALVES, R. Linear, generalized, hierarchical, bayesian and random regression mixed models in genetics/genomics in plant breeding. **Functional Plant Breeding Journal**, v. 2, n. 2, p. 1–31, 16 out. 2020.

DOS SANTOS, V. B. et al. Seleção genotípica de variedades de milho via metodologia de modelos mistos. **SCIENTIA NATURALIS**, n. 1, p. 133–147, 2021.

DUARTE, J. B.; VENCOVSKY, R. Estimacão e predico por modelo linear misto com ênfase na ordenaco de médias de tratamentos genéticos. Piracicaba, SP: , 2001. (Nota técnica).

FILHO, A. B. et al. **Uma história brasileira do milho - o valor dos recursos genéticos**. Brasília, DF: Paralelo 15, 2000.

FRITSCHÉ-NETO, R.; MÔRO, G. V. Escolha do cultivar  determinante e deve considerar toda informaco disponível. *In*: MASSOLA JÚNIOR, N. S. (ed.). **Visão agrícola: milho; Brasil amplia cultivo para atender demanda crescente**. Piracicaba – SP: ESALQ, 2015. p. 12-15.

FRITSCHÉ-NETO, R. et al. Atualizaco da proposta de classificaco dos coeficientes de variacão para a cultura do milho. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 34, n. 1, p. 99–101, 2012.

GALVÃO, J. C. C.; BORÉM, A.; PIMENTEL, M. A. (EDS.). **Milho: do plantio a colheita**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2017.

GOMES SQUILASSI, M. **Interao de genótipos com ambientes**. Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2003.

GONÇALVES, M. C.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Biometria no melhoramento de plantas**. [s.l: s.n.].

GUIMARÃES, L. J. M. et al. **Avaliaco de híbridos de milho em múltiplos ensaios utilizando modelos mistos**. XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo. **Anais...**Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2010.

HENDERSON, C. R.. Applications of linear models in animal breeding. **Agricultural and Food Sciences**, 1984.

HUTCHINS, C.; WILLIAMS, A.; LIEFERT, O. **Feed Outlook: February 2023**. [s.l: s.n.].
JONES, D. F. The effect of inbreeding and crossbreeding upon development. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 4, n. 8, p. 246–250, 12 jun. 1918.

- LI, X. et al. Combined linkage and association mapping reveals QTL and candidate genes for plant and ear height in maize. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. JUNE2016, 15 jun. 2016.
- MACHADO, J. R. A. et al. Adaptabilidade e Estabilidade de Híbridos de Milho para Região Subtropical Via Modelos Mistos. **Embrapa Milho e Sorgo**, 2010.
- NATARAJ, V. et al. WAASB-based stability analysis and simultaneous selection for grain yield and early maturity in soybean. **Agronomy Journal**, v. 113, n. 4, p. 3089–3099, 1 jul. 2021.
- NELSON, O. E. **A Notable Triumvirate of Maize Geneticists**. [s.l.: s.n.].
- OLIVOTO, T. et al. Mean performance and stability in multi-environment trials i: Combining features of AMMI and BLUP techniques. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 6, p. 2949–2960, 1 nov. 2019a.
- OLIVOTO, T. et al. Mean performance and stability in multi-environment trials II: Selection based on multiple traits. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 6, p. 2961–2969, 1 nov. 2019b.
- OLIVOTO, T. et al. Multi-trait selection for mean performance and stability in maize. **Agronomy Journal**, v. 113, n. 5, p. 3968–3974, 1 set. 2021.
- OLIVOTO, T.; LÚCIO, A. D. C. metan: An R package for multi-environment trial analysis. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 11, n. 6, p. 783–789, 1 jun. 2020.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **População mundial chegará a 9,9 bilhões em 2054**. ONU News, 29 abr. 2024. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2024/04/1830966>. Acesso em: 26 jun. 2024.
- PAES, M. C. D.; VON PINHO, R. G.; MOREIRA, S. G. (EDS.). **Livro de Palestras: Soluções integradas para os sistemas de produção de milho e sorgo no Brasil**. Sete Lagoas, MG: Associação Brasileira de Milho Sorgo, 2018.
- PEREIRA FILHO, I. A. (ED.). **Cultivo do milho**. 9. ed. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2015.
- PEREIRA FILHO, I. A.; BORGHI, E. **Cultivares de milho para safra 2022/2023**. 2022.
- PIEPHO, H. P.; BÜCHSE, A.; EMRICH, K. A hitchhiker's guide to mixed models for randomized experiments. **Journal of Agronomy and Crop Science**, 194(3), p. 134-147, 2008.
- R Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. 2024.

RAMALHO, M. A. P.; NUNES, J. A. R.; PÁDUA, J. M. V.; TOLEDO, F. H. B. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. 2. ed. Lavras – MG: Editora UFLA, 2024.

REPKE, R. A. et al. **Altura de planta, altura de inserção de espiga e número de plantas acamadas de cinco híbridos de milho**. XXIX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO. **Anais...**2012.

RESENDE, M. D. V. DE. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Embrapa Florestas ed. [s.l: s.n.].

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

SCAPIM, C. A.; CARVALHO, G. P.; CRUZ, C. D. Uma proposta de classificação dos coeficientes de variação para acultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, p. 683–686, maio 1995.

SELLAMI, M. H.; PULVENTO, C.; LAVINI, A. Selection of suitable genotypes of lentil (*Lens culinaris* Medik.) under rainfed conditions in south Italy using multi-trait stability index (MTSI). **Agronomy**, v. 11, n. 9, 1 set. 2021.

SHIRI, M. et al. Determining the Stability of New Maize Hybrids with WAASBY and MTSI Indices. **Journal of Crop Breeding**, v. 16, n. 2, p. 14–28, 1 jun. 2024.

SHULL, G. H. The composition of a field of maize. **Journal of Heredity**, v. 4, n. 1, p. 296–301, jan. 1908.

SHULL, GEORGE. HARRISON. A pure-line method in corn breeding. **Journal of Heredity**, n. 1, p. 51–59, 1909.

SILVA, G. O. et al. Adaptability and stability of purple-fleshed sweetpotato genotypes in producing regions of Brazil using the AMMI and WAASB methodologies. **Horticultura Brasileira**, v. 42, 2024.

SILVEIRA, D. L. et al. Adaptability and stability of grain yield and maize tassel traits. **Ciência Rural**, v. 54, n. 9, 2024.

SOUSA, R. S. et al. Desempenho Produtivo de Genótipos de Milho Sob Déficit Hídrico. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 14, n. 1, p. 49–60, 30 abr. 2015.

SOUZA, E. M. S. **Adaptabilidade e estabilidade de híbridos de milho (zea mays l.) via modelos mistos e análise gráfica**. Lavras, MG: Universidade Federal de Lavras, 2021.

USDA. **World agriculture production**. USDA/NASS QuickStats Ad-hoc Query Tool. United States Department of Agriculture, [s. d.]. Disponível em: https://quickstats.nass.usda.gov/results/8B39A57F-5821-3057-9BF3-3F892B41D5D4?pivot=short_desc. Acesso em: 5 jul. 2024.

VAZ MELO, A. et al. **Desempenho agronômico de genótipos de milho submetidos ao estresse hídrico no sul do estado do Tocantins**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.abms.org.br>>. Acesso em: 5 jul. 2024.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. Genética biométrica no fitomelhoramento. Ribeirão Preto: **Revista Brasileira de Genética**, 1992.

VISSCHER, P. M.; HILL, W. G.; WRAY, N. R. Heritability in the genomics era - Concepts and misconceptions. **Nature Reviews Genetics**, abr. 2008.

APÊNDICE A – Tabelas expositivas dos resultados obtidos

Tabela 3 – Estimativas dos componentes de variância genética (σ_g^2), variância do erro (σ_e^2), herdabilidade no sentido amplo (h_g^2), herdabilidade no sentido amplo (h_g^2), média genotípica predita ($\mu BLUP$), variância do erro de predição (PEV), acurácia seletiva ($r\hat{g}g$), coeficiente de variância genética ($CV_g(\%)$) e coeficiente de variância experimental ($CV_e(\%)$). (continua).

CARÁTER	PARÂMETRO	LOCAL		
		LAVRAS	IJACI	G. SALGADO
PROD ¹	σ_g^2	3,153***	0,339*	1,635***
	σ_e^2	0,7696	0,904	0,1884
	h_g^2	0,9248	0,5292	0,963
	$\mu BLUP$	11,2754	10,4236	5,4957
	PEV	0,237501	0,159537	0,060577
	$r\hat{g}g$	0,9616	0,727	0,9813
	$CV_g(\%)$	15,75	5,584	23,26
	$CV_e(\%)$	7,78	9,123	7,898
AP ²	σ_g^2	0,01778***	0,012***	0,008446***
	σ_e^2	0,01808	0,015	0,01798
	h_g^2	0,7469	0,704	0,5849
	$\mu BLUP$	2,7729	2,7614	2,103
	PEV	0,2408	0,003477	0,003506
	$r\hat{g}g$	0,8642	0,839	0,7648
	$CV_g(\%)$	4,809	3,925	4,37
	$CV_e(\%)$	4,849	4,408	6,377
AE ³	σ_g^2	0,006778*	0,01292***	0,003943***
	σ_e^2	0,01608	0,01129	0,008693
	h_g^2	0,5584	0,7745	0,5764
	$\mu BLUP$	1,4483	1,4727	1,0401
	PEV	0,002993	0,002912	0,00167
	$r\hat{g}g$	0,7473	0,8801	0,7592

Tabela 4 – Estimativas dos componentes de variância genética (σ_g^2), variância do erro (σ_e^2), herdabilidade no sentido amplo (h_g^2), herdabilidade no sentido amplo (h_g^2), média genotípica predita (μ_{BLUP}), variância do erro de predição (PEV), acurácia seletiva ($r\hat{g}$), coeficiente de variância genética ($CV_g(\%)$) e coeficiente de variância experimental ($CV_e(\%)$) (conclusão).

CARÁTER	PARÂMETRO	LOCAL		
		LAVRAS	IJACI	G. SALGADO
AE ³	$CV_g(\%)$	5,684	7,718	6,037
	$CV_e(\%)$	8,756	7,213	8,964

Legenda: ¹produtividade de grãos (t/ha); ²altura de planta (m); ³altura de espiga (m). Valores acompanhados de ‘***’, ‘*’ diferiram significativamente a 1% ou 5%, respectivamente, pelo teste LRT.

Fonte: Do autor (2024).

Tabela 5 – Estimativas dos componentes de variância genética (σ_g^2), variância entre locais (σ_a^2), variância do erro (σ_e^2), variância da interação genótipo por local (σ_t^2), variância do bloco dentro local (σ_{ba}^2), herdabilidade no sentido amplo (h_g^2), média genotípica ($\mu BLUP$), variância do erro de predição (PEV), acurácia seletiva ($r\hat{g}$), coeficiente de variância genética ($CV_g(\%)$) e coeficiente de variância experimental ($CV_e(\%)$) com base nas análises conjuntas dos híbridos em todos os locais.

PARÂMETRO	CARACTERES		
	PROD ¹	AP ²	AE ³
σ_g^2	0,4813*	0,00924***	0,003*
σ_a^2	9,79***	0,1466***	0,059***
σ_e^2	0,6261	0,01695	0,012
σ_t^2	1,236***	0,003395*	0,005*
σ_{ba}^2	0,04325*	1,12E-05	0,000162
h_g^2	0,4998	0,754	0,523
$\mu BLUP$	9,11	2,55	1,32
PEV	0,2408	0,002274	0,001524
$r\hat{g}$	0,707	0,8683	0,723
$CV_g(\%)$	7,617	3,768	4,27
$CV_e(\%)$	8,687	5,103	8,298

Legenda: ¹produtividade de grãos(t/ha); ²altura de planta (m); ³altura de espiga (m). Valores acompanhados de '***', '*' diferiram significativamente a 1%, 5%, respectivamente, pelo teste LRT.

Fonte: Do autor (2024).

Tabela 6 – Ordem dos híbridos com base na média ponderada dos escores absolutos (WAASB) para os caracteres avaliados (continua).

HÍBRIDOS	PROD ¹		AP ²		AE ³	
	Ordem	WAASB	Ordem	WAASB	Ordem	WAASB
1	9	0,265092	1	0,009192	26	0,153605
2*	25	0,595182	24	0,109183	27	0,164097
3	16	0,404906	11	0,048184	8	0,047768
4*	24	0,564793	6	0,036509	23	0,117232
5	18	0,460123	21	0,085396	19	0,092267
6	8	0,262259	26	0,117787	10	0,058564
7	17	0,412752	15	0,07642	6	0,031926
8	22	0,516336	18	0,082348	5	0,025519
9	4	0,120481	5	0,020288	14	0,067303
10	3	0,113132	2	0,013875	13	0,06555
11	11	0,303217	13	0,055099	7	0,047292
12	20	0,508502	14	0,055909	9	0,05015
13	2	0,099431	19	0,082887	20	0,101088
14	10	0,275666	28	0,177944	22	0,114995
15	12	0,309288	16	0,078787	12	0,062086
16	6	0,212179	8	0,037499	4	0,024811
17	14	0,382478	4	0,018372	1	0,019723
18	19	0,498251	10	0,044513	2	0,022597
19	21	0,511737	9	0,041471	21	0,102549
20	23	0,518522	22	0,085497	25	0,138026
21	7	0,241054	17	0,079279	11	0,061077
22	13	0,319861	12	0,050598	17	0,082067
23	1	0,066629	25	0,115239	16	0,0773
24	28	0,829546	27	0,138218	28	0,184818
25	5	0,153036	20	0,083222	24	0,136749

Tabela 7 – Ordem dos híbridos com base na média ponderada dos escores absolutos (WAASB) para os caracteres avaliados (conclusão).

HÍBRIDOS	PROD¹		AP²		AE³	
	Ordem	WAASB	Ordem	WAASB	Ordem	WAASB
26	27	0,660804	7	0,036818	3	0,024046
27	15	0,385957	23	0,095303	15	0,071862
28	26	0,649537	3	0,013937	18	0,084067

Legenda: ¹produtividade de grãos; ²altura de planta (m); ³altura de espiga (cm). Híbridos acompanhado de ‘*’ são testemunhas dos experimentos.

Fonte: Do autor (2024).

Tabela 8 - Ordem dos híbridos com base nos valores WAASBY para os caracteres avaliados.

HÍBRIDO	PROD ¹		AP ²		AE ³	
	ORDEM	WAASBY	ORDEM	WAASBY	ORDEM	WAASBY
1	18	61,0362	100	1	59,45297	13
2*	27	7,679869	31,49759	26	28,28279	28
3	12	69,08668	73,80994	5	89,66479	1
4*	23	41,31212	77,03505	3	43,94947	22
5	21	52,73059	59,38841	11	65,87481	11
6	4	82,40982	29,53363	27	47,9052	18
7	19	60,86302	49,75306	21	67,57507	10
8	20	60,41763	52,21204	19	74,67201	5
9	16	66,30312	53,73828	17	37,33975	25
10	6	75,03864	83,27283	2	79,85956	3
11	9	73,95942	44,12642	23	49,47753	17
12	24	37,85303	69,64748	6	71,26398	9
13	5	77,84237	52,6378	18	57,67871	14
14	13	69,07439	14,16862	28	30,81476	26
15	1	92,04833	32,42392	25	45,54968	20
16	15	66,53331	63,39282	9	76,54374	4
17	10	70,94397	75,50032	4	72,74401	6
18	7	75,00672	62,83668	10	72,42627	7
19	17	61,47062	64,7921	7	46,92302	19
20	8	74,76061	57,13373	13	43,36083	23
21	14	68,49204	56,8683	14	56,905	15
22	26	35,45184	54,71073	16	44,65465	21
23	2	90,22887	38,83673	24	60,27886	12
24	28	7,086268	58,14032	12	40,7919	24
25	3	82,77593	63,66258	8	53,13991	16
26	11	69,63601	50,83111	20	71,43498	8
27	25	35,68472	55,51642	15	81,81519	2
28	22	41,51708	48,59408	22	30,51311	27

Legenda: ¹produtividade de grãos (t/ha); ²altura de planta (m); ³altura de espiga (m). Híbridos acompanhado de ‘*’ são testemunhas dos experimentos.

Fonte: Do autor (2024).

Tabela 9 – Ordem dos híbridos com base nos valores do índice MTSI.

HÍBRIDOS	ORDEM	MTSI
3	1	1.560558
10	2	1.578267
17	3	2.053929
16	4	2.27
18	5	2.288719
1	6	2.484132
8	7	2.70566
26	8	2.719832
25	9	2.843476
27	10	2.995155
7	11	3.004339
5	12	3.010108
13	13	3.058876
21	14	3.07639
12	15	3.108588
19	16	3.357495
23	17	3.383626
20	18	3.455098
11	19	3.628164
4*	20	3.767442
9	21	3.868598
15	22	4.080457
6	23	4.103729
22	24	4.222405
28	25	4.674062
24	26	5.108224
14	27	5.223498
2*	28	5.854648

Legenda: Híbridos acompanhado de “*” são testemunhas dos experimentos.

Fonte: Do autor (2024).

Tabela 10 – Ordem dos híbridos com base nas estimativas dos valores genótipicos (\hat{g}) e das médias genotípicas ($\mu + \hat{g}$) das análises individuais para o carácter produtividade de grãos (PROD) (continua).

HÍBRIDO	LAVRAS ¹			IJACI ²			G. SALGADO ³		
	Ordem	\hat{g}	$\mu + \hat{g}$	Ordem	\hat{g}	$\mu + \hat{g}$	Ordem	\hat{g}	$\mu + \hat{g}$
1	21	-0.69545	10.57991	21	-0.18534	10.23824	10	0.626903	6.122582
2*	26	-3.2509	8.024461	28	-0.81858	9.604993	25	-1.76455	3.731126
3	7	1.234237	12.50959	5	0.470837	10.89441	19	-0.73414	4.761538
4*	25	-2.30763	8.967726	7	0.176265	10.59984	14	0.203182	5.698861
5	16	0.250899	11.52626	6	0.451434	10.87501	26	-1.79665	3.699026
6	12	0.546825	11.82218	8	0.172737	10.59631	2	1.785716	7.281395
7	6	1.425356	12.70071	25	-0.47814	9.945427	17	-0.3682	5.127479
8	4	1.779851	13.05521	14	-0.04599	10.37758	21	-1.09366	4.402017
9	20	-0.43343	10.84193	9	0.163917	10.58749	16	-0.20449	5.29119
10	14	0,704018	11.71738	17	-0.13595	10.28763	9	0.668633	6.164312
11	8	1.114017	12.38937	23	-0.42523	9.998344	6	1.246434	6.742113
12	24	-2.09802	9.177341	27	-0.53459	9.888982	12	0.504922	6.000601
13	13	0.475926	11.75128	13	-0.00365	10.41992	7	0.736043	6.231722
14	17	0.247816	11.52317	24	-0.42876	9.994816	4	1.310634	6.806313
15	11	0.762605	12.03796	4	0.606658	11.03023	1	2.402037	7.897716
16	19	-0.30088	10.97448	20	-0.15182	10.27175	8	0.703943	6.199622
17	18	-0.01112	11.26424	16	-0.10772	10.31585	3	1.779296	7.274975

Tabela 11 – Ordem dos híbridos com base nas estimativas dos valores genotípicos (\hat{g}) e das médias genotípicas ($\mu + \hat{g}$) das análises individuais para o carácter produtividade de grãos (PROD) (conclusão).

HÍBRIDO	LAVRAS ¹			IJACI ²			G. SALGADO ³		
	Ordem	\hat{g}	$\mu + \hat{g}$	Ordem	\hat{g}	$\mu + \hat{g}$	Ordem	\hat{g}	$\mu + \hat{g}$
18	2	2.19908	13.47444	12	0.051027	10.4746	13	0.334792	5.830471
19	5	1.650384	12.92574	10	0.103944	10.52752	22	-1.10008	4.395597
20	3	2.0542	13.32956	2	0.647227	11.0708	18	-0.53833	4.957349
21	9	0.922898	12.19826	18	-0.14477	10.27881	15	-0.15955	5.33613
22	23	-1.72811	9.547249	22	-0.34409	10.07948	24	-1.47886	4.016816
23	15	0.429688	11.70505	1	1.026467	11.45004	11	0.559493	6.055172
24	28	-3.78726	7.488095	19	-0.14829	10.27528	23	-1.39219	4.103487
25	10	0.790348	12.06571	11	0.059847	10.48342	5	1.268904	6.764583
26	1	2.41486	13.69022	3	0.627825	11.0514	20	-0.946	4.549678
27	22	-0.80642	10.46894	15	-0.08832	10.33525	27	-2.55422	2.941464
28	27	-3.32179	7.953562	26	-0.51695	9.906621	-	-	-

Legenda: ¹Lavras - MG; ²Ijaci - MG; ³General Salgado - SP. Híbrido acompanhado de ‘*’ são testemunhas dos experimentos.

Fonte: Do autor (2024).

Tabela 12 – Ordem dos híbridos com base nas estimativas dos valores genotípicos (\hat{g}) e das médias genotípicas ($\mu + \hat{g}$) das análises individuais para o carácter altura de planta (AP) (continua).

HÍBRIDO	LAVRAS ¹			IJACI ²			G. SALGADO ³		
	Ordem	\hat{g}	$\mu + \hat{g}$	Ordem	\hat{g}	$\mu + \hat{g}$	Ordem	\hat{g}	$\mu + \hat{g}$
1	27	-0.17143	2.601426	28	-0.17232	2.589104	27	-0.14991	1.953057
2*	7	0.122349	2.895206	2	0.163272	2.924701	15	-0.01148	2.091482
3	24.5	-0.12164	2.651219	23	-0.06906	2.692365	18.5	-0.03098	2.071985
4*	19	-0.06438	2.708481	19	-0.04325	2.71818	24	-0.09337	2.009597
5	26	-0.14156	2.631302	16.5	-0.03856	2.722873	11	0.015814	2.118777
6	3	0.137287	2.910144	15	-0.02213	2.739301	2	0.121095	2.224058
7	8	0.097453	2.87031	18	-0.0409	2.720527	9	0.03531	2.138273
8	9	0.072556	2.845413	24	-0.0761	2.685324	12	0.013864	2.116827
9	5.5	0.129818	2.902675	4	0.116336	2.877764	3	0.0899	2.192863
10	22	-0.08678	2.686074	22	-0.06202	2.699405	22.5	-0.05242	2.050539
11	2	0.162184	2.935041	5	0.106949	2.868377	6.5	0.060656	2.163619
12	18	-0.02703	2.745826	16.5	-0.03856	2.722873	25	-0.09922	2.003748
13	21	-0.0818	2.691054	13	0.001341	2.76277	6.5	0.060656	2.163619
14	5.5	0.129818	2.902675	25	-0.09488	2.666549	1	0.14644	2.249403

Tabela 13 – Ordem dos híbridos com base nas estimativas dos valores genotípicos (\hat{g}) e das médias genotípicas ($\mu + \hat{g}$) das análises individuais para o carácter altura de planta (AP) (conclusão).

HÍBRIDO	LAVRAS ¹			IJACI ²			G. SALGADO ³		
	Ordem	\hat{g}	$\mu + \hat{g}$	Ordem	\hat{g}	$\mu + \hat{g}$	Ordem	\hat{g}	$\mu + \hat{g}$
15	1	0.174632	2.947489	1	0.184394	2.945823	5	0.064555	2.167518
16	11.5	0.030232	2.803089	14	-0.01743	2.743995	10	0.033361	2.136324
17	17	-0.00462	2.768233	20	-0.0456	2.715833	16	-0.02318	2.079784
18	11.5	0.030232	2.803089	10	0.027156	2.788585	17	-0.02903	2.073935
19	13	0.010314	2.783171	9	0.03185	2.793278	20	-0.03488	2.068086
20	15	-0.00213	2.770723	11	0.017769	2.779197	26	-0.10311	1.999848
21	20	-0.07433	2.698523	21	-0.04794	2.713486	8	0.043109	2.146072
22	10	0.062597	2.835454	7	0.085827	2.847256	13	0.002166	2.105129
23	15	-0.00213	2.770723	3	0.135111	2.896539	21	-0.04268	2.060287
24	28	-0.27849	2.49437	27	-0.14182	2.619613	18.5	-0.03098	2.071985
25	23	-0.11666	2.656198	26	-0.116	2.645428	14	0.000217	2.10318
26	4	0.137287	2.910144	6	0.097561	2.85899	4	0.066505	2.169468
27	24.5	-0.12164	2.651219	8	0.043584	2.805013	22.5	-0.05242	2.050539
28	15	-0.00213	2.770723	12	0.015422	2.776851	-	-	-

Legenda: ¹Lavras - MG; ²Ijaci - MG; ³General Salgado - SP. Híbrido acompanhado de “*” são testemunhas dos experimentos.

Fonte: Do autor (2024).

Tabela 14 – Ordem dos híbridos com base nas estimativas dos valores genotípicos (\hat{g}) e das médias genotípicas ($\mu + \hat{g}$) das análises individuais para o carácter altura de espiga (AE) (continua).

HÍBRIDO	LAVRAS			IJACI			G. SALGADO		
	Ordem	\hat{g}	$\mu + \hat{g}$	Ordem	\hat{g}	$\mu + \hat{g}$	Ordem	\hat{g}	$\mu + \hat{g}$
1	19	-0.02327	1.425066	28	-0.24996	1.22278	21	-0.0385	1.001626
2*	4	0.073523	1.521857	5	0.0934	1.566138	27	-0.1019	0.938221
3	25	-0.09958	1.348751	24	-0.08731	1.385423	25	-0.06155	0.978569
4*	10	0.036296	1.48463	7.5	0.080492	1.55323	26	-0.06924	0.970884
5	26.5	-0.10889	1.339444	14	0.005624	1.478362	17	-0.01352	1.026603
6	3	0.077246	1.525579	7.5	0.080492	1.55323	7	0.032592	1.072715
7	11	0.030712	1.479046	17	-0.00212	1.470617	9	0.021064	1.061187
8	14	0.000931	1.449264	20	-0.02536	1.447383	10	0.0153	1.055423
9	5	0.071662	1.519995	1	0.145033	1.617771	3	0.07294	1.113063
10	28	-0.11075	1.337583	21	-0.04343	1.429311	20	-0.03658	1.003547
11	6	0.067939	1.516273	11	0.04693	1.519669	2	0.086389	1.126513
12	17	-0.01768	1.43065	13	0.026277	1.499015	23	-0.04618	0.99394
13	24	-0.06422	1.384117	23	-0.06408	1.408658	4	0.049884	1.090007
14	1	0.092137	1.54047	18	-0.01761	1.455128	1	0.090232	1.130355

Tabela 15 – Ordem dos híbridos com base nas estimativas dos valores genotípicos (\hat{g}) e das médias genotípicas ($\mu + \hat{g}$) das análises individuais para o carácter altura de espiga (AE) (conclusão).

HÍBRIDO	LAVRAS			IJACI			G. SALGADO		
	Ordem	\hat{g}	$\mu + \hat{g}$	Ordem	\hat{g}	$\mu + \hat{g}$	Ordem	\hat{g}	$\mu + \hat{g}$
15	2	0.080969	1.529302	6	0.088237	1.560975	6	0.036434	1.076558
16	16	-0.0121	1.436235	19	-0.02277	1.449964	12.5	0.009536	1.049659
17	12	0.02699	1.475323	15.5	0.003043	1.475781	14.5	0.005693	1.045816
18	15	-0.00279	1.445541	12	0.031441	1.504179	12.5	0.009536	1.049659
19	18	-0.01954	1.428789	2	0.10889	1.581628	18	-0.01736	1.02276
20	23	-0.05491	1.393423	4	0.103726	1.576465	24	-0.05195	0.988176
21	20	-0.02513	1.423205	9	0.075328	1.548067	5	0.040277	1.0804
22	8	0.045603	1.493936	3	0.106308	1.579046	14.5	0.005693	1.045816
23	21	-0.02699	1.421344	10	0.059839	1.532577	19	-0.03273	1.00739
24	13	0.008376	1.456709	27	-0.23447	1.23827	11	0.013378	1.053502
25	22	-0.02885	1.419482	26	-0.16993	1.302811	8	0.026828	1.066951
26	9	0.038158	1.486491	15.5	0.003043	1.475781	16	-0.00584	1.034288
27	26.5	-0.10889	1.339444	25	-0.09506	1.377679	22	-0.04042	0.999704
28	7	0.053049	1.501382	22	-0.04601	1.42673	-	-	-

Legenda: ¹Lavras - MG; ²Ijaci - MG; ³General Salgado - SP. Híbrido acompanhado de “*” são testemunhas dos experimentos.

Fonte: Do autor (2024).

Tabela 16 – Ordem dos híbridos com base nas estimativas dos valores genotípicos (BLUPs) e das médias genotípicas (μ BLUPs) da análise conjunta para os caracteres avaliados (continua).

HÍBRIDO	PROD¹			AP²			AE³		
	Ordem	\hat{g}	$\mu + \hat{g}$	Ordem	\hat{g}	$\mu + \hat{g}$	Ordem	\hat{g}	$\mu + \hat{g}$
1	20	-0.06969	9.038186	28	-0.18369	2.367396	28	-0.07524	1.248538
2*	28	-1.14314	7.964727	5	0.094449	2.645534	9	0.013098	1.336873
3	10	0.249075	9.356947	25	-0.07897	2.472117	27	-0.06943	1.254349
4*	22	-0.31959	8.788286	24	-0.07729	2.473792	14	0.008449	1.332224
5	21	-0.118	8.989872	21	-0.05467	2.496412	22	-0.03688	1.286894
6	6	0.467321	9.575193	6	0.090261	2.641345	5	0.052035	1.37581
7	17	0.048045	9.155916	9	0.033293	2.584377	8	0.015423	1.339198
8	15	0.122459	9.230331	14	0.003133	2.554217	16	-0.00085	1.322925
9	19	-0.05636	9.051514	2	0.123771	2.674855	1	0.077025	1.4008
10	12	0.158001	9.265872	23	-0.07394	2.477143	25	-0.05548	1.268297
11	8	0.287949	9.39582	3	0.118745	2.669829	2	0.057847	1.381622
12	23	-0.45342	8.65445	22	-0.06556	2.485521	20	-0.01363	1.31014
13	11	0.217421	9.325293	16	-0.00106	2.550029	21	-0.01945	1.304329
14	14	0.141896	9.249768	7	0.072668	2.623752	4	0.052035	1.37581
15	1	0.749431	9.857302	1	0.152255	2.703339	3	0.056103	1.379879
16	18	0.025276	9.133148	11	0.018213	2.569297	18	-0.00608	1.317695
17	9	0.277397	9.385269	18	-0.02786	2.52322	11	0.010773	1.334549

Tabela 17 – Ordem dos híbridos com base nas estimativas dos valores genotípicos (BLUPs) e das médias genotípicas (μ BLUPs) da análise conjunta para os caracteres avaliados (conclusão).

HÍBRIDO	PROD¹			AP²			AE³		
	Ordem	\hat{g}	$\mu + \hat{g}$	Ordem	\hat{g}	$\mu + \hat{g}$	Ordem	\hat{g}	$\mu + \hat{g}$
18	4	0.475651	9.583523	12	0.007322	2.558406	13	0.00903	1.332805
19	13	0.145228	9.2531	15	-0.00022	2.550866	10	0.013098	1.336873
20	3	0.486203	9.594074	19	-0.03876	2.512329	19	-0.00957	1.314208
21	16	0.09858	9.206452	17	-0.02368	2.527409	7	0.021234	1.345009
22	25	-0.67	8.43787	8	0.052561	2.603646	6	0.039831	1.363606
23	2	0.502863	9.610734	10	0.029104	2.580188	17	-0.00492	1.318857
24	27	-0.96433	8.143544	27	-0.15772	2.393367	24	-0.04618	1.277596
25	7	0.386243	9.494114	26	-0.08064	2.470441	23	-0.03921	1.284569
26	5	0.474541	9.582412	4	0.109529	2.660613	12	0.010773	1.334549
27	24	-0.60947	8.498402	20	-0.04797	2.503114	26	-0.06768	1.256093
28	26	-0.90959	8.198284	13	0.006721	2.557805	15	0.007829	1.331604

Legenda: ¹produtividade de grãos(t/ha); ²altura de planta (m); ³altura de espiga (m). Híbrido acompanhado de ‘*’ são testemunhas dos experimentos.

Fonte: Do autor (2024).