

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE FENOTÍPICA DE
GENÓTIPOS DE MILHO E SORGO EM CONDIÇÕES DE
SEGUNDA SAFRA EM BALSAS - MARANHÃO

Eurypedes Ribeiro Neto

Engenheiro Agrônomo

2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE FENOTÍPICA DE
GENÓTIPOS DE MILHO E SORGO EM CONDIÇÕES DE
SEGUNDA SAFRA EM BALSAS - MARANHÃO**

Discente: Eurypedes Ribeiro Neto

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Vitti Môro

**Dissertação apresentada à Faculdade
de Ciências Agrárias e Veterinárias –
Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como
parte das exigências para a obtenção
do título de Mestre em Agronomia
(Genética e Melhoramento de Plantas).**

2023

R484

Ribeiro Neto, Eurypedes

Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de milho e sorgo em condições de segunda safra em balsas - Maranhão / Eurypedes Ribeiro Neto. -- Jaboticabal, 2023 110 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Orientador - Gustavo Vitti Môro

1. Zea mays. 2. Sorghum bicolor L.. 3. Produtividade de Grãos. 4. Título

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

“IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA”

Baseando-se nas ODS: Fome Zero e Agricultura Sustentável

Espera-se oferecer à área de pesquisa que envolve a agricultura um avanço em relação ao uso de genótipos em regiões que enfrentam o problema de janela de plantio, assim como favorecer os produtores brasileiros com dados empíricos em relação ao cultivo de sorgo como uma alternativa ao milho. Garantindo sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo, mantendo a diversidade genética e de plantas cultivadas.

Contribuindo assim com a redução da fome e a instabilidade econômica pertencente na região.

“POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH”

Based on the SDGs: Zero Hunger and Sustainable Agriculture

It's expected to offer research involves agriculture an advance in relation to use of genotypes in regions, that areas the planting window problem, as well favor better Brazilian producers with empirical data regarding the cultivation of sorghum an alternative to corn. Ensuring sustainable food production systems and implementing resilient agricultural practices that increase productivity and production, helped maintain ecosystems, that strengthen adaptive capacity to climate change, extreme weather, droughts, floods and other disasters, and that progressively improve the quality of the land and soil, maintaining the genetic and cultivated plant diversity.

Contributing to reduction of hunger and economic instability belonging to the region.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE FENOTÍPICA DE GENÓTIPOS DE MILHO E SORGO EM CONDIÇÕES DE SEGUNDA SAFRA EM BALSAS - MARANHÃO

AUTOR: EURYPEDES RIBEIRO NETO

ORIENTADOR: GUSTAVO VITTI MÔRO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. GUSTAVO VITTI MÔRO (Participação Virtual)
Departamento de Ciencias da Producao Agrícola / FCAV UNESP Jaboticabal

Documento assinado digitalmente
gov.br GUSTAVO VITTI MORO
Data: 14/04/2023 16:56:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. SANDRA HELENA UNÊDA TREVISOLI (Participação Virtual)
Departamento de Ciencias da Producao Agrícola / FCAV UNESP Jaboticabal

Documento assinado digitalmente
gov.br SANDRA HELENA UNEDA TREVISOLI
Data: 18/04/2023 11:00:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.Dr. IVAN RICARDO CARVALHO (Participação Virtual)
Departamento de Estudos Agrários / Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - Ijuí/RS

Documento assinado digitalmente
gov.br IVAN RICARDO CARVALHO
Data: 17/04/2023 08:05:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Jaboticabal, 14 de abril de 2023

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Eurypedes Ribeiro Neto nascido em São Joaquim da Barra - SP, em 26 de agosto de 1995. Mudou-se com seus pais para Balsas - MA com dois meses de idade, onde foi muito feliz por anos. Ingressou em 2013 no curso de Agronomia na Faculdade Dr. Francisco Maeda (FAFRAM), Câmpus de Ituverava - SP, após 2 anos realizou, novamente, a prova do ENEM e ingressou, em 2015, na Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Câmpus Uberlândia - MG, onde foi estagiário do Grupo de Estudo e Pesquisa em Forragicultura das áreas de Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia - UFU, de janeiro a julho de 2016. Em agosto de 2016 iniciou no grupo de Manejo Integrado de Pragas, onde realizou diversos experimentos em campo e em laboratório, nas culturas de milho, café, sorgo, soja, algodão e criação de insetos pragas como *Spodoptera frugiperda*. Teve a oportunidade de publicar dois artigos no Congresso Brasileiro de Entomologia e Congresso Latino-Americano de Entomologia, onde aprendeu muito com o Prof. Fernando Juari Celoto. Permaneceu neste grupo de estudo até o final do ano de 2018. Foi monitor e bolsista de Entomologia Aplicada durante dois anos. Desde 2013, no período de férias, era auxiliar de campo da Ribeiro Agrícola em uma fazenda agrícola, que perdurou até o fim da sua graduação. Em janeiro de 2019, foi estagiário na Bayer Crop Science, no setor de resistência de plantas daninhas, realizando conduções de experimentos em casa de vegetação e em campo, trabalhando com diagnose de controle de plantas daninhas e fitotoxidez em culturas. Em janeiro de 2020 iniciou um trabalho como consultor na Bom Jesus Consultoria Agrícola. Estudando as oportunidades de aprofundar em alguns temas, principalmente no que circunda a região de Balsas, com a proposta de trazer alternativa de segunda safra para região, seu orientador Prof. Dr. Gustavo Vitti Môro abraçou a idéia, então iniciou o mestrado na UNESP - Jaboticabal. Teve uma excelente oportunidade de ser líder do setor de fitotecnia em uma estação de pesquisa em Balsas - MA, mesmo local em que realizou seu projeto de mestrado. Realizou diversos feitos para empresas agrícolas, alternativas para pequenos, médios e grandes produtores, trazendo o melhor da tecnologia em ambiente tropical, com múltiplas culturas, desde frutíferas até grandes culturas como a soja. Atualmente, está finalizando com grande satisfação seu mestrado.

Nunca se esqueça de quem você é, porque é certo que o mundo não se lembrará. Faça disso sua força. Assim, não poderá ser nunca a sua fraqueza. Arme-se com esta lembrança, e ela nunca poderá ser usada para magoá-lo.

George R. R. Martin

Aos meus pais, Junior e Alexandra. Ao
meu irmão, Gabriel. A minha avó Cecilia.
Aos meus amigos que contribuíram pela
minha jornada até a formação.
Assim, dedico

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Junior e Alexandra, não tenho adjetivos e palavras para descrever.

Ao meu irmão Gabriel, por nunca deixar que eu caia e desista.

A minha querida avó Cecília, por ser uma pessoa extraordinária e muito forte.

A minha namorada Flavia Segala, pessoa sensacional que faz parte na minha vida.

A minha cunhada Fernanda Segala e meu amigo querido Silvio Henrique.

Aos meus amigos, em especial Valéria Bubans, Natalia Freitas e Amanda Marques, sem elas eu não conseguiria chegar até aqui

Ao meu orientador, Prof. Dr. Gustavo Vitti Môro, por abraçar a ideia do meu projeto, ser compreensivo e me dar o apoio durante o tempo de mestrado.

À Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho', ao Departamento de Ciências da Produção Agrícola, o PPG em Agronomia - Genética e Melhoramento de Plantas pela oportunidade de estar realizando um mestrado em uma faculdade de excelência.

Aos membros das bancas de qualificação e defesa.

Ao meu amigo, Prof. Dr. Fernando Juari Celoto, por ter me incentivado a iniciar o mestrado.

Aos meus amigos, Lucas e Guilherme, por me darem força quando precisava.

Aos meus amigos, Heliton Borges, Francisco de Carvalho e Francisco da Costa, por serem meus mentores nas dúvidas que surgiam.

A Gisela Introvini, ao Marcelo Introvini e aos contribuintes da FAPCEN (Pedro, Sandro, Lucas, Luan, Ana Carolyne, Isabel e Samaycon) por serem chave no meu aprendizado.

A Tonico Campli da FRA Morgan, ao Guilherme Moreira da Pioneer, ao Gustavo de Almeida e Fernando Souza da Innovative Seed Solutions.

A todos os que contribuíram de alguma forma no decorrer dessa etapa da minha vida.

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

O meu muito obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO.....	iii
ABSTRACT	iv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 A cultura do Milho	3
2.2 A cultura do Sorgo	5
2.3 Cultivo em segunda safra	7
2.4 Interação Genótipo X Ambiente	8
2.5 Adaptabilidade e Estabilidade	11
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1 Caracterização da área experimental	15
3.2 Tratamentos testados e delineamento experimental	16
3.3 Análises estatísticas	19
3.3.1 Análise de variância individual	19
3.3.2 Análise de variância conjunta	20
3.3.3 Teste de comparação de médias.....	20
3.4 Análise de adaptabilidade e estabilidade	20
3.4.1 Metodologia de Annicchiarico (1992).....	21
3.4.2 Metodologia de Eberhart & Russel	21
3.4.3 Metodologia de Lin & Binns (1988)	22
3.4.4 Método de AMMI	22
3.4.5 Método do GGE-Biplot	23
3.4.6 Método do REML/Blup	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1 Análises de variância e teste de comparação de médias para a cultura do milho	24
4.2 Análise de adaptabilidade e estabilidade para a cultura do milho.....	29
4.2.1 Metodologia de Eberhart & Russell (1966)	29
4.2.2 Metodologia de Lin & Binns (1988)	34
4.2.3 Metodologia de Annicchiarico (1992).....	37
4.2.4 AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction).....	40
4.2.5 GGE Biplot (Genotype main effects + Genotype environment interaction)	46
4.2.5.1 Análise de forma estratificada cada característica.....	50
4.2.6 REML/Blup (Máxima verossimilhança restrita)/(melhor preditor linear não-viesado)	53

4.3. Análises de variância e teste de comparação de médias para a cultura do Sorgo	58
4.4 Análises de adaptabilidade e estabilidade para a cultura do sorgo	63
4.4.1 Eberhart & Russell (1966)	63
4.4.2 Metodologia de Lin & Binns (1988)	66
4.4.3 Metodologia de Annicchiarico (1992)	68
4.4.4 AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction)	71
4.4.5 GGE Biplot (genotype main effects + genotype environment interaction)	75
4.4.5.1 Análise de forma estratificada de cada característica	79
4.5.6 REML/Blup (Máxima verossimilhança restrita)/(melhor preditor linear não-viesado)	83
5. CONCLUSÕES	86
REFERÊNCIAS	88

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE FENOTÍPICA DE GENÓTIPOS DE MILHO E SORGO EM CONDIÇÕES DE SEGUNDA SAFRA EM BALSAS - MARANHÃO

RESUMO – O objetivo do presente estudo foi avaliar a adaptabilidade e estabilidade fenotípica de híbridos de milho e de sorgo semeados simultaneamente em seis épocas de semeadura na segunda safra na região nordeste do Brasil. Os experimentos foram conduzidos na Fazenda Sol Nascente, na Fundação de Apoio à Pesquisa do Corredor de Exportação Norte, localizada na região de Balsas – MA. Foram conduzidos ensaios com sete híbridos de milho e sete híbridos de sorgo, semeados em seis épocas de semeadura no ano de 2021. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso em esquema de faixas, com quatro repetições. As parcelas experimentais foram constituídas por quatro linhas de 12 m de comprimento e espaçamento de 0,5 m entre si, totalizando 2,0 m de largura e 24 m². A população de plantas foi de 60 mil plantas ha⁻¹ para cultura do milho e 220 mil plantas ha⁻¹ para cultura do sorgo. Na cultura do milho foram avaliadas as seguintes características: altura da planta (cm); altura da espiga (cm) e produtividade de grãos. Na cultura do sorgo foram avaliadas: altura da planta (cm); altura do cacho (cm) e produtividade de grãos. Os genótipos foram avaliados por meio dos métodos de adaptabilidade e estabilidade de Eberhart & Russell, Annicchiarico, Lin & Binns, AMMI (Additive Main effects and Multiplicative Interaction), modelos mistos (REML/Blup) e GGE-Biplot. As diferentes épocas de semeadura afetaram as características avaliadas, principalmente a produtividade de grãos, onde, o atraso da semeadura acarretou em grande redução, tanto no milho quanto no sorgo. Para as duas culturas estudadas, as análises de adaptabilidade e estabilidade de Eberhart e Russel (1996), Lin & Binns, Annicchiarico, AMMI, GGE Biplot e REML/Blup entram em concordância com a seleção dos melhores genótipos e ambientes de cultivo. O melhor híbrido de milho dentro dos ambientes testados foi o P2970. Porém, os híbridos P3707 e P3754 também se destacaram quanto a adaptabilidade, estabilidade e altas médias de produtividade de grãos. Os genótipos de sorgo DKB540, GreenTec 327, AS4639 e 50A10 foram os que apresentaram as maiores médias de produtividade de grãos, boa estabilidade e adaptabilidade nos ambientes avaliados. As melhores épocas de semeadura foram a primeira (09 de fevereiro) e a segunda época (15 de fevereiro) para as duas culturas, sendo que o atraso provocou efeitos negativos nos genótipos testados, principalmente na produtividade de grãos.

Palavras-chave: *Zea mays*, *Sorghum bicolor* L., Produtividade de Grãos, Melhoramento de Plantas.

ADAPTABILITY AND PHENOTYPIC STABILITY OF CORN AND SORGHUM GENOTYPES IN SECOND CROP CONDITIONS IN BALSAS - MARANHÃO

ABSTRACT – The aim of this study was to evaluate the adaptability and phenotypic stability of corn and sorghum hybrids sown simultaneously in six sowing dates in the second crop in northeastern Brazil. The experiments were conducted at Sol Nascente Farm, at the North Export Corridor Research Support Foundation, located in the region of Balsas – MA. Trials were carried out with seven corn hybrids and seven sorghum hybrids, sown in six sowing dates in the year 2021. The experimental design used was randomized blocks in strip scheme, with four replications. The experimental plots consisted of four rows of 12 m in length and spaced 0.5 m apart, totaling 2.0 m in width and 24 m². The plant population was 60.000 plants ha⁻¹ for corn and 220.000 plants ha⁻¹ for sorghum. In the corn crop, the following traits were evaluated: plant height (cm); ear height (cm) and grain yield. In the sorghum crop, the following were evaluated: plant height (cm); bunch height (cm) and grain yield. The genotypes were evaluated using the adaptability and stability methods of Eberhart & Russell, Annicchiarico, Lin & Binns, AMMI (Additive Main effects and Multiplicative Interaction), mixed models (REML/Blup) and GGE -Biplot. The different sowing dates affected the evaluated characteristics, mainly grain yield, where the delay in sowing led to a large reduction, both in corn and sorghum. For the two crops studied, the adaptability and stability analyze by Eberhart and Russel, Lin & Binns, Annicchiarico, AMMI, GGE Biplot and REML/Blup agree with the selection of the best genotypes and environments of cultivation. The best corn hybrid within the tested environments was P2970. However, hybrids P3707 and P3754 also stood out in terms of adaptability, stability and high grain yield averages. The sorghum genotypes DKB540, GreenTec 327, AS4639 and 50A10 were the ones that showed the highest grain yield averages, good stability and adaptability in the evaluated environments. The best sowing dates were the first (February 9) and the second (February 15) for both crops, and the delay caused negative effects on the tested genotypes, mainly on grain yield.

Keywords: *Zea mays*, *Sorghum bicolor* L., Grain yield, Plant breeding.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país que possui uma grande extensão territorial e com uma diversidade ampla de clima e solo, além das diferenças no sistema de produção, sendo empregados diferentes níveis de tecnologia que impactam diretamente na produção agrícola (Maldaner et al., 2014). Com o aumento da demanda mundial por mantimentos, as regiões produtoras de alimentos têm como objetivo potencializar sua rentabilidade, bem como, buscar alternativas de melhoria na cadeia produtiva, a fim de diminuir o desperdício, que corresponde a cerca de 30% da produção total (Fao, 2021).

As culturas do milho (*Zea mays* L.) e do sorgo (*Sorghum bicolor* L. Mornch), possuem múltiplos usos, sendo os grãos fonte de amido, vitaminas, proteínas e minerais. Os derivados dos grãos de milho fazem parte da dieta da população, entretanto o consumo de sorgo “in natura” ainda não é muito comum no Brasil, sendo mais usado na forma de farinha na indústria de panificação (Dong, 2017).

O milho é uma cultura de grande importância econômica, sendo caracterizado como o principal cereal cultivado na segunda safra na região tropical, ocupando 49 % da área de cultivo (Tiwari & Yadav, 2019). Na segunda safra de 2020/2021 teve uma área cultivada de 16 milhões de hectares, com produtividade média de grãos de 5.518 kg ha⁻¹ (Conab, 2022). O sorgo está entre os cinco cereais mais cultivados do mundo. No Brasil, a cultura apresenta uma expansão crescente onde, na segunda safra de 2020/2021 ocupou uma área de 950 mil hectares, com produtividade média de 3.201 kg ha⁻¹ (Conab, 2022). A cultura do sorgo tem ganhado espaço, por apresentar características de adaptação as condições edafoclimáticas de estresse hídrico e altas temperaturas (Johnson et al., 2014; Rodrigues et al., 2015).

Tendo em vista a crescente demanda na produção de alimentos, faz-se necessário o cultivo de grãos em uma segunda safra, além da convencional, em algumas regiões do Brasil. Entretanto, nem todas as culturas possuem potencial produtivo para a segunda safra na região nordeste do Brasil, período que compreende a semeadura de janeiro a março, em função das restrições climáticas (menor disponibilidade hídrica, oscilação de temperatura e radiação solar) (Goes et al., 2011).

A cultura do milho e a cultura do sorgo possuem fases de desenvolvimento com maior necessidade hídrica, que corresponde geralmente ao período da floração

e do enchimento de grãos, sendo o déficit hídrico um fator limitante nestes momentos (Andrea et al., 2019). A falta de chuva está diretamente associada ao menor número de folhas, qualidade do colmo, atrofia radicular, número de grãos e enchimento de grãos (Rut et al., 2022).

Para promover o desenvolvimento de materiais genéticos produtivos em ambientes diversos, os programas de melhoramento buscam a seleção das melhores características para então, reuni-las em um único genótipo (Nogueira et al., 2015). O desenvolvimento dessas pesquisas é de suma importância para as culturas do milho e do sorgo, contribuindo para que elas possam atingir altas produtividades de grãos em distintos ambientes e épocas de semeadura. A obtenção de genótipos que apresentem resistência ou tolerância as principais pragas e doenças, também é de grande importância nestas culturas. O melhoramento genético do milho tornou possível a combinação das características desejadas, permitindo seu cultivo em ambientes distintos (Nass & Paterniani, 2000).

A estabilidade fenotípica entre ambientes, de um determinado híbrido, é de suma importância, uma vez que, o genótipo estável possui uma interação mínima com os ambientes de cultivo e responde positivamente em ambientes favoráveis. As pesquisas priorizam por híbridos com maiores produtividades e mais estáveis em diferentes ambientes (Seyoum et al., 2020).

Nos programas de melhoramento, a característica de maior importância é a produtividade de grãos, a qual possui baixa herdabilidade, sendo necessário que o melhorista utilize outras variáveis correlacionadas a ela para avaliar o potencial dos híbridos (Greveniotis et al., 2021). A variabilidade genética expressa no fenótipo é um desafio ao melhorista, uma vez que, os genes não reagem da mesma maneira frente a diferentes ambientes, sendo necessário para tanto, estudos da interação genótipo x ambiente.

Partindo da necessidade de utilização de culturas alternativas para o cultivo em segunda safra no nordeste brasileiro, o sorgo é uma cultura com grande potencial, uma vez que possui sistemas adaptativos de tolerância a deficiência hídrica e a solos com média fertilidade (Von Pinho et al., 2007; Pale et al., 2003). Considerando que na região do estudo existe a preferência dos agricultores pelo cultivo do milho, faz-se necessário avaliar a viabilidade do cultivo de híbridos de sorgo, uma vez que a cultura

apresenta características promissoras de adaptação às condições climáticas do Nordeste.

Portanto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a adaptabilidade, estabilidade e a produtividade de híbridos de milho e de sorgo semeados em seis épocas na segunda safra na região nordeste do Brasil.

“Impacto potencial desta pesquisa”

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do Milho

O milho (*Zea mays* L.) pertence à família Poaceae, que teve sua origem do teosinto, no México, há mais de 8 mil anos (Duarte, 2007). Devido sua grande adaptabilidade e por possuir inúmeros genótipos, seu desenvolvimento foi possível em áreas com climas temperado, tropicais e subtropicais. Adapta-se ao cultivo em diversos níveis de produção agrícola. Além disso, é um dos cereais mais importantes do mundo devido ao seu potencial produtivo, seu valor biológico e sua composição química (Barros, 2014; Strazzi, 2015).

No Brasil, o milho é um dos cereais mais usuais, isso devido suas características como alto valor nutritivo, excelente fonte de energia, sendo utilizado na indústria alimentícia na forma “in natura” ou seus derivados, como farinha e farelo, assim como, para produção de biocombustível (Duarte et al., 2007). Pode ser utilizado com principal componente energético, alta digestibilidade e aceitabilidade na alimentação de aves, bovinos e suínos. Sua produção de grãos supera a de trigo e do arroz, com aproximadamente 717 milhões de toneladas (FAO, 2016; Cakmak et al., 2017).

A cultura do milho, dependendo da região pode ser cultivada em até três safras durante o ano, porém, as mais comuns são a safra do verão (período de chuvas) e da segunda safra ou safrinha (Duarte et al., 2011). O milho semeado em segunda safra, na região nordeste do Brasil, enfrenta desafios em relação às condições climáticas desfavoráveis como a baixa precipitação e as altas temperaturas do ar, isso principalmente nas fases de maior necessidade da cultura, ou seja, os períodos da floração e do enchimento de grãos. Ainda a alta incidência de pragas e doenças neste

período, devido a sucessão de cultura compromete a produtividade de grãos da cultura (Andrea et al., 2019).

O déficit hídrico ocasiona uma redução na altura das plantas, na expansão da área foliar, compromete a taxa fotossintética da folha, reduz a qualidade do colmo, o crescimento radicular, a absorção de nutrientes, provoca dessincronização da floração, má polinização, redução no número e no enchimento dos grãos (Andrea et al., 2019; Maazou et al., 2016). Os genótipos tolerantes ao déficit hídrico têm desempenho ruim em condições favoráveis, portanto, é um desafio manter a planta eficiente com um menor volume de água e manter ou até mesmo aumentar a sua produtividade (Santos et al., 2020; Musvosvi et al., 2018).

A temperatura é outro fator limitante ao aumento da produtividade de grãos, influenciando diretamente a germinação das sementes, sendo o ideal de 26 a 29 °C. Temperaturas muito altas (acima de 45 °C) ou muito baixas (menor que 7 °C) são ruins para a dinâmica da respiração e do metabolismo celular da semente, interferindo na germinação. O enchimento de grãos e a polinização também são afetadas negativamente pelas altas temperaturas. Apesar disso, a seleção de plantas adaptadas, tolerantes a temperaturas extremas (muito altas ou baixas) é possível devido a ampla variabilidade genética na cultura, e com isso, o melhoramento genético pode agir de forma eficiente, com a seleção de cultivares tolerantes. Altas temperaturas podem fazer com que um determinado híbrido atinja antecipadamente o acúmulo de graus dias, favorecendo a floração antecipada (Sanchez et al., 2014; Noor et al., 2019). A duração do ciclo das plantas é influenciada pela temperatura, onde, dias e noites quentes causam encurtamento do ciclo e consequente redução na produtividade (Cruz et al., 2011).

Tendo em vista a necessidade de potencializar a produção de grãos, os primeiros trabalhos de hibridação artificial do milho foram realizados por Beal em 1880. Tal pesquisador observou que nas variedades de polinização aberta (VPAs) às combinações gênicas direcionadas se fazem necessárias para a obtenção de híbridos mais produtivos, cabendo ao melhorista a escolha das populações para combinação no programa de melhoramento, devendo optar pelas mais adaptadas e com genética superior (Musvosvi et al., 2018).

Essa importância pode ser verificada pelos números da safra 2021/2022, onde a estimativa da produção foi de 112.342 milhões de toneladas, em uma área de 20 milhões de hectares, com um aumento de 25 milhões de toneladas na produção de grãos em comparação a safra anterior (2020/2021). Esse aumento na produtividade ocorreu em menos de um milhão de hectares, evidenciando o aumento na produtividade por unidade de área. Os estados que se destacaram na produção de grãos na segunda safra de 2021/2022 foram, Mato Grosso (aproximadamente 40 milhões de ton.), seguido por Paraná (aprox. 18 milhões de ton.) e Goiás (aprox. 10 milhões de ton.) (Conab, 2022).

Para segunda safra 2021/2022 a área cultivada com milho foi de 15 milhões de hectares, com uma estimativa de produção de 88 milhões de toneladas. A região do MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) aparece com sua representatividade total de milho de 5,0 milhões de toneladas na primeira safra de 2021/2022 e 2,4 milhões de toneladas na segunda safra (Conab, 2022). Embora precise de mais infraestrutura, principalmente para o escoamento dos grãos, tem havido um investimento alto nessa região ao longo dos anos (Von Pinho et al., 2014).

Em se falando de variabilidade genética, existem aproximadamente 300 raças de cultivares de milho existentes encontradas em bancos de germoplasma. Esta variabilidade está à disposição dos melhoristas para o desenvolvimento de genótipos com características de interesse agrônomo, ou seja, resistência as principais doenças e pragas, resistência ao acamamento, melhor qualidade de grãos, alta produtividade e tolerância aos estresses abióticos (Fornasier Filho, 2007; Romy et al., 2011). A diversidade genética disponível, conjuntamente com as aprimoradas técnicas para a obtenção das informações genóticas (marcadores moleculares e o sequenciamento genético) permitem ao melhorista ser capaz de estruturar uma população a fim de reunir em um único genótipo (híbrido), as características desejadas (Andrade et al., 2016).

2.2 A cultura do Sorgo

O sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) foi provavelmente domesticado na Etiópia, na África Oriental, há cerca de 5.000 anos atrás (Tabosa et al., 2019;

Venkateswarn et al., 2019). É uma planta adaptada a climas áridos e semiáridos, apresenta metabolismo C4, sendo eficiente no uso de água (Sharma et al., 2005; Bibi et al., 2010). A diversidade genética presente nas populações de sorgo é empregada para o desenvolvimento de novas cultivares híbridas. A cultura apresenta diversos usos, como na alimentação animal (volumoso ou ração com o sorgo granífero), além do uso para a produção de etanol e produtos alimentícios para humanos (Hmielowski, 2017; Manarelli et al., 2019).

O primeiro relato histórico do cultivo de sorgo data da safra de 2014/2014, em que as produções foram estimadas em 1.891,2 milhões de toneladas para todo território nacional, com uma área de 722,6 milhões de hectares. Na safra 2021/2022 a produção prevista foi de 2.661,9 milhões de toneladas, em uma área de 920,7 milhões de hectares, um aumento de 40% para produção e de 27% na área de cultivo em relação a 2014. Há uma expansão do sorgo no nordeste brasileiro e uma crescente demanda em outras regiões do país, porém, a falta de computação dos dados referentes a produção e a área cultivada em alguns estados, deixa vago saber sobre a história do sorgo no território brasileiro.

Nos últimos anos, a cultura do sorgo tem atraído os agricultores do nordeste brasileiro, que buscam uma forma mais rentável de manejo para a segunda safra. Tais locais sofrem com a redução no volume de chuva na segunda safra em sistema de cultivo de sequeiro, sendo o sorgo uma alternativa em substituição ao cultivo do milho (Major; McGinn & Beachemin, 2021). De acordo com Pereira Filho & Rodrigues et al. (2015), o sorgo apresenta traços morfofisiológicos que lhe conferem uma maior eficiência no uso da água, o que, em conjunto com seu sistema radicular eficiente, atuam na tolerância da cultura à seca. Diante disso, a utilização do sorgo para a segunda safra é uma opção viável, visando a tolerância ao déficit hídrico (Craufurd, 2001; Magalhães et al. 2003; Sanon et al., 2014;).

De origem tropical, o sorgo é um dos cultivos agrícolas mais sensíveis a baixas temperaturas noturnas, onde a temperatura ótima para o crescimento está por volta de 33-34°C, sendo que, acima de 38°C e abaixo de 16°C a produtividade decresce (Clegg et al. 1983; Magalhães et al., 2015). A temperatura ótima para a diferenciação floral de 27°C durante o dia (Sanon et al., 2014).

É uma cultura que responde ao fotoperíodo curto e a temperatura de forma variada. Se o fotoperíodo for longo e com altas temperaturas, seu ciclo é encurtado, pois a planta tem uma tendência a florescer com a redução das horas de luz. Atualmente, o sorgo granífero não possui uma relação direta com o fotoperíodo, pois as cultivares foram melhoradas geneticamente para serem insensíveis ao fotoperíodo.

Mesmo com suas propriedades tolerantes ao déficit hídrico, o sorgo necessita de aproximadamente 300 mm de água durante seu ciclo. O estresse hídrico pode provocar alterações morfológicas e metabólicas nas plantas de sorgo, que podem culminar em redução na produtividade da cultura (Zhang et al., 2016). A falta de água pode provocar redução do número de folhas, redução na área foliar, decréscimo na fotossíntese, redução no número de sementes, maior senescência das folhas e redução da produtividade de grãos (Chen et al., 2015; Nxele et al., 2017).

Com o avanço dos programas de melhoramento genético e da tecnologia de hibridação, tem-se desenvolvido híbridos de sorgo adaptados as distintas regiões de cultivo. Além disso, os novos híbridos têm apresentado características de interesse agrônomo, como porte baixo, alta capacidade produtiva de grãos, sistema radicular bem desenvolvido, tolerância a doenças, pragas e estresse hídrico, além da ausência de tanino, que prejudica a qualidade do alimento, reduzindo a sua digestibilidade (Ratnavanthi, 2016; Lamessa et al., 2016).

2.3 Cultivo em segunda safra

Com o aumento da demanda por alimentos em decorrência do acréscimo populacional, a agricultura tem como objetivo a produção de uma maior quantidade de alimentos, mas também, de forma sustentável. Com isso, fez-se necessário o estabelecimento do cultivo de grãos em uma segunda safra, além da safra convencional, em algumas regiões do Brasil. Entretanto, nem todas as culturas cultivadas na região nordeste apresentam especificidades às condições climáticas de cultivo na segunda safra, que compreende o período de semeadura entre janeiro a março. Neste período o volume de chuvas é reduzido, tornando a demanda hídrica das culturas um desafio, além disso, há maior oscilação na temperatura do ar (máxima e mínima) e na quantidade da radiação solar (Goes et al., 2011).

O milho é uma cultura caracterizada como de alta demanda hídrica, demonstrando a necessidade de 412-648mm de água durante seu ciclo dependendo da região. A ocorrência de déficit hídrico na floração e no desenvolvimento da inflorescência, fertilização e enchimento de grãos causa grandes prejuízos para a cultura, podendo tornar irreversíveis as perdas na produção de grãos (Andrea et al., 2019). Por esse motivo, uma alternativa para a segunda safra na região nordeste seria a cultura do sorgo, cultura que vem se mostrando mais tolerante as condições de deficiência hídrica e de solos de média fertilidade (Pale et al., 2003; Von Pinho et al., 2007; Conceição et al., 2022).

A utilização do sorgo vem ganhando cada ano mais espaço e importância econômica devido ao desenvolvimento de novos híbridos com tolerância ao déficit hídrico e ao estresse térmico, bem como, devido a diferença nos preços de comercialização do sorgo em relação ao valor do milho e as vantagens no controle de pragas (Staggenborg et al., 2008; Masuda & Goldsmith, 2009).

Com a evolução e o melhoramento genético, surgiram híbridos de milho e de sorgo que vem contribuindo para a expansão da semeadura em segunda safra. Restrições como da quantidade de nutrientes e água no solo limitam a crescimento das culturas dentro do ciclo vegetativo, sendo que a época da semeadura pode interferir para a ocorrência de déficit hídrico em épocas de maior demanda pelas plantas. Por esse motivo, é indispensável determinar a época mais adequada de semeadura para cada cultura, almejando a produtividade de grãos (Tardin et al., 2013). A produtividade de grãos das culturas está entre os componentes da rentabilidade e está diretamente ligada a interação do genótipo com meio ambiente e com manejo (Lobell et al., 2009; Cruz; Carneiro & Regazzi, 2014).

2.4 Interação Genótipo X Ambiente

A interação entre genótipo e ambiente (GxA) ocorre devido ao comportamento diferencial que os materiais genéticos possuem frente a variação do ambiente, tais como clima, solo, safra, épocas de semeadura, fertilizantes e nível de tecnologia utilizada. A seleção de características quantitativas economicamente e agronomicamente importantes como a produtividade é dificultada na presença da

interação GxA, isso por que, cada genótipo apresenta de forma diferenciada a alteração no seu desempenho de acordo com o ambiente em que está sendo submetido (González-Barrios et al., 2019).

Para identificarmos a adaptação dos genótipos em diferentes ambientes são avaliadas diversas características, cada uma com sua determinada finalidade, como produtividade, altura de planta, tempo de germinação, intervalo do plantio a colheita, etc. A avaliação de tais características se torna necessária pois além de sabermos os genótipos mais adaptáveis, podemos identificar também, os mais estáveis. A interação entre o genótipo e ambiente é de grande importância na identificação de híbridos superiores (Katsenios et al., 2021), com alta produtividade, estabilidade e ampla adaptabilidade, ou seja, adaptado a mais de uma região de cultivo. As condições de cultivo e edafoclimática de uma mesma área experimental, são suficientes para proporcionar variações na manifestação do fenótipo e consequentemente expressar os efeitos da interação GxA (Bojtor et al., 2021).

Nos estudos de interação GxA, a palavra “Local” refere-se ao ambiente em que a planta é submetida, abrindo a possibilidade de realizar comparações entre locais de cultivo com características em comum, como temperatura, pluviosidade, fotoperíodo, etc. Vale ressaltar que, a seleção de um genótipo para utilização em um determinado local, não significa que esse expresse igualmente suas características quando comparadas com um outro local. Os materiais genéticos podem ser muito bem avaliados baseando-se nas características como produção de sementes viáveis para prosseguir com o lançamento do híbrido no mercado ou então, por possuírem características distintas como resistência a estresses. Genótipos com baixa produção de grãos em determinados locais, mas que apresentam outras características favoráveis como a resistência a seca ou a pragas, podem ser aproveitados pelo melhorista como fontes de variabilidade, podendo compor esquemas de cruzamentos e serem assim melhorados (Pacheco et al., 2017; Vasconcelos et al., 2015).

Há metodologias que permitem avaliar o efeito e identificar a interação G x A, identificando híbridos mais adaptados e estáveis a determinados locais (Cruz; Regazzi & Carneiro, 2012). Os parâmetros utilizados servem para avaliar a capacidade dos genótipos em um determinado ambiente, como a previsibilidade do comportamento, alcançando boas produtividades e mantendo bom desempenho mesmo em condições

adversas (Oliveira et al., 2019; Cargnelutti Filho & Guadagnin, 2018; Eberhart & Russel, 1966).

A interação GxA, pode ser dividida em simples e complexa. Quando os modelos indicam a predominância de uma interação simples, a seleção pode ser realizada no ambiente de maior variabilidade genética, sem mudança significativa no ranqueamento dos genótipos observado nos outros ambientes. Quando ocorre a interação complexa, os genótipos são testados exclusivamente para determinados ambientes, sendo a informação restrita a ele, aumentando o trabalho do melhorista. A resposta da interação completa é mais esperada em programas de melhoramento voltados para obtenção de novas cultivares dentro de programas comerciais (Vencovsky & Barriga, 1992). A ocorrência da interação G x A de natureza complexa nos programas voltados à obtenção de novas cultivares influencia diretamente a confiabilidade da seleção e a recomendação dos genótipos para determinados ambientes (Lado et al., 2016).

A metodologia mais utilizada para detecção da interação genótipo x ambiente é a de análise de variância, que se fragmenta em individual e conjunta, onde, utilizando a análise conjunta, a interação G x A pode ser estudada por meio dos testes estatísticos adequados (Cruz; Regazzi & Carneiro, 2012).

As análises de variâncias servem para detectar diferentes informações, dentre elas, a interação G x A, porém não é de forma específica, uma vez que engloba todos os dados experimentais. Diante disso, existem alternativas para identificar melhor as características expressas pelos genótipos. Os estudos baseados em metodologias de adaptabilidade e estabilidade tornam possível identificar o comportamento de um genótipo de acordo com as variações ambientais, possibilitando a identificação dos genótipos com maior estabilidade, em condições específicas ou diversas (Cruz; Regazzi & Carneiro, 2012). As análises realizadas em diferentes condições ambientais contribuem auxiliando na escolha dos ambientes mais representativos, aumentando a eficiência na recomendação das cultivares e reduzindo os custos do melhoramento (Pacheco et al., 2017). Desta forma, tais análises são importantes na identificação e indicação de híbridos de milho ou sorgo para serem utilizados nas condições de segunda safra no nordeste do Brasil.

2.5 Adaptabilidade e Estabilidade

Os métodos de avaliação da adaptabilidade e estabilidade de genótipos são métodos complementares a análise de variância individual e conjunta. Em programas de melhoramento genético, normalmente na fase final, o desempenho dos genótipos é avaliado em diversos ambientes, para então realizar o posicionamento e a recomendação das cultivares. Neste momento, o melhorista realiza alguns estudos de forma que possa estimar, não apenas a produtividade média do genótipo, mas também a existência de um comportamento previsível e as respostas às variações ambientais, seja de forma específica ou ampla para os locais de interesse (Cruz; Regazzi & Carneiro, 2012; Lado et al., 2016).

Os genótipos apresentam diferentes capacidades adaptativas e produtivas, as quais são fortemente influenciados por estímulos bióticos e abióticos, tais como: clima, solo, local, safra, época de plantio, manejo de fertilizante, tratos culturais. Desta forma, para garantir o máximo potencial produtivo é preciso desenvolver e identificar genótipos que possam se adequar às diferentes condições edafoclimáticas e de manejo (Vasconcelos et al., 2015; Mastrodomenico et al., 2018). Para tanto, os conceitos e metodologias de estimação de adaptabilidade e de estabilidade são amplamente empregados.

A adaptabilidade refere-se ao potencial e a capacidade do genótipo de se moldar e aproveitar favoravelmente os estímulos do ambiente (Cruz; Carneiro & Regazzi, 2014). Já, segundo esses autores, a estabilidade é um critério para estimar a capacidade do genótipo de mostrar seu comportamento previsível em razão ao estímulo do ambiente, ou seja, se o genótipo possui um grande ou pequeno desvio-padrão do comportamento em relação ao esperado, em um determinado conjunto de ambientes. As melhorias nos ambientes podem ser em função dos diversos efeitos bióticos e/ou abióticos presentes nos anos agrícolas de um determinado um local, onde, genótipos responsivos e adaptados tem a capacidade de exibir o seu comportamento de forma previsível, mesmo com as alterações ambientais (Cruz; Regazzi & Carneiro, 2012; Borém et al., 2017).

Várias metodologias estatísticas têm sido propostas para estimar a adaptabilidade e a estabilidade dos diferentes genótipos nas culturas agrícolas. Esses

métodos podem ser baseados em análise de variância, análise de regressão linear, regressão bissegmentada, análise de fatores, análise não-paramétrica, análise multivariada, entre outros (Cargnelutti Filho et al., 2007).

Como existem diferentes métodos a serem empregados na análise de estabilidade e adaptabilidade, a escolha de qual metodologia utilizar vai depender de fatores como o ambiente avaliado, o número de genótipos analisados, a precisão do estudo e o tipo de informação que se deseja obter. Algumas das metodologias empregadas para a análise de adaptabilidade são: Eberhart & Russel (1966), Lin & Binns (1988), Annicchiarico (1992), AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis) e modelos mistos – REML/Blup (Chaves, 2001; Souza et al., 2015; Resende, 2016)

No estudo de estabilidade, o método de regressão é o mais empregado. O método de regressão foi proposto por Yates e Conchran (1928), mas somente nos trabalhos de Finlay & Wilkinson em 1963 e Eberhart & Russel em 1966, a regressão recebeu uma maior atenção. Os métodos propostos por estes autores baseiam-se na resposta de cada genótipo à variação ambiental, sendo uma análise baseada na regressão linear unisegmentada.

No método proposto por Finlay & Wilkinson, cada um dos genótipos tem um ajuste de regressão linear simples em relação ao índice ambiental, fixado como uma constante obtida pela diferença das médias de todos os genótipos no ambiente e a média geral. O método proposto por Eberhart & Russel, se trata de uma expansão do modelo proposto por Finlay e Wilkinson, de tal modo que, tanto os coeficientes de regressão dos valores fenotípicos de cada genótipo em relação ao índice do ambiente, quanto aos desvios da regressão, proporcionam estimativas de parâmetros para adaptabilidade e estabilidade. Nesta metodologia, o coeficiente de regressão superior a 1, refere-se a um genótipo com bom desempenho em ambiente favorável, quando o coeficiente de regressão for inferior a 1, o genótipo tem bom comportamento em ambiente desfavorável. O genótipo ideal é aquele que possui coeficiente de regressão igual a 1, baixo desvio de regressão e alta média de produtividade. O método de Eberhart & Russel (1966) é utilizado em múltiplas culturas, pois apresenta resultados simples e de fácil interpretação (Cargnelutti Filho & Guadagnin, 2018).

O método de Lin & Binns (1988) é uma medida relativa para uma cultivar ideal, a qual possui uma adaptabilidade geral e um coeficiente de regressão igual ou próximo a 1, distinguindo o comportamento das cultivares ao longo dos ambientes. A estimação da estabilidade é por meio do parâmetro P_i . O P_i demonstra a máxima superioridade de um genótipo, representada pela relação do quadrado médio da distância entre a resposta de um genótipo com outro genótipo que possui a máxima característica, comparando todos os genótipos em um determinado ambiente. Quanto menor a distância entre a resposta do cultivar com o outro, que possui o maior número para aquela característica, menor o P_i , tornando-o mais estável (Lin & Binns, 1988).

O método de Annicchiarico (1992), baseado na análise de variância conjunta analisa todos os ambientes e o desdobramento da soma de quadrados dos efeitos dos ambientes e da interação $G \times A$, bem como, os efeitos de ambientes dentro de cada genótipo. A metodologia possui um índice estatístico de confiança (I_i), resultado expresso em porcentagem em relação à média dos ambientes, onde, quanto maior o índice de confiança, menor a probabilidade de insucesso da seleção (Pimentel - Gomes, 2000). O nível de significância é de 25% e a adaptabilidade e estabilidade são adquiridas por meio do desvio padrão entre as médias percentuais dos ambientes (Cruz, Carneiro & Regazzi, 2014). Esta metodologia relata o grau de confiança do teste, que pode variar de 70 a 95%. Entretanto, quanto maior o grau de confiança (índice de confiança), mais difícil é de distinguir o genótipo superior, por isso os melhoristas preferem utilizar 75% como parâmetro. Esse método recomenda os genótipos considerando o risco de estes terem um desempenho inferior em relação à média geral.

O método baseado na análise AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction), trata-se de uma análise que detalha melhor a soma de quadrados da interação $G \times A$, trazendo vantagens na seleção dos genótipos em comparação a outros métodos. O método combina técnicas estatísticas como a análise de variância e a análise de componentes principais, com ajuste da interação $G \times A$. O método AMMI permite obter conclusões sobre a estabilidade, o desempenho do genótipo, a divergência genética e os ambientes onde os genótipos possuem desempenho otimizado (Gauch & Zobel, 1996). Permite em um único modelo a análise de variância dos efeitos aditivos dos genótipos e os componentes principais do efeito multiplicativo

de um ambiente otimizado, analisando a interação GxA. Esta análise possibilita identificar o genótipo de boas características e largamente adaptado, com estimativas mais precisas das respostas genotípicas, sendo também, de fácil interpretação gráfica dos resultados (Chaves, 2001).

A metodologia GGE-Biplot (genotype main effects + genotype environment interaction), busca agrupar o efeito do genótipo aditivo da análise AMMI, com a interação do efeito multiplicativo, e submeter eles aos efeitos das análises dos componentes principais. A técnica do GGE-Biplot integra a análise de variância com a análise de componentes principais, demonstrando eficiência na explicação da maior proporção da soma de quadrados da interação quando comparada com a análise de variância e com a análise de regressão conjunta. No método GGE-Biplot é produzido um gráfico de dispersão multivariada, no qual algumas informações podem ser observadas como, as similaridades e as diferenças entre ambientes na discriminação dos genótipos, a similaridade e diferença entre genótipos e seu comportamento nos ambientes, a natureza de forma positiva e/ou negativa e a magnitude da interação entre cada genótipo e ambiente (Yan et al., 2000)

O método baseado em modelos lineares mistos - REML/Blup (máxima verossimilhança restrita) / (melhor preditor linear não-viesado), apresenta vantagem em relação aos métodos tradicionais, pois considera os erros correlacionados dentro dos locais, além da estabilidade e adaptabilidade na seleção dos genótipos superiores. Esse método pode ser aplicado em qualquer ambiente e experimentos desbalanceados. O método REML/BLUP, tornou-se o método padrão para a estimativa de componentes de variância e parâmetros genéticos, preferencialmente quando os dados obtidos são desbalanceados (Spilke et al., 2005). As propriedades do Blup permitem maximizar a acurácia da seleção, reduzindo o erro de predição e a predição não viciada dos valores genéticos, maximizando o ganho genético por ciclo de seleção, com maior probabilidade de selecionar o melhor entre dois ou vários genótipos (Resende, 2016; Andrade et al., 2016).

A análise do Blup baseia-se em uma relação de, quanto menor o desvio padrão do comportamento genotípico pelo ambiente, maior será a média harmônica de seus valores genotípicos. De tal modo que, a seleção dos maiores valores genotípicos da média harmônica dos valores genotípicos (MHVG) indica simultaneamente a seleção

para produtividade e estabilidade. A adaptabilidade refere-se ao desempenho relativo dos valores genotípicos (PRVG) por meio dos ambientes. Os valores genotípicos preditos são representados por uma porção da média geral de cada ambiente, seguido da obtenção do valor médio dessa proporção dos locais. A seleção conjunta da produtividade, da estabilidade e da adaptabilidade é realizada por meio dos modelos mistos, realizada pelo método da média harmônica do desempenho relativo dos valores preditos (MHPRVG) (Resende & Duarte, 2007).

O REML/Blup tem como vantagens considerar os efeitos aleatórios, ou seja, a estimativa da estabilidade e adaptabilidade genotípica e não fenotípica; a eliminação da pressuposição de balanceamento; os delineamentos não precisam ser ortogonais; admite a desigualdade das variâncias; considera o erro dos locais; elimina os efeitos de instabilidade dos valores genéticos; não limita o número máximo e mínimo de ambiente; considera a estabilidade e adaptabilidade na seleção dos indivíduos; é independente de outros parâmetros como os coeficientes de regressão; os resultados são padronizados nos caracteres avaliados; e possibilita a seleção levando em conta três atributos simultâneos (Resende, 2016).

Devido a existência desse grande volume de métodos que podem ser aplicados ao estudo da adaptabilidade e estabilidade, fica evidente a complexidade do assunto e a dificuldade do processo de escolha do método mais adequado. Além disso, em muitos casos, não há consenso na classificação dos genótipos entre os métodos. Assim, a definição de qual genótipo será recomendado dependerá do método adotado. No entanto, independente da metodologia aplicada, os estudos de adaptabilidade e estabilidade tem como objetivo identificar genótipos adaptados e estáveis.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na Fazenda Sol Nascente, na Fundação de Apoio à Pesquisa do Corredor de Exportação Norte, localizada na região de Balsas no estado do Maranhão (latitude: 7° 27'21.4128"S e longitude: 46° 01'34.7844"N, com altitude média de 243 metros) na segunda safra do ano agrícola de 2020/2021.

O solo do local é classificado como Latossolo Amarelo Distrófico, de textura média. O clima da região segundo Köppen é do tipo AW (tropical chuvoso) com dois períodos bem definidos: período chuvoso que vai de setembro a março, com médias mensais de pluviosidade superiores a 132,6 mm e, período seco, que vai de maio a agosto, com intensidade elevada de seca em junho e julho. No período de estiagem a precipitação pluviométrica varia de 3,4 a 159,8 mm, com precipitação total anual em torno de 1.150 mm. A temperatura mínima é de 22°C e a máxima de 36°C, com média anual de 26°C. A escolha do local ocorreu devido as características climáticas da região de cultivo em segunda safra para as culturas do milho e do sorgo.

Os dados meteorológicos de precipitação (mm), temperatura média, máxima e mínima (°C) utilizados para comparação neste estudo, foram obtidos digitalmente do INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, provenientes da estação automática de Balsas – MA, sendo observada sua variação entre os meses de janeiro a julho de 2021 (período de realização dos experimentos) (Figura 1).

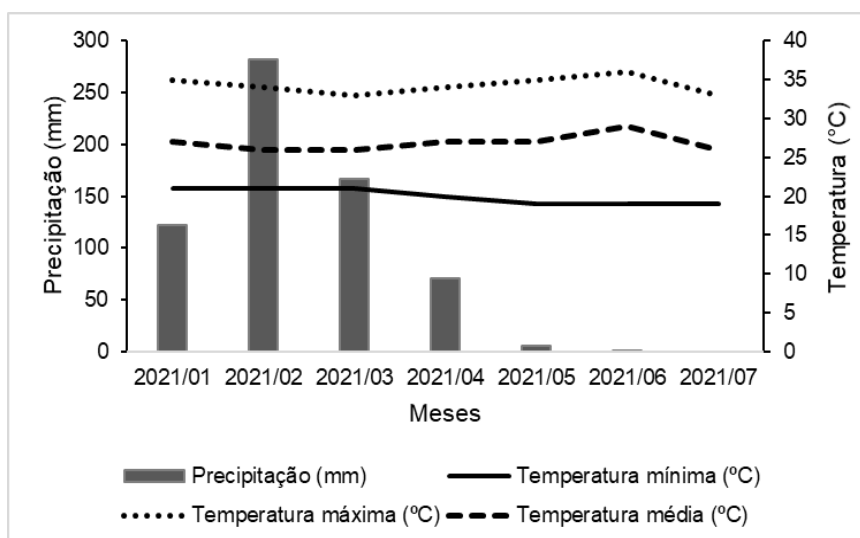


Figura 1. Dados meteorológicos de precipitação (mm), temperatura máxima, média e mínima (°C) dos meses de janeiro a julho de 2021, Balsas - MA.

3.2 Tratamentos testados e delineamento experimental

Foram conduzidos seis ensaios experimentais com sete híbridos de milho (Tabela 1) e sete híbridos de sorgo (Tabela 2), semeados em diferentes épocas de semeadura.

Tabela 1. Híbridos de milho avaliados nos experimentos, semeados em segunda safra na região de Balsas - MA, 2021.

ID	Híbrido	Ciclo	Época indicada	Finalidade
M1	P3707 VYH	P	S; SS	G/S
M2	P3754 PWU	P	S; SS	G
M3	MG447 PWU	SP	S; SS	G
M4	MG607 PWU	P	S; SS	G
M5	P2970 VYHR	SP	S; SS	G
M6	MG408 PWU	SP	S; SS	G
M7	P2719 VYH	P	S	G/S

Sendo ciclo = SP: Super precoce; P: precoce; N: Normal. Época de semeadura = S: safra; SS: Segunda Safra. Finalidade = G: Grãos; S: Silagem.

Previamente a instalação do experimento foi realizada a correção da fertilidade do solo, sendo aplicado 200 kg ha⁻¹ do adubo fosfato monoamônico – MAP na composição de 10% de nitrogênio (N) e 50% de fósforo (P₂O₅).

Tabela 2. Híbridos de sorgo avaliados no experimento em segunda safra na região de Balsas - MA, 2021.

ID	Híbrido	Ciclo	Época indicada	Finalidade	Coloração	Tanino
S1	50A10	SP	S; SS	G	C	S
S2	AS4639	P	SS	G	AV	S
S3	AG1095	N	SS	G	AV	S
S4	DKB540	P	S; SS	G	AL	S
S5	GREENTEC 327	P	SS	G	AL	S
S6	NTX 100	P	SS	G	AL	S
S7	NTXS 200	N	SS	G	AL	S

Sendo: ciclo = SP: Super precoce; P: precoce; N: Normal. Época de semeadura = S: safra; SS: Segunda Safra. Finalidade = G: Grãos; Coloração = C: Castanho; AV: Avermelhado; AL: Alaranjado. Tanino = S: Sem tanino.

A implantação das culturas foi realizada de forma mecanizada, utilizando uma semeadora a vácuo. A semeadura foi realizada em seis diferentes épocas conforme Tabela 3, sendo considerada cada época de semeadura como um ambiente distinto.

Tabela 3. Data de semeadura das cultivares de milho e sorgo dos experimentos conduzidos no município de Balsas - MA, 2021.

Data da semeadura	Épocas
09 de fevereiro de 2021	Época 1 (Ambiente 1)
15 de fevereiro de 2021	Época 2 (Ambiente 2)
20 de fevereiro de 2021	Época 3 (Ambiente 3)
24 de fevereiro de 2021	Época 4 (Ambiente 4)
27 de fevereiro de 2021	Época 5 (Ambiente 5)
03 de março de 2021	Época 6 (Ambiente 6)

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, em um arranjo experimental em faixas. As parcelas experimentais foram constituídas por quatro linhas contendo 12 m de comprimento espaçadas em 0,50 m entre si, num total de 2 m de largura, totalizando 24 m². A população de plantas foi de 60 mil plantas ha⁻¹ para cultura do milho e 220 mil plantas ha⁻¹ para a cultura do sorgo. As duas linhas laterais foram consideradas como bordaduras, sendo contabilizada como área útil de cada parcela apenas as duas linhas centrais, com a exclusão de 0,5m em cada uma das extremidades.

No decorrer do ciclo das culturas, os tratamentos culturais como o manejo e controle de pragas, doenças e plantas infestantes foram baseados nas recomendações para cultura do milho e do sorgo (EMBRAPA, 2020). Foi realizada a adubação nitrogenada em cobertura utilizando ureia (fonte de N, 50%) na quantidade de 160 kg ha⁻¹, nos estádios vegetativos V3 e V6 (três e seis folhas expandidas, respectivamente).

As características avaliadas na cultura do milho foram com base nos parâmetros da EMBRAPA (2020) sendo elas:

AP: altura da planta, definida como a distância entre o solo e a inserção da folha bandeira, expressa em cm;

AE: altura da espiga, definido como sendo a distância entre o solo e o ponto de inserção da espiga principal, expressa em cm;

PROD: produtividade de grãos, obtida por meio da pesagem dos grãos de cada parcela, seguidos da correção da população de plantas e da umidade (13%) e extrapolado para kg ha⁻¹.

Para a cultura do sorgo foram avaliadas as seguintes características:

AP: altura da planta (distância do solo até a inserção da folha bandeira, expressa em cm);

AC: altura do cacho (distância entre o solo e o ponto de inserção da panícula no colmo, expresso em cm);

PROD: produtividade de grãos, obtida por meio da pesagem dos grãos de cada parcela, seguidos da correção da população de plantas e da umidade (13%) e extrapolado para kg ha⁻¹.

Após coletados os dados das características avaliadas, estes foram tabulados e submetidos às análises estatísticas.

3.3 Análises estatísticas

As análises estatísticas descritas abaixo foram todas realizadas de forma individual para as culturas do milho e do sorgo.

3.3.1 Análise de variância individual

Para cada ambiente e variável foi realizada a análise de variância individual, adotando-se o seguinte modelo:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + b_j + \varepsilon_{ij}$$

Onde:

Y_{ij} = é o valor observado obtido do i-ésimo genótipo avaliado no j-ésimo bloco;

μ = é a média geral;

g_i = é o efeito fixo do i-ésimo genótipo ($i = 1, 2, \dots, 7$);

b_j = é o efeito do j-ésimo bloco ($j = 1, 4$);

ε_{ij} = é o erro aleatório associado à observação y_{ij} .

A análise de variância foi realizada para cada época de semeadura, com o propósito de identificar épocas homogêneas, e em seguida, com elas, foi realizada a análise conjunta (diferentes épocas). A homogeneidade das variâncias residuais no

presente estudo foi avaliada por meio da razão entre o maior e menor quadrado médio residual dos ensaios, onde, por meio deste teste, as variâncias foram consideradas homogêneas quando esta razão foi inferior a 7,0 (Pimentel-Gomes, 1990).

3.3.2 Análise de variância conjunta

Considerando os dados dos seis ambientes avaliados foi realizada a análise de variância conjunta para cada característica, a fim de verificar a presença da interação GXA, de acordo com o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + B/A_{jk} + A_j + GA_{ij} + \epsilon_{ijk},$$

Onde:

Y_{ijk} = é a observação do k-ésimo bloco, avaliado no i-ésimo genótipo e j-ésimo ambiente;

μ = é a média geral do ensaio;

G_i = é o efeito fixo do i-ésimo genótipo ($i = 1, 2, \dots, 7$);

$(B/A)_{jk}$ = efeito do bloco k dentro do ambiente (modelo 1);

A_j = efeito aleatório do ambiente j;

GA_{ij} = efeito da interação entre o genótipo i e o ambiente j;

ϵ_{ijk} = é o erro experimental associado as observações Y_{ijk} .

3.3.3 Teste de comparação de médias

Após as análises de variância foi realizado o teste de comparação de médias de Tukey ($p < 0,05$) para as características avaliadas, sendo testadas as médias dos genótipos isolados em cada ambiente, dos ambientes e a média das características proporcionadas pela interação GxA.

3.4 Análise de adaptabilidade e estabilidade

O estudo da estabilidade e adaptabilidade foi realizado utilizando seis metodologias, sendo elas: Annicchiarico (1992), Eberhart & Russell (1966), Lin &

Binns (1988), AMMI (Additive Main effects and Multiplicative Interaction), GGE Biplot (Genotype main effects + Genotype environment interaction) e modelos mistos REML/Blup (Máxima verossimilhança restrita) / (melhor preditor linear não-viesado).

3.4.1 Metodologia de Annicchiarico (1992)

Esta metodologia estima o índice de confiança (li), de acordo com o seguinte modelo estatístico:

$$li = Yi - Z(1-\sigma) \cdot Si$$

Onde:

li = é o índice de confiança em porcentagem (%);

Yi = é a média do genótipo i em porcentagem (%);

$Z(1-\sigma)$ = é o valor na distribuição normal standardizada no qual a função de distribuição acumulada atinge o valor $(1 - \sigma)$, com nível de significância σ pré-fixada pelo autor em 0,25.

Si = é o desvio padrão dos valores percentuais.

3.4.2 Metodologia de Eberhart & Russel

Estima os parâmetros por meio da regressão, considerando o seguinte modelo:

$$Y_{ij} = \mu_1 + \beta_1 l_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Onde:

Y_{ij} é a média do genótipo i no ambiente j ;

μ_1 é a média geral do genótipo i em todos os ambientes;

β_1 é o coeficiente de regressão linear que mede a resposta do i -ésimo genótipo à variação do ambiente;

l_j é o índice ambiental;

δ_{ij} é o desvio de regressão; e

ε_{ij} é a média do efeito dos fatores não controlados.

3.4.3 Metodologia de Lin & Binns (1988)

É um método de estimação não paramétrico, seguindo o seguinte modelo:

$$P_i = \frac{\sum_j^n (X_{ij} - M_j)^2}{2n}$$

Onde:

P_i é igual a estimativa da estabilidade e adaptabilidade da cultivar “i”;

X_{ij} é a produtividade do i-ésimo cultivar no j-ésimo local;

M_j é a resposta máxima observada entre todas as cultivares no local “j”;

n é o número de locais.

3.4.4 Método de AMMI

Método de análise da interação multiplicativa dos efeitos principais aditivos (AMMI), realizado utilizando o seguinte modelo:

$$\tilde{Y}_{ij} = \mu + g_i + a_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k Y_{ik\alpha jk} + \rho_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Onde:

$\tilde{Y}_{ij}$ = é a produtividade média do genótipo ($i = 1, 2, \dots, 7$) no ambiente j ($j = 1, 2, \dots, 6$); μ

= é a média geral dos experimentos;

g_i = valor singular da matriz de interações;

a_j = é o efeito do ambiente j ;

λ_k = k-ésimo valor singular da matriz;

Y_{ik} = é o elemento correspondente ao i-ésimo genótipo; no k-ésimo vetor singular coluna da matriz GA;

α_{jk} = é o elemento correspondente ao j-ésimo ambiente no k-ésimo vetor singular linha da matriz GA;

ρ_{ij} = é o resíduo associado ao termo da interação clássica do genótipo i com o ambiente j ;

ε_{ij} = é o erro experimental médio associado às observações assumindo como independente $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$;

n = é o número de eixos ou de componentes principais retido para descrever o padrão da interação GXA.

3.4.5 Método do GGE-Biplot

O gráfico GGE-Biplot foi construído a partir dos dados da decomposição das médias empíricas, expondo graficamente qual é o genótipo com melhor desempenho. O modelo GGE-Biplot foi realizado utilizando o seguinte modelo:

$$Y_{ij} - \mu_j = \lambda_1 \gamma_{i1} \alpha_{j1} + \lambda_2 \gamma_{i2} \alpha_{j2} + \varepsilon_{ij}$$

Onde:

Y_{ij} : representa a produtividade média de grãos do genótipo “i” no ambiente “j”.

μ_j : é a produtividade média geral dos genótipos no ambiente j.

$\lambda_1 \gamma_{i1} \alpha_{j1}$: é o primeiro componente principal (PC1), do efeito de genótipos + interação genótipos x ambientes.

$\lambda_2 \gamma_{i2} \alpha_{j2}$: é o segundo componente principal (PC2), do efeito de genótipos + interação genótipos x ambientes.

λ_1 e λ_2 : são os autovalores associados a PC1 e PC2, respectivamente.

γ_{i1} e γ_{i2} : são os escores do primeiro e segundo componente principal, respectivamente, para o i-ésimo genótipo.

α_{j1} e α_{j2} : são os escores do primeiro e segundo componente principal, respectivamente para o j-ésimo ambiente.

ε_{ij} : é o erro associado com o modelo do i-ésimo genótipo e j-ésimo ambiente.

3.4.6 Método do REML/Blup

As análises estatísticas considerando modelos mistos via REML/Blup foram realizadas utilizando o modelo 52 do software SELEGEN-REML/Blup (Resende, 2016), adequado para análise de ensaios em blocos incompletos instalados em vários locais, fornecendo também valores preditos da medida de adaptabilidade e estabilidade (MHPRVG), conforme o seguinte modelo:

$$Y = Xr + Zg + Wp + e$$

Onde:

Y = é o vetor de observações fenotípicas para um caráter;

X = é a matriz de incidência para os efeitos fixos;

r = é o vetor de efeitos replicados (assumido como fixo) adicionado à média geral;

Z = Matriz de incidência para os efeitos genotípicos;

g = é o vetor efeitos genotípicos individuais (assumidos como aleatória);

W = é a matriz de incidência para os efeitos de parcelas;

p = é o vetor de efeitos de plotagem (aleatório);

e = é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios).

Por meio desse modelo foram obtidos os preditores Blup (REML/Blup) dos valores genotípicos livres da interação GXA, dados por $\mu_j + g_j$, em que, μ é a média de todos os ambientes e g_i , a predição do efeito genotípico. Para cada ambiente j , os valores genotípicos (Vg) foram preditos por $\mu_j + g_i + (ge)_{ij}$, em que, μ_j é a média do ambiente j ; g_i é o efeito do genótipo i , no ambiente j ; e $(ge)_{ij}$ é o efeito da interação GXA relativa ao genótipo i .

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa computacional Genes e sua integração com o programa estatístico R (Cruz, 2016; R Core Team, 2022). Para a metodologia REML/Blup foi utilizado o programa SELEGEN (Resende, 2016; R Core Team, 2022).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análises de variância e teste de comparação de médias para a cultura do milho

Na análise de variância individual verifica-se que houve efeito significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de F para todas as características avaliadas (Tabela 4.1). Tal fato evidencia que, a semeadura do milho em diferentes datas foi capaz de alterar a manifestação das características avaliadas, sendo que, pelo menos um dos híbridos foi melhor ou pior que os demais dentro de cada uma das épocas

testadas. Miranda et al. (2021) também observaram que as condições climáticas devido as diferentes épocas de semeadura afetam os estádios de desenvolvimento das plantas e os componentes de produção, sendo a irregularidade das chuvas a principal causa relacionada a queda na produtividade de grãos.

Tabela 4.1. Resumo da análise de variância individual para as características altura de planta (cm), altura de espiga (cm) e produtividade de grãos (kg ha⁻¹) de híbridos de milho avaliados em seis épocas de semeadura no município de Balsas - MA em 2021.

Época	Altura de planta				
	Média	QM (BLOCO)	QM (RES)	QM (TRAT)	CV (%)
1	152,55	19,35	41,36	901,98**	4,22
2	162,34	13,22	37,29	845,76**	3,76
3	149,85	4,67	7,33	469,37**	1,81
4	147,62	5,28	5,10	334,52**	1,53
5	141,64	3,59	7,61	330,04**	1,95
6	139,06	2,21	5,88	324,43**	1,74

Relação maior/menor QMR = 8,11

Época	Altura de espiga				
	Média	QM (BLOCO)	QM (RES)	QM (TRAT)	CV (%)
1	80,77	24,29	9,78	196,02**	3,87
2	83,56	74,37	57,52	868,78**	9,08
3	72,48	144,97	49,40	277,12**	9,70
4	69,80	49,37	32,08	365,27**	8,11
5	63,78	47,62	28,10	320,82**	8,31
6	60,92	92,62	28,65	389,94**	8,79

Relação maior/menor QMR = 5.88

Época	Produtividade de grãos				
	Média	QM (BLOCO)	QM (RES)	QM (TRAT)	CV (%)
1	5361,89	68.897,79	33.280,99	8198.107,72 **	3,40
2	4851,59	55.156,64	18.139,26	5.973.222,54 **	2,77
3	3408,21	61.101,65	14.343,29	3.412.563,11**	3,49
4	2237,33	40.079,9	9.793,22	1.790.580,77**	4,44
5	1414,56	32.608,66	8.776,85	171.129,67**	6,62
6	1006,10	11.349,95	5.848,26	153.268,38**	7,75

Relação maior/menor QMR) = 5.69

ns: não significativo; ** Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F. O grau de liberdade de tratamento e de resíduo foram iguais a 6 e 18, respectivamente. QM - Quadrado médio; CV coeficiente de variação.

Os valores dos coeficientes de variação (CV%) foram de baixa magnitude para a maioria das características nos diferentes ambientes, oscilando de 1,53% (altura de

plantas, na época 4) até 9,70% (altura da espiga, na época 3). Tais valores indicam uma boa precisão experimental, ou seja, que os experimentos foram bem conduzidos e que os dados experimentais obtidos são confiáveis (Fritsche Neto et al., 2012).

Ainda na Tabela 4.1, verifica-se que as variâncias residuais das análises individuais foram homogêneas para as características altura da espiga (5,88) e produtividade de grãos (5,69), uma vez que, a razão entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo (QMR) foi menor que 7,0. Para a AP, a relação entre o maior e o menor QMR foi de 8,11, por esse motivo foi realizado um ajuste no número de graus de liberdade como proposto por Cochran (1954). Após os ajustes, procedeu-se às interpretações relativas às significâncias do teste F a 5%. A homogeneidade das variâncias residuais dos experimentos permite a realização da análise conjunta, sendo possível inferir sobre a existência ou não da interação genótipo x ambiente (Pimentel-Gomes, 1990).

A análise de variância conjunta (Tabela 4.2) revelou efeito significativo de interação entre híbridos de milho e épocas de semeadura (ambientes), para todas as características avaliadas. O efeito significativo de interação H x A indica que os genótipos tiveram comportamento diferenciado frente aos ambientes testados, ou seja, as diferentes épocas de semeadura.

Tabela 4.2. Resumo da análise de variância conjunta para as características altura de planta (AP, cm), altura de espiga (AE, cm) e produtividade de grãos (PROD, kg ha⁻¹) de híbridos de milho avaliados em seis épocas de semeadura no município de Balsas - MA em 2021.

FV	GL	Quadrados Médios		
		AP	AE	PROD
Blocos	3	12,31	380,71	201.992,47
Híbridos (H)	6	2427,86**	1542,35**	12.089.687,40**
Ambientes (A)	5	1938,66**	2272,73**	90.895.533,25**
H x A	30	155,64**	175,12**	1.485.329,99**
Resíduo	123	16,18	31,35	155.568,13
Total	167	-	-	-
Média Geral		148,84	71,88	3.046,61
CV (%)		2.70	7.78	4,09

** Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F. FV - Fonte de variação; GL - grau de liberdade; SQ - Soma de quadrados; QM - quadrado médio; CV - coeficiente de variação.

Ainda na Tabela 4.2, verifica-se que os CVs foram de baixa magnitude (2,7% para AP, 7,78% para AE e 4,09% para PROD), demonstrando uma boa precisão experimental. Garbuglio (2018) em seu experimento observou valores semelhantes de CVs para a produtividade. Cargnelutti et al. (2007) avaliando a adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos em 34 cultivares de milho em quatro ambientes, também observaram efeito significativo da interação GxA, com CV oscilando de 10,69 a 13,29%. Faria (2017), avaliando diferentes híbridos de milho em diferentes ambientes, observou efeito significativo da interação GxA, assim como Miranda et al. (2021), que observaram interação significativa entre épocas de semeadura e híbridos de milho.

Por meio do teste de comparação de médias observa-se que houve uma oscilação nas médias dos híbridos de acordo com as épocas de semeadura para todas as características (Tabela 5). A maior média para a AP foi na 2ª época de semeadura (187,55 cm, híbrido MG408) e a menor na 1ª época, com 129,62 cm (híbrido P2719). Para AE a maior média geral foi na 1ª época, com 90,90 cm (híbrido P2970) e a menor média na 6ª época 47,90 cm (híbrido P2719). Tais características são importantes pois estão relacionadas ao acamamento das plantas e a colheita com reduzidas perdas. Repke et al. (2012) observaram valores semelhantes para altura de planta e altura da espiga (entre 1,69 a 2,12 m e de 0,99 a 1,23 m, respectivamente) sendo considerados valores bons para híbridos de milho. Segundo Li et al. (2007) e Siqueira et al. (2009), a altura da espiga pode contribuir para o acamamento, onde, quanto mais alta estiver, mais suscetível a planta está ao acamamento, devido ao centro de gravidade.

Para a produtividade de grãos, as médias oscilaram de 651,49 kg ha⁻¹ (híbrido P3707, época 6) até 7022,46 kg ha⁻¹ (MG408, época 1). A cultura do milho, para demonstrar seu potencial genético, necessita que os índices climáticos como temperatura, chuva e fotoperíodo sejam ótimos (Landau et al., 2016). Variações na produtividade podem ocorrer de local para local, de ano para ano, de safra para safra, ou seja, qualquer oscilação nos fatores bióticos pode comprometer o potencial produtivo da cultura (Stojakovic et al., 2015). Fabris (2016), verificou que a produtividade de híbridos de milho em condições de sequeiro, semeados em diferentes épocas, apresentaram uma queda de 1,6 sc ha⁻¹ por dia de atraso na semeadura, quando esta ocorreu a partir de 1º de março.

Tabela 5. Médias das características avaliadas nos híbridos de milho nos seis ambientes (épocas de semeadura) no município de Balsas - MA, 2021.

Híbridos	Altura de planta / Épocas de semeadura					
	1	2	3	4	5	6
MG408	151,60 CDbc	187,55 Aa	161,63 Bab	151,83 Cb	143,43 DEbc	138,60 Ebc
MG447	153,06 Abc	152,93 Ac	149,81 ABcd	142,91 BCc	134,69 CDd	134,10 Dc
MG607	146,20 ABc	151,47 Ac	141,27 BCe	142,75 BCc	135,10 CDcd	132,25 Dc
P2719	129,62 Cd	147,37 Ac	142,87 ABde	141,10 ABc	138,87 Bcd	134,80 BCbc
P2970	180,35 Aa	173,82 Ab	163,75 Ba	164,27 Ba	158,52 Ba	157,71 Ba
P3707	151,12 Abc	155,72 Ac	134,82 Be	137,92 Bc	133,17 Bd	133,12 Bc
P3754	155,87 Bb	167,52 Ab	154,77 Bbc	152,55 Bb	147,67 BCb	142,80 Cb

Híbridos	Altura de espiga / Épocas de semeadura					
	1	2	3	4	5	6
MG408	73,10 Bbc	103,87 Aa	76,92 Ba	68,15 BCbc	59,75 CDbc	54,92 Dbc
MG447	71,10 Ac	67,50 Ac	72,02 Aa	60,96 ABcd	52,86 Bc	49,66 Bc
MG607	82,90 ABabc	89,72 Ab	79,52 ABCa	81,00 ABCa	72,97 BCa	70,50 Ca
P2719	84,85 Aab	60,47 Bc	55,97 BCb	54,20 BCd	51,97 BCc	47,90 Cc
P2970	90,90 Aa	87,20 ABb	77,12 BCa	77,65 BCab	71,90 Ca	71,33 Ca
P3707	84,22 Aab	90,02 Ab	67,80 Bab	70,90 Babc	66,15 Bab	66,10 Bab
P3754	78,30 ABbc	86,12 Ab	77,97 ABa	75,75 ABCab	70,87 BCab	66,00 Cab

	Produtividade / Épocas de semeadura					
	1	2	3	4	5	6
MG408	7022,46 Aa	5029,39 Bc	3695,60 Cc	2523,18 De	1518,28 Eab	1189,86 Fa
MG447	6505,78 Ab	6094,70 Bb	4041,68 Cb	2345,52 Db	1709,86 Ea	1114,87 Fab
MG607	4422,79 Ad	4107,38 Bd	3224,14 Cd	2563,23 Db	1346,52 Ebcd	1119,89 Fab
P2719	4336,86 Ad	3754,92 Be	2210,30 Cf	1490,98 Dd	1178,21 Ecd	860,64 Fbc
P2970	6960,26 Aa	6680,68 Ba	4975,04 Ca	3342,92 Da	1593,15 Eab	1166,62 Fa
P3707	4748,92 Ac	4865,81 Ac	3161,03 Cd	1554,81 Cd	1145 Dd	651,49 Ec
P3754	3536,19 Ae	3428,10 Af	2549,72 Ce	1840,72 Cc	1410,93 Dbc	939,35 Eab

Médias seguidas das mesmas letras maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). *Épocas de semeadura: 1 – 09/02; 2 – 15/02; 3 – 20/02; 4 – 24/02; 5 – 27/02 e 6 – 03/03.

O híbrido P2970 se destacou na maioria das épocas testadas, apresentando médias superiores frente aos demais híbridos, especialmente para a produtividade de grãos (com exceção das épocas 1 e 6). Com relação às menores médias para as características entre os ambientes, os genótipos P2719, P3707, MG607 e P3754 se destacaram com os menores resultados (Tabela 5).

Os ambientes 1 e 2 foram os que proporcionaram as melhores condições para a obtenção de altas produtividades para os híbridos testados, em especial para MG408, MG447 e P2970, os quais apresentaram médias de produtividade de grãos

superior à média nacional na segunda safra que foi de 5.518 kg ha⁻¹ (Conab, 2022). No entanto, verifica-se que houve uma queda brusca nas médias da produtividade a medida que as épocas de semeadura foram ocorrendo, fato este provavelmente devido a redução de chuvas e elevação das temperaturas no decorrer do ciclo da cultura (Tabela 5).

A análise das médias dos genótipos e dos ambientes isoladamente não é suficiente para recomendar uma cultivar pois há genótipos que se sobressaem nos melhores ambientes, mas não em ambientes desafiadores. Assim, análises de adaptabilidade e estabilidade são importantes. De acordo Murakami e Cruz (2004), as análises de adaptabilidade e estabilidade permitem identificar genótipos com adaptabilidade geral ou específica às condições de ambientais favoráveis e desfavoráveis. Segundo Cargnelutti Filho et al. (2007) quando há efeito significativo da interação genótipo x ambiente, a análise e a indicação de cultivares devem ser realizadas por meio da análise de adaptabilidade e estabilidade.

4.2 Análise de adaptabilidade e estabilidade para a cultura do milho

4.2.1 Metodologia de Eberhart & Russell (1966)

O método de Eberhart & Russell (1966) baseia-se na análise de regressão, onde o coeficiente de regressão (β_{1i}) estima a adaptabilidade do genótipo, sendo que, quando $\beta_{1i} > 1,0$ o genótipo é classificado como adaptado a ambientes favoráveis, quando $\beta_{1i} < 1,0$, adaptado a ambientes desfavoráveis e quando $\beta_{1i} = 1$ apresentam adaptabilidade geral (Cruz; Regazzi & Carneiro, 2012). Os ambientes avaliados são classificados como favoráveis (alta média e índices ambientais positivos) e desfavoráveis (média baixa e índice ambiental negativo). Desvios de regressão (σ^2_{di}) indicam a estabilidade ou previsibilidade de comportamento de um genótipo, onde, se o desvio foi significativamente diferente de zero isso indica comportamento imprevisível do genótipo nos ambientes, ou seja, baixa estabilidade.

Observa-se que os ambientes favoráveis para as características AP, AE e PROD foram as épocas 1, 2 e 3 (09, 15 e 20 de fevereiro de 2021) (Tabela 6), e as

épocas 4, 5 e 6 (24 e 27 de fevereiro e 03 de março) apresentaram índices ambientais negativos, sendo classificados como desfavoráveis para a sua manifestação.

Tabela 6. Estimativas dos índices ambientais para as características altura de planta (AP, cm), altura de espiga (AE, cm), e produtividade de grãos (PROD, kg ha⁻¹), avaliadas nos híbridos de milho em seis épocas de semeadura. Balsas - MA, 2021.

Ambiente	Épocas	Características		
		AP	AE	PROD
1	9 FEV/ 2021	3,70	8,88	2315,20
2	15 FEV/ 2021	13,50	11,67	1804,95
3	20 FEV/ 2021	1,01	0,59	361,60
4	24 FEV/ 2021	-1,22	-2,08	-809,27
5	27 FEV/ 2021	-7,20	-8,10	-1632,05
6	03 MAR/ 2021	-9,78	-10,96	-2040,50

As plantas cuja semeadura ocorreu na segunda época (15 de fevereiro) tiveram ao longo do seu ciclo temperatura em torno 25-35 °C, bem como, um volume maior de chuva, principalmente no momento da germinação das sementes, o que favoreceu o crescimento das plântulas e conseqüentemente a obtenção dos índices ambientais favoráveis. A temperatura ótima para a cultura do milho varia com os diferentes estádios de crescimento e desenvolvimento da planta, sendo a temperatura média ideal entre 24°C e 30°C (LANDAU et al., 2009).

Na Tabela 7 é possível observar o resumo da análise de variância conjunta segundo Eberhart & Russell (1966) para as características avaliadas, bem como, a participação de cada híbrido na variância. Ao desmembrar a variância entre os híbridos verifica-se que somente os quadrados médios da regressão para a característica produtividade foram significativos a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 7. Resumo da análise de variância conjunta para altura de planta (AP, cm), altura da espiga (AE, cm) e produtividade de grãos (PROD, kg ha⁻¹) dos híbridos de milho com a decomposição de quadrados médios de ambientes/híbridos, segundo Eberhart & Russell (1966). Balsas - MA, 2021.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios		
		AP	AE	PROD
Total	41	704,19	619,89	14.006.637,00
Híbridos (Hib.)	6	2.426,88*	1.403,12*	12.261.591,73*
Amb/Hib.	35	408,87	485,63	14.305.787,62
Amb linear	1	9;645,09	11.491,31	456.078.883,79
Hib. x Amb linear	6	328,01*	179,11 ^{ns}	5.897.019,05*
Desvio agregado	28	96,33	158,25	330.056,02
MG408	4	101,16 ^{ns}	81,51 ^{ns}	261.630,48*
MG447	4	11,98 ^{ns}	22,65 ^{ns}	260.451,11*
MG607	4	151,96 ^{ns}	430,18 ^{ns}	254.872,99*
P2719	4	4,82 ^{ns}	26,08 ^{ns}	46.518,09*
P2970	4	150,51 ^{ns}	34,85 ^{ns}	438.860,43*
P3707	4	181,69 ^{ns}	329,55 ^{ns}	874.449,36*
Erro agregado	4	72,23 ^{ns}	182,93 ^{ns}	173.609,69*
Pooled error	108	855,95	2119,32	14.990,30

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns} não significativo. GL: grau de liberdade; QM: Quadrado médio.

Na Tabela 8, é possível verificar que os híbridos de menor e maior média (β_0) para AP foram o P2719 (139,10 cm) e P2970 (166,40 cm), respectivamente. Para a AE a maior média foi observada no híbrido MG 607 (79,43 cm) e a menor no híbrido P2719 (59,22 cm). Para PROD foram os híbridos P2970 (4119,78 kg ha⁻¹) e P3754 (2284,16 kg ha⁻¹).

Quanto a adaptabilidade, para a característica AP, os híbridos MG447, MG607, P2970, P3707 e P3754 apresentaram valor de $\beta_1 = 1$, ou seja, são genótipos de adaptabilidade geral. O híbrido MG408 apresentou efeito significativo obtendo $\beta_1 > 1$, ou seja, é um genótipo adaptado a ambientes favoráveis. O híbrido P2719 apresentou efeito significativo de $\beta_1 < 1$, sendo classificado como adaptado a ambientes desfavoráveis (Tabela 8). Genótipos adaptados a ambientes desfavoráveis não respondem as melhorias do ambiente, podendo ser recomendados para regiões de baixo investimento (Tabela 8).

Tabela 8. Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e de estabilidade fenotípica para as características altura de planta (AP, cm), altura de espiga (AE, cm), e produtividade (PROD, kg ha⁻¹) nos híbridos de milho testados nos experimentos segundo a metodologia de Eberhart & Russell (1966). Balsas - MA, 2021.

GEN	Altura de planta				Altura de espiga			
	B ₀	B ₁	S ² d	R ²	B ₀	B ₁	S ² d	R ²
MG408	155,77	1,96*	41,85*	0,87	72,70	1,67*	81,39*	0,76
MG447	144,50	0,93 ^{ns}	14,40*	0,80	62,35	0,89*	23,61*	0,72
MG607	141,50	0,82 ^{ns}	-1,08 ^{ns}	0,95	79,43	0,73 ^{ns}	-2,08 ^{ns}	0,90
P2719	139,10	0,35*	34,02*	0,21	59,22	1,06 ^{ns}	94,99*	0,52
P2970	166,40	0,84 ^{ns}	33,30*	0,62	79,35	0,84 ^{ns}	-0,39 ^{ns}	0,90
P3707	140,90	1,06 ^{ns}	21,06*	0,79	74,20	1,06 ^{ns}	11,05 ^{ns}	0,85
P3754	153,53	1,00 ^{ns}	-2,00 ^{ns}	0,98	72,83	0,71*	-0,72 ^{ns}	0,88

GEN	Produtividade de grãos			
	B ₀	B ₁	S ² d	R ²
MG408	3496,45	1,21*	254010,84*	0,95
MG447	3635,40	1,26*	28810,78*	0,99
MG607	2797,32	0,75*	58615,90*	0,97
P2719	2305,31	0,78*	63036,22*	0,98
P2970	4119,78	1,37*	112727,93*	0,98
P3707	2687,84	1,01 ^{ns}	77522,36*	0,98
P3754	2284,16	0,59*	8860,03*	0,99

¹ β_0 : Média de produtividade (kg ha⁻¹); β_1 : Coeficiente de regressão ($H_0: \beta_1 = 1$ * significativo a 5% de probabilidade (teste t); ^{ns} não significativo.); s_d^2 : Desvio de regressão ($H_0: s_d^2 = 0$ * significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns} não significativo.); R²: coeficiente de determinação;

Para a característica altura da espiga, os híbridos MG607, P2719, P2970 e P3707 apresentaram a estimativa de β_1 estatisticamente igual a 1, sendo classificados como de adaptabilidade geral. O híbrido MG 408 apresentou valor de β_1 estatisticamente superior a 1 e os híbridos MG447 e P3754 estimativa de β_1 significativamente inferior a 1, sendo classificados como adaptados a ambientes favoráveis e desfavoráveis, respectivamente.

Para a produtividade de grãos, o híbrido P3707 foi classificado como de adaptabilidade geral, os híbridos MG 408, MG447 e P2970 como de adaptabilidade específica a ambientes favoráveis e os híbridos MG607, P2719 e P3754 com adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis (Tabela 8).

Com relação às estimativas de estabilidade (se estatisticamente $s^2_d = 0$ ou $s^2_d \neq 0$ há alta e baixa previsibilidade, respectivamente), verifica-se que para a característica altura de planta os híbridos MG408, MG447, P2719, P2970 e P3707 apresentaram desvios de regressão significativamente diferente de 0, indicando que possuem comportamento imprevisível frente aos ambientes testados. Os demais híbridos mostraram alta previsibilidade de comportamento para AP (Tabela 8).

Para altura da espiga os híbridos MG 408, MG447 e P2719 apresentaram desvios de regressão significativos ($s^2_{di} \neq 0$) e, portanto, foram classificados como de comportamento imprevisível nos ambientes testados. Os demais híbridos mostraram alta previsibilidade para AE.

Para produtividade de grãos, todos os híbridos apresentaram desvios de regressão significativos ($s^2_{di} \neq 0$) ou seja, todos apresentam comportamento imprevisível nos ambientes testados. Os genótipos apresentam comportamento imprevisível para PROD nos ambientes testados, porém as médias de produtividade dos híbridos P2970 (4119,78 kg ha⁻¹), MG 447 (3635,40 kg ha⁻¹) e MG 408 (3496,45 kg ha⁻¹), foram superiores à média geral, bem como, tais híbridos apresentaram adaptabilidade para ambientes favoráveis.

O coeficiente de determinação (R^2) serve de medida auxiliar da previsibilidade para a seleção de genótipos e reflete a qualidade do ajuste do modelo de regressão para cada genótipo (Faria et al., 2017). Os híbridos que apresentaram de $R^2 > 85\%$ para AP foram o MG 408, MG 607, P3754 e para AE os híbridos MG 607, P2970, P3707 e P 3754. Para produtividade de grãos todos os híbridos obtiveram altos valores de R^2 . Os altos valores de R^2 indicam que grande parte das variações totais foram explicadas pelo modelo adotado (Tabela 8).

Faria (2018), em seu trabalho avaliando 29 híbridos comerciais recomendados para o estado de Minas Gerais, observou que 26 dos genótipos avaliados apresentaram ampla adaptabilidade aos ambientes avaliados. Para Muhammad (2021), as variações dos caracteres agrônômicos são influenciadas diretamente pelo ambiente, os genótipos de milho sofrem alterações dos caracteres sob estresse hídrico, influenciando na altura de planta, na altura da espiga e na produtividade.

O genótipo ideal de acordo com os critérios de Eberhart e Russell (1966), é aquele que possui uma alta média para a característica analisada, ampla

adaptabilidade (coeficiente de regressão igual a 1) e estabilidade alta (desvio da regressão igual a zero) (Domingues et al., 2013). Neste caso, considerando a produtividade de grãos que é a característica de maior importância, os híbridos que mais se aproximaram do ideal foram o P2970, MG 408 e MG447, com estabilidade e alta média.

4.2.2 Metodologia de Lin & Binns (1988)

A metodologia de Lin & Binns (1988) identifica os genótipos mais adaptáveis e estáveis, com base na estatística P_i , onde genótipos com baixo índice de P_i em ambiente geral, apresentam adaptabilidade em todos os ambientes. Genótipos com baixo índice P_i em ambientes favoráveis, tem adaptação a ambientes favoráveis e, genótipos com baixo índice de P_i em ambientes desfavoráveis, são adaptados a ambientes desfavoráveis. Muitos pesquisadores utilizam desse método, por selecionar genótipos com desempenho próximo do valor máximo desejado.

Na Tabela 9 são apresentadas as médias das características, o índice de estabilidade em ambiente geral (P_i geral), índice de estabilidade para ambientes favoráveis (P_i fav.), e índice de estabilidade para ambientes desfavoráveis (P_i desfav.) (Lin & Binns, 1988). Para a altura de planta, altura da espiga e produtividade de grãos os índices ambientais revelaram que os ambientes 1, 2 e 3 são favoráveis para sua manifestação, já os ambientes 4, 5 e 6 por apresentarem índices negativos representam ambientes desfavoráveis para elas.

Tabela 9. Média e índice ambiental para as características avaliadas nos sete híbridos de milho testados em Balsas - MA, 2021.

Característica	Época	Y	Índice ambiental	Classificação
Altura de planta	1	152,4865	3,3020	Favorável
	2	163,0965	13,9120	Favorável
	3	149,8605	0,6760	Favorável
	4	148,0077	-1,1768	Desfavorável
	5	142,2407	-6,9438	Desfavorável
	6	139,4150	-9,7695	Desfavorável
Altura da espiga	1	81,5483	8,7579	Favorável
	2	85,1236	12,3332	Favorável
	3	72,8953	0,1050	Favorável
	4	70,5405	-2,2498	Desfavorável
	5	64,7557	-8,0347	Desfavorável
	6	61,8789	-10,9115	Desfavorável
Produtividade	1	5.357,0571	2.317,1845	Favorável
	2	4.856,4781	1.816,6054	Favorável
	3	3.386,8125	346,9398	Favorável
	4	2.242,2536	-797,6191	Desfavorável
	5	1.398,2132	-1.641,6594	Desfavorável
	6	998,4214	-2.041,4512	Desfavorável

¹ Épocas incluídos nos grupos para: AP. Caracteres: AP: altura de planta; AE: altura de espiga; PROD: produtividade de grãos.

Na tabela 10, observa-se a classificação dos híbridos e o seu raqueamento de acordo com a condição ambiental submetido. Verifica-se que, os menores valores de Pi estão diretamente relacionados com as maiores médias das características. O híbrido P2970 apresentou a maior estimativa média de AP nas três condições estudadas, indicando ter estabilidade em ambientes gerais, favoráveis e desfavoráveis. O híbrido P2719 teve o pior desempenho para AP no ambiente geral, MG607 no ambiente favorável e o MG408 no ambiente desfavorável.

Se o objetivo do melhorista for a seleção para maior altura de plantas os híbridos com elevados valores de Pi não devem ser selecionados. A altura de planta varia de acordo com a genética do material e também com os fatores ambientais, plantas muito altas podem ocasionar o acamamento, favorecendo a ocorrência de doenças e perdas na produção. Beleze et al. (2003) e Olivoto et al. (2018) avaliando

diferentes híbridos de milho encontraram valores de altura de plantas variando de 1,93 a 2,56m, evidenciado que as médias encontradas no presente estudo estão próximas das encontradas na literatura.

Tabela 10. Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade fenotípica para as características altura de planta (AP, cm), altura de espiga (AE, cm) e produtividade (PROD, kg ha⁻¹) nos híbridos de milho avaliados em Balsas - MA, 2021, pelo método de Lin & Binns (1988).

Híbrido	Média	AP					
		Geral		Favorável		Desfavorável	
		Pi	Rank	Pi	Rank	Pi	Rank
MG408	155,77	131,63	3	450,59	5	323,6264	7
MG447	144,58	310,00	4	495,45	6	276,7588	6
MG607	141,50	386,10	5	770,47	7	241,4059	4
P2719	139,10	505,93	7	180,09	3	79,6239	2
P2970	166,40	15,69	1	31,39	1	0,0000	1
P3707	140,98	387,11	6	138,51	2	124,7514	3
P3754	153,53	129,85	2	356,27	4	260,2450	5

Híbrido	Média	AE					
		Geral		Favorável		Desfavorável	
		Pi	Rank	Pi	Rank	Pi	Rank
MG408	72,78	77,73	5	62,3090	4	29,3252	4
MG447	62,35	253,88	6	44,0371	1	0,1153	1
MG607	79,43	22,07	1	412,4608	7	284,7087	7
P2719	59,22	348,59	7	79,3708	5	10,0659	3
P2970	79,35	24,68	2	47,3026	2	2,0628	2
P3707	74,2	45,81	4	53,9333	3	101,5303	5
P3754	75,83	44,71	3	245,9258	6	191,3656	6

Híbrido	Média	PROD					
		Geral		Favorável		Desfavorável	
		Pi	Rank	Pi	Rank	Pi	Rank
MG408	3496,45	422703,47	3	727292,34	3	118114,60	2
MG447	3635,40	206827,40	2	246915,20	2	166739,60	4
MG607	2797,32	1432554,66	5	2740971,54	5	124137,80	3
P2719	2305,31	226955,16	6	3902722,66	6	636787,66	7
P2970	4119,78	1502,41	1	644,7252	1	2360,10	1
P3707	2687,84	1296637,02	4	1958899,01	4	634375,03	6
P3754	2284,16	2585356,88	7	4769257,78	7	401455,98	5

Para a AE, os híbridos MG447 e MG607 foram os que apresentaram as maiores estimativas, estando o híbrido MG447 com o melhor posicionamento nos ambientes favorável e desfavorável e o MG 607 no ambiente de condições gerais. Nas condições de ambiente favorável e desfavorável, o híbrido MG607 apresentou o pior desempenho frente aos demais híbridos. O híbrido P2970 teve o segundo melhor desempenho em todas as classificações de ambiente, evidenciando sua estabilidade

para altura de espiga nas diferentes condições. O híbrido P2719 apresentou o pior desempenho no ambiente geral. Mesmo se o objetivo for a seleção de genótipos com menor altura de inserção da espiga, o híbrido P2719 não é indicado, uma vez que apresentou baixa média de produtividade de grãos (Tabela 10).

A característica produtividade de grãos é a de maior importância e interesse agrônomo, assim, pode ser verificado que o híbrido P2970 apresentou a maior média e o melhor desempenho em todas as condições de ambiente testadas (geral, favorável e desfavorável), demonstrando sua estabilidade com a mudança dos ambientes. Os híbridos P3754 e P2719 foram os que apresentaram as menores médias de PROD, bem como, os piores desempenhos nos ambientes geral (P3754), favorável (P3754) e desfavorável (P2719) evidenciando sua baixa estabilidade fenotípica com a alteração ambiental.

Pode ser observado que alguns genótipos se destacaram em ambiente geral, ambiente favorável e específico dentro da relação do índice de P_i , sendo eles o P2970 com maior destaque. A mesma relação de destaque pode ser observada no P2719, entretanto, esse com desempenho inferior aos demais híbridos.

4.2.3 Metodologia de Annicchiarico (1992)

O modelo de Annicchiarico (1992) propõe a estimação dos riscos da adoção de genótipos em ambientes favoráveis, desfavoráveis ou geral, por meio da estatística do índice de confiança. Genótipos com maior índice de confiança (I_i) são os que apresentam menor risco (maior média e menor desvio).

Na Tabela 11 estão dispostos os resultados referentes às estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade fenotípica para as características avaliadas nos sete híbridos por meio do método de Annicchiarico (1992). As épocas com estimativas de índice ambiental positivo foram classificadas como de ambientes favoráveis e as com índice ambiental negativo como de ambientes desfavoráveis. Verifica-se que para as características altura de plantas, altura da espiga e produtividade de grãos as épocas 1, 2 e 3 foram classificadas como ambientes favoráveis para a expressão dos híbridos. Para essas características, os ambientes 4, 5 e 6 foram considerados desfavoráveis uma vez que, além do índice negativo, as

médias foram baixas. Os ambientes classificados como favoráveis foram os mais produtivos, evidenciando que possuem alto potencial para o cultivo dos híbridos testados.

Ambiente desfavorável pode ser entendido como um ambiente no qual as condições edafoclimáticas não foram propícias para a manifestação do potencial genético dos materiais, como por exemplo, locais com ocorrência de estresse hídrico. De acordo com Cruz, Carneiro & Regazzi (2014) quanto maior o índice ambiental, maior é a chance de sucesso e a confiabilidade da escolha do genótipo, sendo este com maior adaptabilidade e estabilidade.

Tabela 11. Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade fenotípica dos híbridos de milho avaliados em Balsas - MA, 2021, pelo método de Annicchiarico (1992), Y_i = é a média do genótipo i em porcentagem (%).

Característica	Época	Y_i	Índice	Classificação
Altura de planta	1	152,4865	3,3020	Favorável
	2	163,0965	13,9120	Favorável
	3	149,8605	0,6760	Favorável
	4	148,0077	-1,1768	Desfavorável
	5	142,2407	-6,9438	Desfavorável
	6	139,4150	-9,7695	Desfavorável
Altura da espiga	1	81,5483	8,7579	Favorável
	2	85,1236	12,3332	Favorável
	3	72,8953	0,1050	Favorável
	4	70,5405	-2,2498	Desfavorável
	5	64,7557	-8,0347	Desfavorável
	6	61,8789	-10,9115	Desfavorável
Produtividade	1	5.357,0571	2.317,1845	Favorável
	2	4.856,4781	1.816,6054	Favorável
	3	3.386,8125	346,9398	Favorável
	4	2.242,2536	-797,6191	Desfavorável
	5	1.398,2132	-1.641,6594	Desfavorável
	6	998,4214	-2.041,4512	Desfavorável

Na Tabela 12 estão presentes os resultados da estimativa dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade fenotípica para as características e o ranqueamento dos híbridos. Para a AP o híbrido que apresentou o melhor desempenho foi o P2970 nas

três condições ambientais. O híbrido MG607 teve o pior desempenho para AP nos ambientes geral e favorável e o MG408 no ambiente desfavorável.

Tabela 12. Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade fenotípica para altura de planta (cm), altura da espiga (cm) e produtividade (kg ha^{-1}) nos híbridos de milho avaliados em Balsas - MA, 2021, pelo método de Annicchiarico (1992).

Híbrido	Altura de planta					
	Geral		Favorável		Desfavorável	
	Wi	Rank	Wi (f)	Rank	Wi (d)	Rank
MG408	92,6356	6	91,8696	6	93,5813	7
MG447	94,2973	5	93,6143	5	95,1377	6
MG607	90,3103	7	86,8779	7	96,0120	4
P2719	102,6908	2	102,4926	2	102,8815	2
P2970	109,2835	1	107,5410	1	111,4568	1
P3707	100,1993	3	102,1527	3	100,1696	3
P3754	95,4819	4	95,7872	4	95,5994	5

Híbrido	Altura de espiga					
	Geral		Favorável		Desfavorável	
	Wi	Rank	Wi	Rank	Wi	Rank
MG408	99,0804	4	96,1106	4	102,1278	4
MG447	106,9162	2	103,9380	2	114,5415	1
MG607	73,7988	7	72,3478	7	77,6995	7
P2719	102,1071	3	98,7336	3	107,9320	3
P2970	107,0287	1	104,0104	1	111,5568	2
P3707	91,3260	5	95,1899	5	90,9477	5
P3754	83,4312	6	85,0668	6	83,9794	6

Híbrido	Produtividade de grãos					
	Geral		Favorável		Desfavorável	
	Wi	Rank	Wi	Rank	Wi	Rank
MG408	73,7638	5	90,8348	4	66,1655	7
MG447	87,9951	4	82,7277	5	100,0899	4
MG607	70,6074	7	68,6638	6	71,7846	6
P2719	71,8211	6	67,0993	7	85,0374	5
P2970	121,7897	1	133,1799	1	112,1178	1
P3707	106,9555	3	104,9456	3	108,7897	2
P3754	111,6862	2	119,1120	2	106,4813	3

Wi: Índice de confiança genotípico

Para AE, nos ambientes geral e favorável, o híbrido P2970 mantém sua superioridade, juntamente com híbrido MG447 no ambiente desfavorável. Para PRE esse híbrido (MG 447) foi o melhor classificado nos três ambientes. O híbrido MG607 se destaca como o de pior desempenho para AE nas três condições ambientais estudadas (Tabela 12).

Com relação a produtividade de grãos, o P2970 novamente se destaca como o

de melhor posicionamento frente aos demais híbridos, sendo adaptado e estável nas três condições ambientais (geral, favorável e desfavorável). Tal fato evidencia que esse híbrido é um material genético responsivo e adaptado, uma vez que, quando há melhorias no ambiente ele responde com maior produtividade e quando presente em ambiente desfavorável, se ajusta para também responder positivamente, mantendo sua produtividade. Os híbridos MG607, P2719 e MG408 foram os de pior desempenho nos ambientes geral, favorável e desfavorável, respectivamente (Tabela 12).

Em um estudo realizado com 14 híbridos de milho, avaliando a produtividade e estabilidade, tendo como objetivo selecionar híbridos superiores ou linhagens, Silva et al. (2014) identificaram com precisão os genótipos mais estáveis e adaptáveis utilizando a metodologia de Annicchiarico (1992). Em uma comparação de metodologias, Schmildt & Cruz (2005), concluíram que a de Annicchiarico (1992) foi a mais confiável quando comparada com outras como Eberhart & Russel (1966).

4.2.4 AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction)

A metodologia AMMI possibilita identificar com maior critério os ambientes com qualidades superiores, passíveis de exploração, bem como, identifica os melhores genótipos nos respectivos ambientes (Resende, 2016; Yan, 2011). A metodologia de AMMI permite identificar quais genótipos são superiores e os mais adaptados, podendo ser usado na determinação dos melhores ambientes agrícolas para um posicionamento mais assertivo e eficiente dos genótipos (Duarte & Vencovsky, 1999).

Na Tabela 13 observa-se a decomposição de valores da interação GxA pela metodologia AMMI para AP. Verifica-se que os dois primeiros componentes (CP1 e CP2) foram significativos a 1% de acordo com o teste F, com valores explicativos da variação da SQ_{GXA} de 57% para CP1 e de 34,9% para CP2. Os componentes CP3, CP4 e CP5 não foram significativos, evidenciando a existência de ruído (variação não relacionada com a interação).

Os dois primeiros componentes são suficientes para avaliar a estabilidade e adaptabilidade dos genótipos e o efeito da interação, pois acumularam juntos, 91,9%, sendo então, usados para a interpretação gráfica dos resultados. Os dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) devem explicar a soma de quadrados da

interação e o seu valor deve estar acima de 70% para serem considerados satisfatórios (Pereira et al., 2009).

Tabela 13. Resultados do teste AMMI para altura de planta (cm). Decomposição em valores singulares aplicada a matriz de interação GxA decomposta em cinco componentes principais, obtidos em seis ambientes para sete híbridos de milho. Balsas - MA, 2021.

CP	GL	SQ	QM	Explicado	Acumulado	F	P
CP1	10	2661,75	266,17**	57	57	15,27	0
CP2	8	1629,52	203,69**	34,9	91,9	11,69	0
CP3	6	339,97	56,64	7,3	99,2	3,25	5,60
CP4	4	28,81	7,20 ^{ns}	0,6	99,8	0,41	8,01
CP5	2	9,48	4,74 ^{ns}	0,2	100	0,27	7,63
Resíduo	108	1882,44	17,43	-	-	-	-
Total	197	35626,80	180,84	-	-	-	-

**e* = significativo 1% e a 5% de probabilidade, ^{ns} = não significativo. CP = Componente principais

Para a altura da espiga (Tabela 14) apenas o componente CP1 apresentou efeito significativo (1%) com um valor explicativo da variação da SQ (GXA) de 67,3%, não sendo sozinho, suficientemente confiável para explicar a interação GxA. No entanto, juntando com o CP2, a soma acumula 86,8%, sendo então suficiente para avaliar a estabilidade e adaptabilidade dos genótipos e o efeito da interação. A interpretação gráfica foi realizada levando em consideração o CP1 e o CP2. Os componentes CP3, CP4 e CP5 não foram significativos a 5%.

Tabela 14. Resultados dos testes AMMI para altura da espiga (cm). Decomposição em valores singulares aplicada a matriz de interação GxA decomposta em cinco componentes principais, obtidos em seis ambientes para sete híbrido de milho. Balsas - MA, 2021.

CP	GL	SQ	QM	Explicado	Acumulado	F	P
CP1	10	3537,41	353,74**	67,3	67,3	10,33	0
CP2	8	1020,61	127,57 ^{ns}	19,4	86,8	3,72	7,0
CP3	6	656,77	109,46 ^{ns}	12,5	99,3	3,2	6,30
CP4	4	28,05	7,01 ^{ns}	0,5	99,8	0,2	9,37
CP5	2	10,56	5,28 ^{ns}	0,2	100	0,15	8,6
Resíduo	108	3699,47	34,25	-	-	-	-
Total	197	36124,14	183,37	-	-	-	-

**e* = significativo 1% e a 5% de probabilidade, ^{ns} = não significativo. CP = Componente principais

Na Tabela 15 estão dispostos os resultados da análise AMMI para a produtividade de grãos. Com base nos valores da decomposição da interação GxA verifica-se que os dois primeiros componentes (CP1 e CP2) foram significativos a 1% de acordo com o teste F, com valores explicativos da variação da SQ (GXA), de 57% para CP1 e de 34,9% para CP2. Os dois primeiros componentes somados são suficientes para avaliar a estabilidade e adaptabilidade dos genótipos e o efeito da interação, acumulando juntos, 91,9% da variação. Os componentes CP3, CP4 e CP5, não apresentaram variação com efeito significativo (1 e 5%).

Tabela 15. Resultados dos testes AMMI - PROD (produtividade, kg ha⁻¹). Decomposição em valores singulares aplicada a matriz de interação GxA decomposta em cinco componentes principais. Obtidos em seis ambientes para sete híbridos de milho. Balsas - MA, 2021.

CP	GL	SQ	QM	Explicado	Acumulado	F	P
CP1	10	2661,75	266,17**	57,0	57,0	15,27	0
CP2	8	1629,52	203,69**	34,9	91,9	11,69	0
CP3	6	339,87	56,64 ^{ns}	7,3	99,2	3,25	5,6
CP4	4	28,81	7,20 ^{ns}	0,6	99,8	0,41	8,01
CP5	2	9,48	4,74 ^{ns}	0,2	100	0,27	7,63
Resíduo	108	1882,44	17,43	-	-	-	-
Total	197	35626,80	180,84	-	-	-	-

**e* = significativo 1% e a 5% de probabilidade, ^{ns} = não significativo. CP = Componente principais.

As características analisadas atingiram valores suficientes para explicar a soma de quadrados da interação nos dois primeiros componentes principais, não sendo necessário utilizar os componentes principais subsequentes, os quais apresentam menor porcentagem de explicação da variação e maior ruído. Ao utilizar eixos que contêm mais ruído do que o padrão, a interpretação da adaptabilidade e estabilidade via biplot pode ser prejudicada (Silva & Benin, 2012).

Nas análises AMMI Biplot (Figuras 2, 3, 4), os sete híbridos avaliados foram considerados para a integração GxA, sendo que os híbridos e ambientes plotados mais próximos à origem dos eixos (0,0) apresentam menor efeito para a interação e podem ser considerados mais estáveis. Os eixos das abscissas representam os

efeitos principais, sendo representadas as médias dos genótipos e dos ambientes. Os eixos das ordenadas representam os escores dos genótipos e ambientes para a interação.

Na análise gráfica Biplot AMMI para a altura de planta (Figura 2), verifica-se que os genótipos que menos contribuíram para a interação GxA foram o P2719 e o MG607, bem como, o ambiente 4, sendo classificados como os mais estáveis pois foram os que mais se aproximaram do ponto de origem (zero). Quando os marcadores no gráfico (pontos e retas) que indicam os genótipos e ambientes estiverem apontando para mesma direção, isso significa que há interação entre aquele determinado híbrido e ambiente. Assim, verifica-se que para a AP, o genótipo P3707 apresentou interação positiva com os ambientes 2 e 3. Os genótipos MG447, MG408 e P3754 apresentaram interação com os ambientes 5 e 6. Já o híbrido P2970 apresentou interação com o ambiente 1.

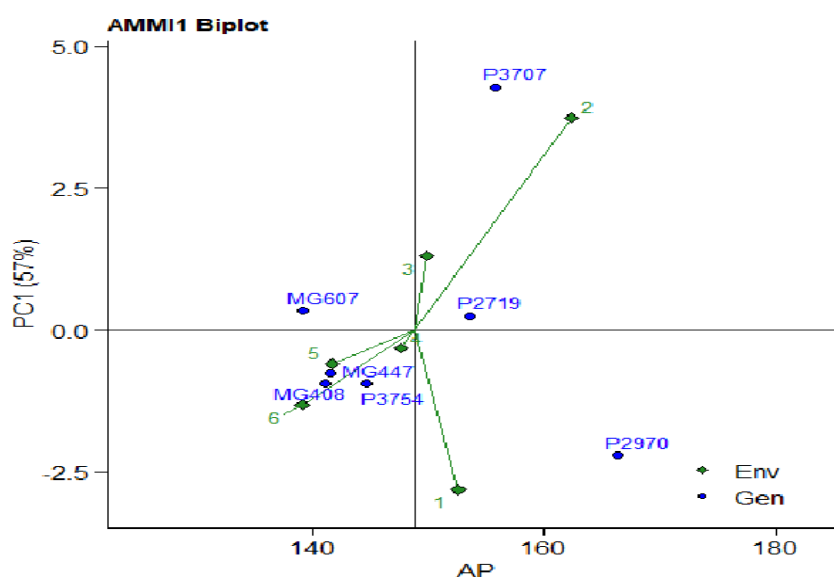


Figura 2. Biplot AMMI com os dois primeiros componentes principais de interação para os dados médios de altura de planta (cm) dos sete híbridos de milho (GEN) nos seis ambientes (Env). Balsas, MA - 2021.

Quando os vetores genéticos e ambientais plotados no gráfico forem em sentido e direção opostas, isso significa que há uma falta de adaptação do genótipo ao ambiente. Tal observação, para AP, pode ser verificada com os genótipos P3707 e P2719 e os ambientes 1, 4, 5 e 6. O genótipo P2970 teve baixa adaptação em todos

os ambientes. Os genótipos MG447, MG408, P3754 apresentaram baixa adaptação nos ambientes 2 e 3. O genótipo MG607 apresentou baixa interação com os ambientes 1, 2 e 3. Os ambientes que apresentaram maiores instabilidades foram o 1 e o 2, sendo que esse último (ambiente 2) se destacou com a maior média para AP no ano de 2021 em Balsas Maranhão (Figura 2).

Os genótipos que possuem médias baixas para altura de planta foram MG408, MG447, P3754 e MG607 e os híbridos P2719, P3707 e P2970, apresentaram média alta para AP. Os ambientes com médias gerais inferiores foram o 5 e o 6, os com médias gerais foram o 1, 3 e 4, e o com média superior foi o ambiente 2.

Na Figura 3 está presente a representação da análise gráfica da Biplot AMMI para a AE (cm). O genótipo e o ambiente que menos contribuíram para a interação GxA foi o MG408 e o ambiente 3, sendo identificados como os mais estáveis, pois estão mais próximos do ponto de origem (0,0), ou seja, valores menores para os eixos da interação. Os genótipos P3707, P2719 e MG447 obtiveram as maiores médias gerais e interação positiva com os ambientes 2 e 3. Os genótipos P3754 e MG607, apesar de apresentarem indicadores negativos e abaixo da média geral, possuem uma interação específica com os ambientes 5 e 6.

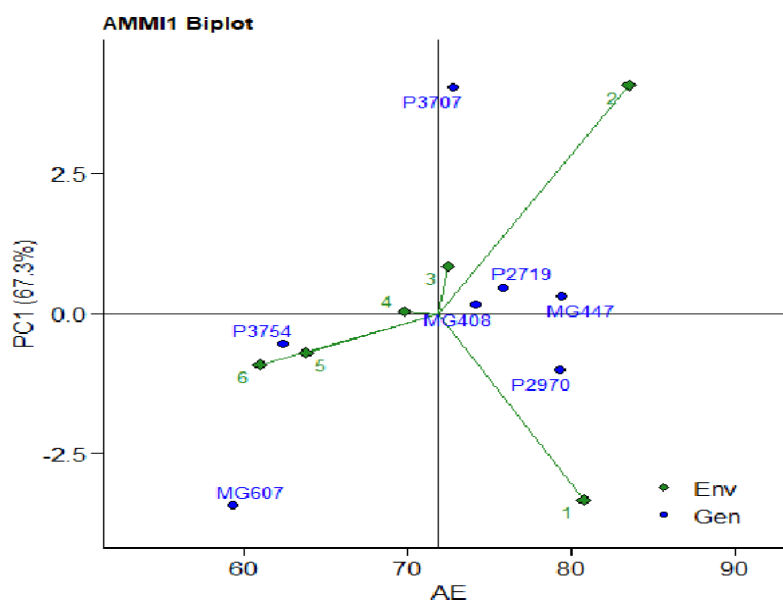


Figura 3. Biplot AMMI com os dois primeiros componentes principais de interação (PC1), para a característica altura de espiga (cm) dos sete híbridos de milho (GEN) e seis ambientes (Env). Balsas - MA; 2021.

Como já mencionado, quando os marcadores (pontos do gráfico) de híbridos e ambientes se opõem no gráfico, isso significa que existe uma falta de adaptação do genótipo a este ambiente, conforme pode ser observado para o híbrido P3707 com os ambientes 1, 5 e 6, para os híbridos P2719 e MG447 com os ambientes 1, 5 e 6, para o híbrido P2970 com os ambientes 2, 3, 4, 5 e 6 e para os híbridos P3754 e MG607 com os ambientes 1, 2 e 3. Os ambientes que representaram as maiores instabilidades foram o 1 e o 2, bem como, tais ambientes se destacaram como nos quais os híbridos apresentaram as maiores média de altura de espiga (Figura 3).

Na Figura 4 está a análise gráfica do Biplot AMMI para a produtividade de grãos (kg ha⁻¹). Não tiveram genótipos que contribuíssem menos para a interação GxA, não havendo a conclusão do genótipo mais estáveis dentro dos ambientes. Os genótipos P3707, P3754 e P2970, apresentaram interação positiva e as maiores médias gerais nos ambientes 1, 2 e 3. O híbrido MG408 ficou muito próximo ao escore neutro e abaixo da média geral, tendo uma interação com o ambiente 3. Os genótipos P2719, MG607 e MG447 apresentam valores abaixo da média geral e indicadores negativos, possuindo uma interação específica com os ambientes 4, 5 e 6.

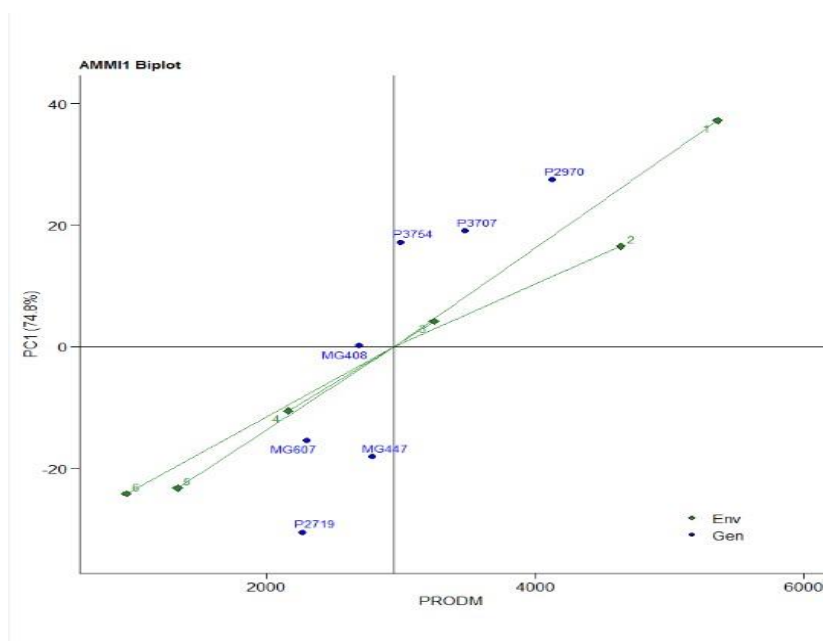


Figura 4. Biplot AMMI com os dois primeiros componentes principais de interação (PCP1) para a produtividade de grãos (kg ha⁻¹) dos sete híbridos de milho (GEN) nos seis ambientes (Env) em Balsas - MA; 2021.

Os híbridos que tiveram uma falta de adaptação aos ambientes foram o P3707, P3754 e P2970 com os ambientes 4, 5 e 6, os híbridos P2719, MG607 e MG447 com os ambientes 1, 2 e 3 e o híbrido MG408 com os ambientes 1, 2, 4, 5 e 6 (Figura 4).

Como uma análise geral das características, híbridos e ambientes, verifica-se que os ambientes que apresentaram as maiores instabilidades foram o 1 e o 2, no entanto, tais ambientes se destacaram como sendo os que proporcionaram as maiores médias para altura de planta e altura de espiga. Os ambientes 1, 2 e 3 foram os que proporcionaram as maiores médias de produtividade de grãos nos híbridos avaliados no ano de 2021 em Balsas Maranhão.

Nos métodos anteriormente discutidos (Eberhart & Russel, 1996; Lin & Binns, 1988; Annicchiarico, 1992), os ambientes 1, 2 e 3 também foram os que se destacaram como os melhores para a obtenção de altas produtividades nos híbridos testados. Além disso, os genótipos em destaque pela metodologia AMMI, com as maiores médias foram compatíveis com os genótipos classificados nas metodologias estatísticas anteriores.

4.2.5 GGE Biplot (Genotype main effects + Genotype environment interaction)

O GGE Biplot permite realizar uma análise visual da interação genótipo ambiente de ensaios multiambientais. O efeito combinado do genótipo (G) dentro da característica escolhida, do ambiente (A) e da interação entre ambos (GxA), dos quais apenas G e GxA são relevantes e devem ser considerados de forma simultânea para avaliação do genótipo (Yan, 2000).

Na análise GGE-Biplot da Figura 5, o PC1 indica a adaptabilidade dos genótipos (relacionada com AP, AE e PROD) e o segundo componente PC2 com a estabilidade, onde, quanto mais próximo de zero, maior a estabilidade encontrada. Os valores dos componentes principais PC1 e PC2, possuem valores de 85,16% e 11,02%, respectivamente, atendendo ao limite de 80% preconizado por Cruz e Regazzi (1997).

Observa-se que o genótipo MG408 demonstrou maior estabilidade por estar próximo do centro de origem, sofrendo esse, o menor efeito da interação GxA, no

entanto, ele possui as menores médias gerais. Dentre os híbridos que apresentaram médias gerais altas no experimento foram o P3754 e P3707, sendo que o P3707 teve maior interação ao ambiente 1. O genótipo de maior média geral foi o P2970, além disso, o mesmo possui boa interação com os ambientes 2, 3, 4, 5 e 6. Os genótipos MG447, P2719 e MG607 possuem baixa interação com todos os ambientes.

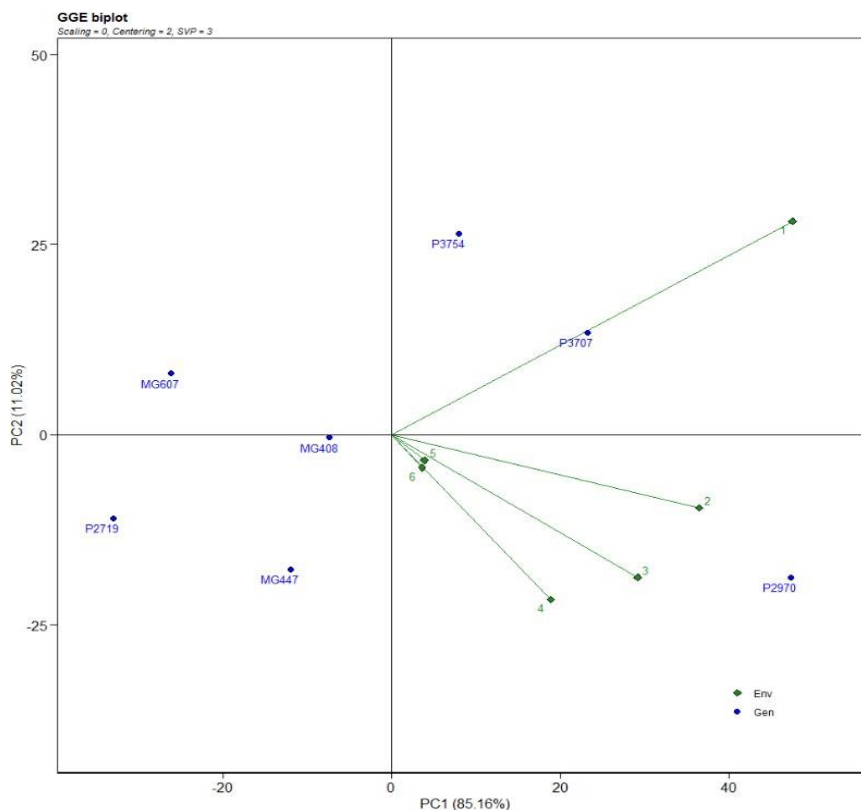


Figura 5. GGE Biplot - Gráfico elaborado com o método GGE Biplot a partir dos dois primeiros componentes principais para características gerais (altura de planta, altura de espiga e produtividade) de sete híbridos de milho avaliados em seis ambientes em Balsas - MA, 2021.

Na análise representada na Figura 6 - 'Which-won-where', o modelo gráfico apresenta a formação de um polígono, determinando os melhores genótipos em cada ambiente. No Setor 2 temos os genótipos P3707 e P2970, onde, dentro do agrupamento (polígono) estão todos os ambientes, sendo considerados favoráveis. No setor 4, há um agrupamento dos genótipos MG447, MG408, P2719 e MG607, porém não contêm nenhum ambiente, ou seja, são os piores genótipos em relação as análises gerais das características em todos os ambientes. O mesmo ocorre para o setor 6, com o genótipo P3754, que, apesar de possuir médias gerais altas, não possui nenhum ambiente agrupado. Quando ocorre de os genótipos não terem nenhum

ambiente agrupado, estes genótipos são considerados desfavoráveis aos ambientes testados, tendo baixa relação para as características analisadas.

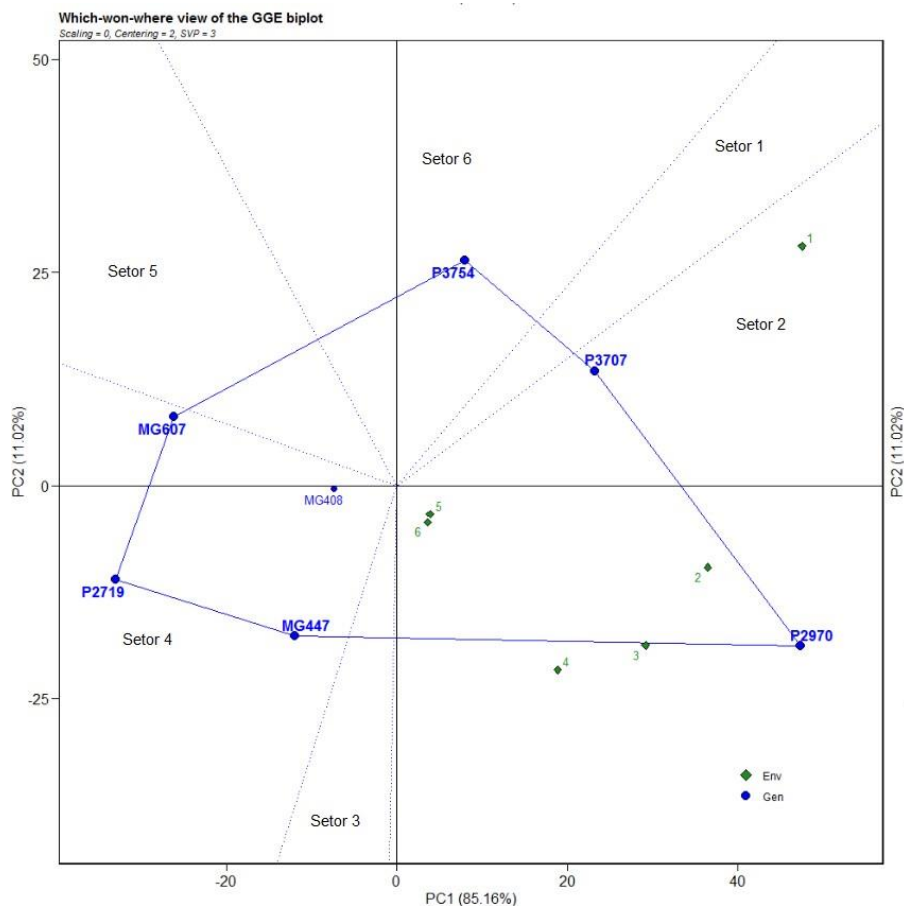


Figura 6. ‘Which-won-where’ - Polígono elaborado com o método GGE Biplot a partir da formação do polígono formado pelos genótipos: P2719, MG607, P3754, P3707, P2970 e MG447, totalizando seis setores principais para as características altura de planta, altura de espiga e produtividade dos sete híbridos de milho em seis ambientes em Balsas - MA, 2021.

Na análise ‘Mean vs Stability’ (Figura 7), o gráfico contém uma reta verde chamada de EAM, partindo com uma seta de indicação no eixo x, sendo que, a maior distância do ponto 0 (centro) do Biplot, implica em maior produtividade. Além disso, a reta azul que parte do eixo y, sem indicação de seta, indica que, quanto maior a distância do centro (0) do Biplot para qualquer sentido, menor será a estabilidade e maior a contribuição para interação entre o genótipo e o ambiente (Yan & Kang, 2003). O genótipo que mais se aproxima de zero é considerado altamente estável e possui desempenho acima da média. Quanto a capacidade dos ambientes em discriminar os

genótipos, quanto mais próximo do centro (eixo da média do ambiente, linha verde), maior a capacidade de representar os ambientes avaliados (Mattos et al., 2013).

Assim, verifica-se que o PC1 foi de 64,63% e o PC2 de 24,79%, com um total de 89,42% de dispersão dos dados, alcançando o limite adequado para explicação da variação (80%), sendo possível realizar a predição dos genótipos mais estáveis dentro da razão entre PC1 e PC2 (Figura 7).

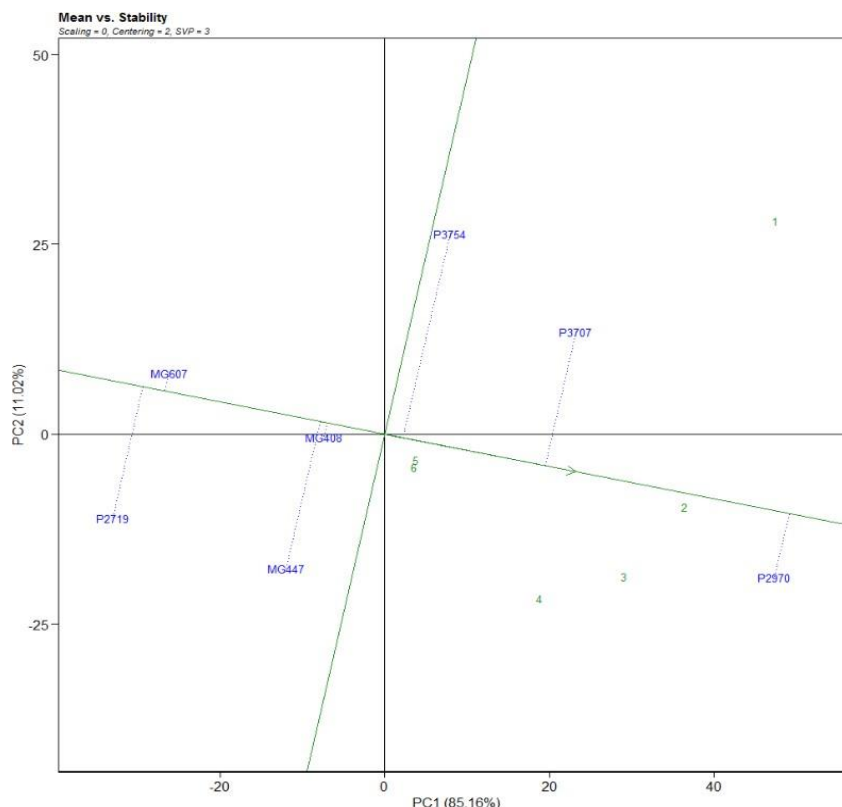


Figura 7. Mean vs Stability - Gráfico de estabilidade - GGE Biplot a partir dos dois primeiros componentes principais para as características gerais (altura de planta, altura de espiga e produtividade) dos sete genótipos de milho avaliados em seis ambientes. Balsas - MA, 2021.

O genótipo mais estável foi o P3754 com média acima da média geral. A ordem de classificação dos genótipos baseada nas médias gerais foi: 1º - P2970, 2º - P3707, 3º - P3754, 4º - MG408, 5º - MG447, 6º - MG607 e 7º - P2719. Os genótipos MG607 e P2719 são altamente instáveis. O ambiente de maior produtividade foi o 2 e os mais estáveis foram o 5 e o 6, considerados favoráveis para as plantas de milho.

4.2.5.1 Análise de forma estratificada cada característica

Para a característica altura de plantas (cm), o PC1 foi de 78,19% e o PC2 13,81%, explicando 92% da dispersão dos dados. Pela análise da Figura 8, verifica-se que os genótipos foram ordenados na seguinte forma quanto a altura média de planta (adaptabilidade média): P2970 > P3707 > P2719 > P3754 > MG447 = MG408 > MG607. Os genótipos P2970, P3707 e P2719 foram identificados como os mais estáveis e com uma AP acima da média. Os genótipos P3754, MG447, MG408 e MG607 apresentaram AP abaixo da média geral e instabilidade, não justificando a sua recomendação para esta característica.

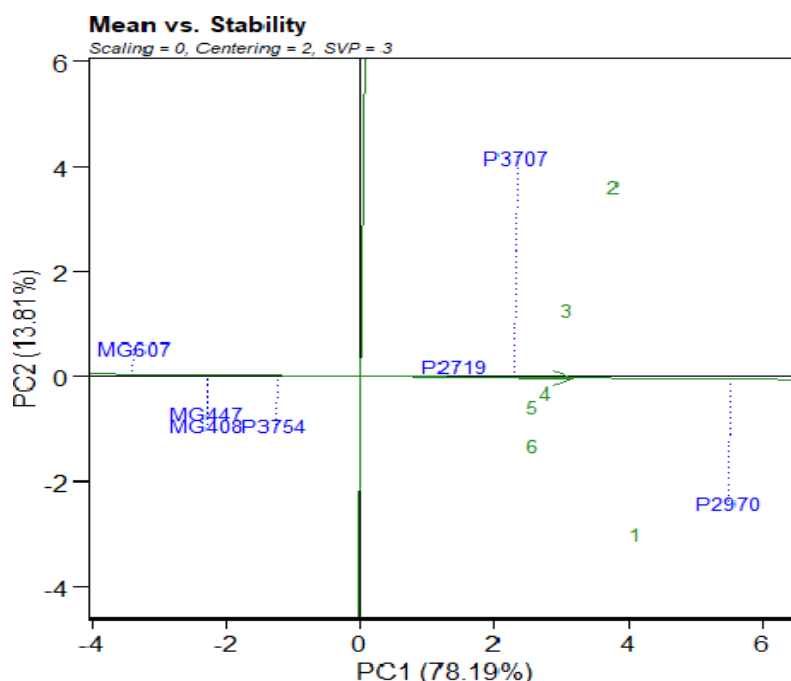


Figura 8. Mean vs Stability - Gráfico de estabilidade - GGE Biplot a partir dos dois primeiros componentes principais para altura de planta (cm) nos sete genótipos de milho avaliados em seis ambientes. Balsas - MA, 2021.

Assim, com base nos parâmetros, o genótipo mais recomendado por possuir boa adaptabilidade, estabilidade e um valor alto na média para AP foi o P2970. Os ambientes mais estáveis foram os ambientes 4 e 5, sendo considerados favoráveis.

A análise para a altura da espiga revelou que o PC1 e o PC2 apresentaram valores explicativos da variação de 73,27% e 18,8%, respectivamente, explicando juntos, 92,07% da dispersão dos dados para a altura da espiga. Na Figura 9 verifica-

se que os genótipos foram ordenados na seguinte forma quanto a altura média de espiga (adaptabilidade média): MG447 > P2970 > P2719 = MG408 > P3707 > P3754 > MG607.

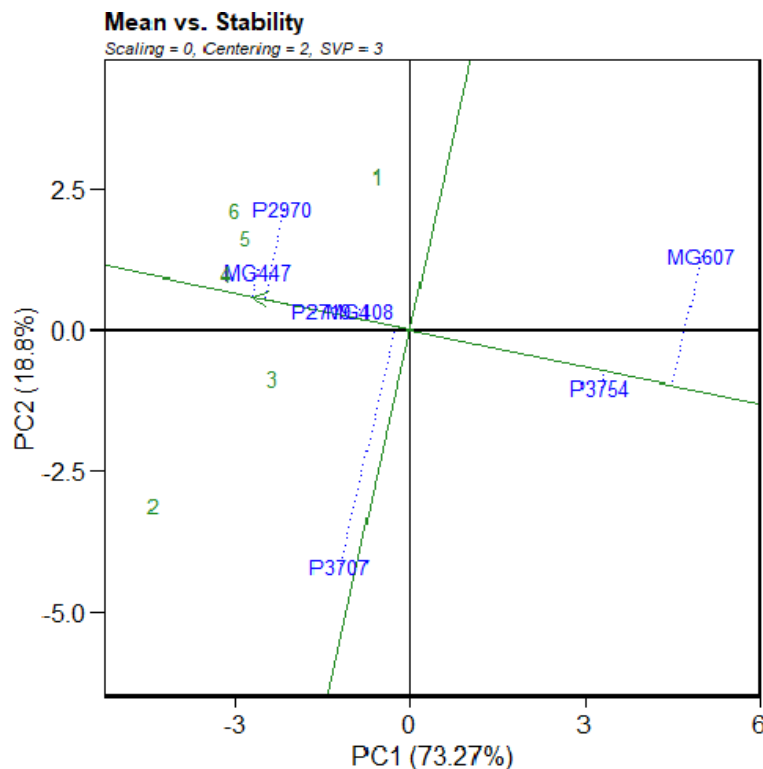


Figura 9. Mean vs Stability - Gráfico de estabilidade - GGE Biplot a partir dos dois primeiros componentes principais para altura de espiga (cm) de sete genótipos de milho avaliados em seis ambientes. Balsas - MA, 2021.

Os genótipos MG447, P2970, P2719 e MG408 foram identificados como os mais estáveis e com AE acima da média. O P3754 e o MG607 apresentaram AP abaixo da média e instabilidade, não justificando a sua recomendação para os ambientes testados. Pela análise dos parâmetros, os genótipos mais recomendados (boa adaptabilidade, estabilidade e alta média para AP) foram o MG447 e o P2970. O ambiente mais estável foi o ambiente 4, sendo considerado favorável.

Pela análise da Figura 10 para a produtividade de grãos, verifica-se que os genótipos foram ordenados da seguinte forma quanto a produtividade média de grãos (adaptabilidade média): P2970 > P3754 > P3707 > MG408 > MG447 > MG607 > P2719. Sendo que P2970, P3754 e P3707 foram identificados como mais estáveis e com produtividade de grãos acima da média. Os híbridos MG408, MG447, MG607 e P2719 apresentaram PROD abaixo da média e instabilidade, não justificando a sua

recomendação baseada nesta característica para os ambientes testados. Os genótipos mais recomendados por possuírem boa adaptabilidade, estabilidade e médias de produtividade de grãos altas foram o P2970, P3754 e P3707.

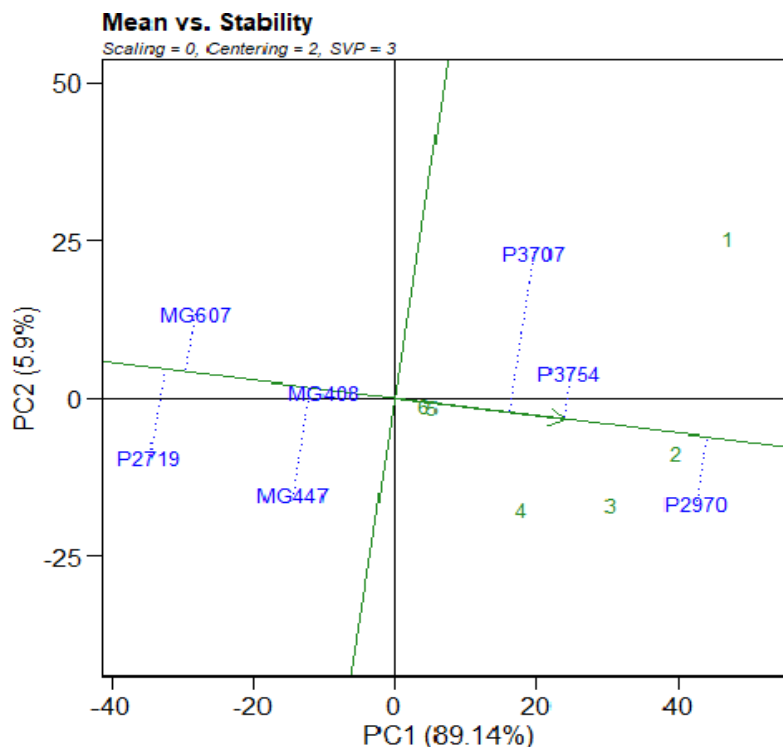


Figura 10. Mean vs Stability - Gráfico de estabilidade - GGE Biplot a partir dos dois primeiros componentes principais para produtividade de grãos (kg ha^{-1}) de sete genótipos de milho avaliados em seis ambientes. Balsas - MA, 2021.

Na análise do GGE-Biplot da Figura 11, verifica-se que os ângulos formados entre os vetores são relacionados com os ambientes. Além disso, o comprimento dos vetores é proporcional ao desvio padrão dentro dos ambientes. Assim, verifica-se que o ambiente 1 apresentou-se como o mais estável e mais adaptável ao genótipo P3707. O P2970 mostrou maior proximidade de estabilidade e adaptabilidade com os ambientes 2 e 3. Os MG607, MG447 e P2719 foram menos estáveis e menos adaptáveis em todos os ambientes. O MG408 foi classificado como o mais estável, pois se aproxima do centro de origem, porém, não pode ser considerado ideal, pois possui baixa média geral em todos os ambientes. Tais resultados entram em concordância com o que já foi discutido nas análises anteriores (Eberhart & Russel, Lin & Binns, Annicchiarico e AMMI).

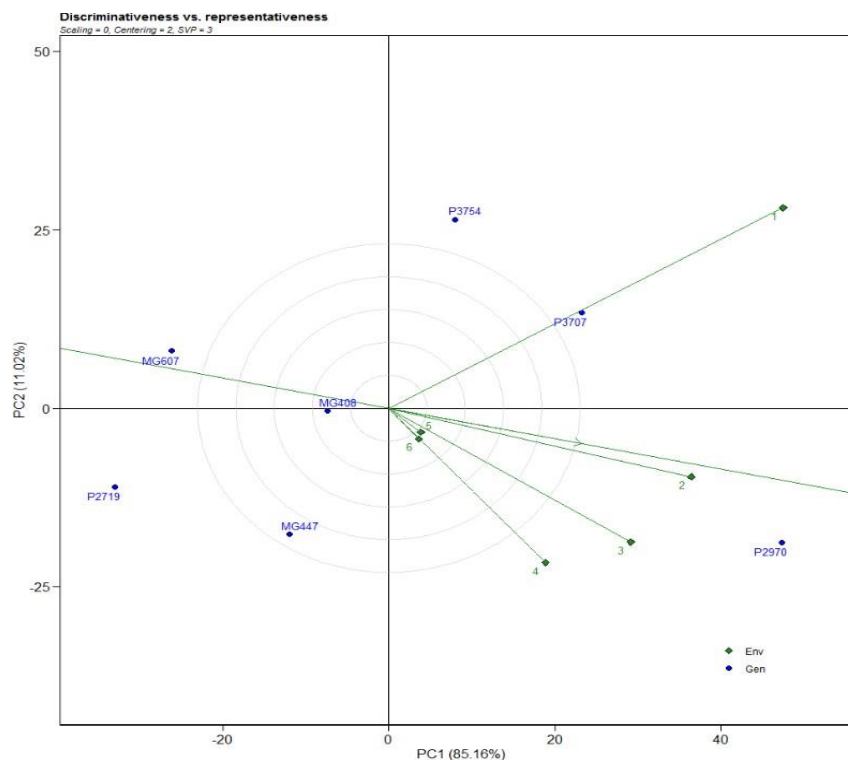


Figura 11. ‘Discriminativeness vs representativeness’ (discriminação e representatividade) dos locais avaliados com base no GGE - biplot dos sete híbridos de milho nos seis ambientes.

4.2.6 REML/Blup (Máxima verossimilhança restrita)/(melhor preditor linear não-viesado)

O modelo de análise estatística misto via REML/Blup considera o erro correlacionado dentro dos locais, a estabilidade e a adaptabilidade na seleção do genótipo ideal. A seleção simultânea para a característica, estabilidade e adaptabilidade, torna o modelo misto. Tal método possibilita a seleção de um genótipo específico para cada local, a seleção do genótipo mais estável, a identificação do genótipo mais responsivo ao ambiente (alta adaptabilidade), a seleção de atributos das características selecionadas com a estabilidade e adaptabilidade, de forma simultânea (Resende & Duarte, 2007; Resende, 2016)

Por meio da predição dos genótipos para as características através do método Blup e, desmembrando para cada ambiente (épocas de semeadura: 1 - 09 de fevereiro; 2 - 15 de fevereiro; 3 – 20 de fevereiro; 4 - 24 de fevereiro; 5 - 27 de fevereiro; 6 - 03 de março), verificou-se superioridade de forma geral, para cada ambiente de

cultivo dos genótipos MG408, MG447, MG607, P2719, P2970, P3707 e P3754 (Figura 12).

Para a altura de plantas o ambiente 1 apresentou superioridade para os genótipos P2970, P3707, P2719, P3754 e MG408, com destaque para P2970. No ambiente 2, a superioridade foi verificada para os genótipos P2970, P3707, P2719, P3754, MG447 e MG408, com destaque para P2970, P3707 e P2719. Para o ambiente 3, a superioridade foi verificada para os genótipos P2970, P3707, P2719 e P3754, com destaque para P2970 e P3707. Para o ambiente 4, a superioridade foi verificada para os genótipos P2970 (maior destaque), P3707 e P2719. Para os ambientes 5 e 6, a superioridade foi verificada para o genótipo P2970, evidenciando seu melhor desempenho frente aos demais genótipos testados nos experimentos.

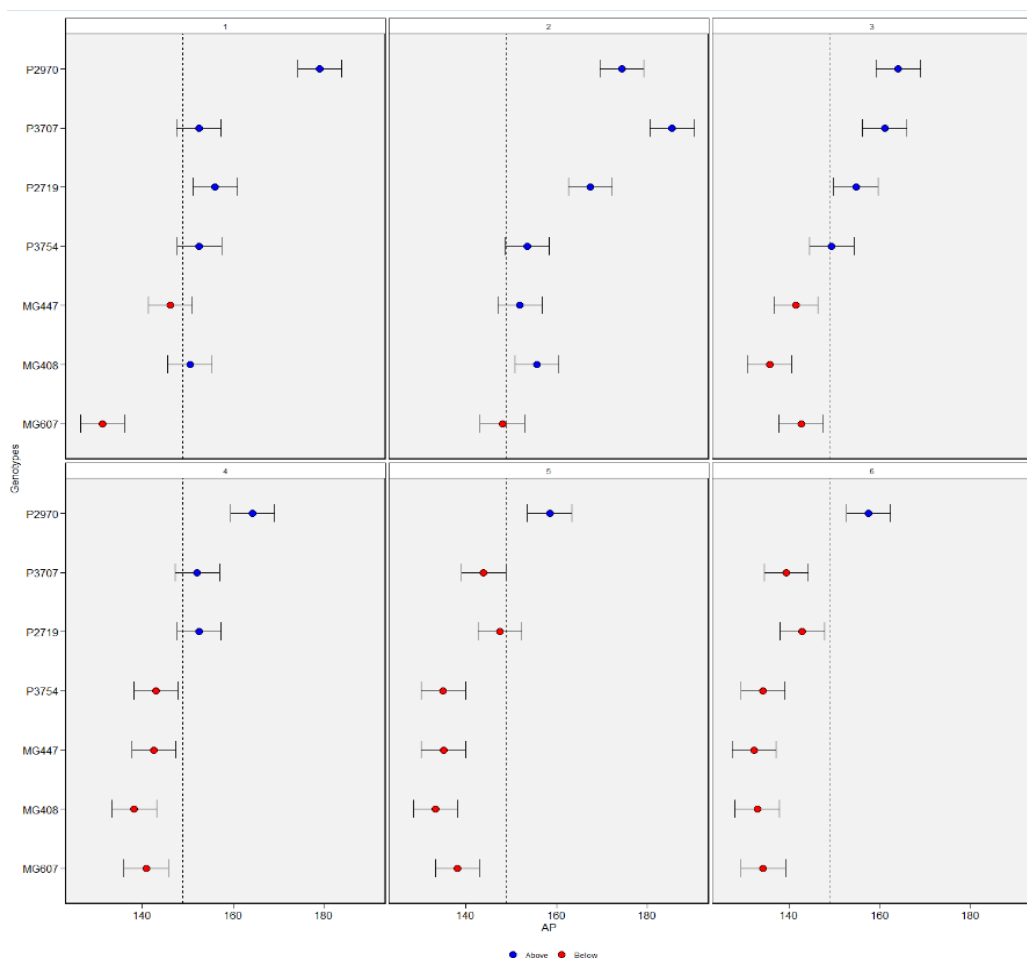


Figura 12. Característica de altura de planta (cm) predita para os sete híbridos de milho avaliados em seis ambientes em Balsas - MA, 2021.

Para a altura de espiga os resultados podem ser observados na Figura 13, onde, no ambiente 1 a superioridade foi verificada para os genótipos MG 447, P2970, P2719, MG408, P3707 e MG607, com destaque para os cinco primeiros. Para o ambiente 2, a superioridade foi verificada para os genótipos MG 447, P2970, P2719, MG408, P3707, sendo que todos se destacaram neste ambiente. Para o ambiente 3, a superioridade foi para os genótipos MG447, P2970, P2719 e P3707, com destaque para o MG447. Para o ambiente 4, a superioridade foi verificada para os genótipos MG447, P2970, P2719, com destaque para o genótipo MG447. Para o ambiente 5, a superioridade foi verificada para o genótipo MG447 e para o ambiente 6, não foi observada a superioridade de nenhum dos genótipos estudados quanto a altura da espiga.

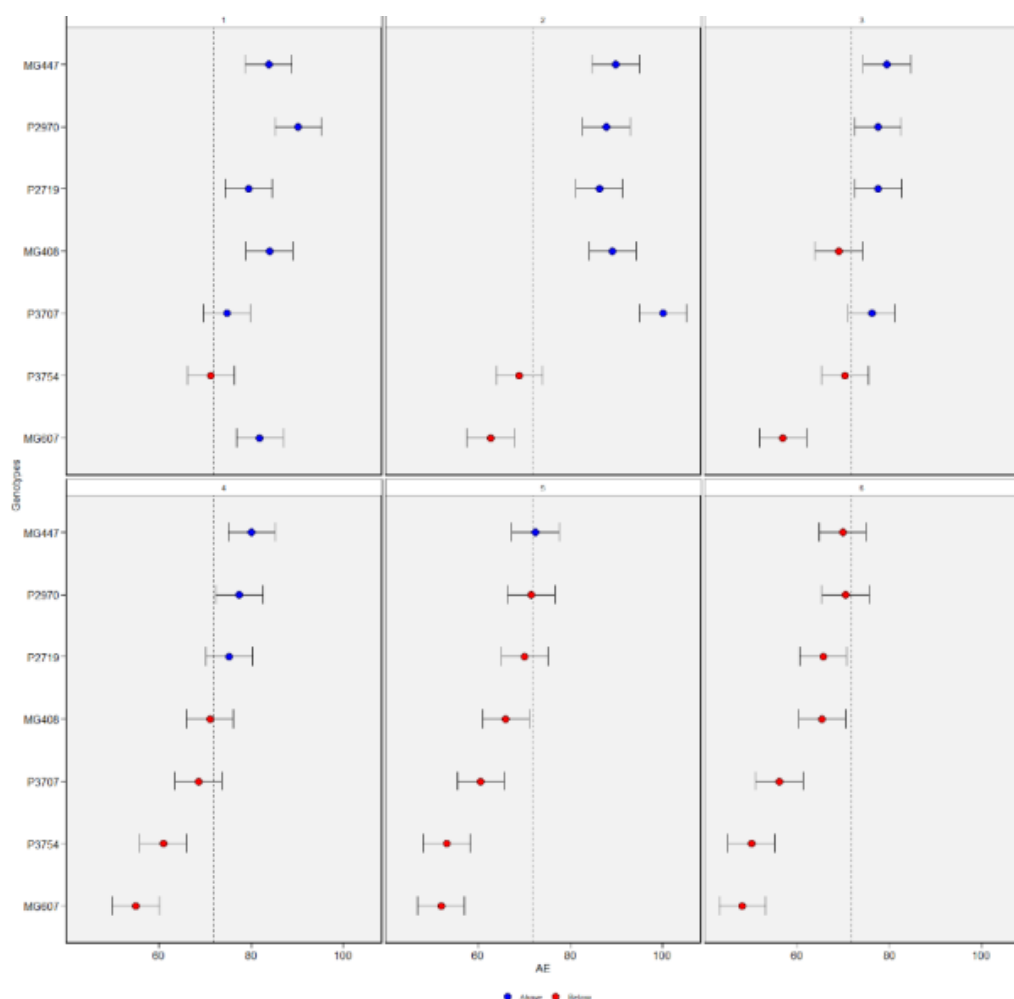


Figura 13. Característica altura de espiga (cm) predita para os sete híbridos de milho avaliados em seis ambientes, em Balsas - MA, 2021.

Na Figura 14 estão os resultados para a característica produtividade de grãos, onde é possível verificar que, no ambiente 1, todos os genótipos apresentaram superioridade, sendo observado destaque para os genótipos P2970, P3754 e P3717. O mesmo ocorreu no ambiente 2, onde todos os genótipos apresentaram superioridade, com destaque para o P2970 e P3707. No ambiente 3, a superioridade foi verificada para os genótipos P2970, P3754, P3707, MG447, MG408 e MG607, com destaque para P2970. No ambiente 4, somente o genótipo P2970 apresentou superioridade e destaque. Para os ambientes 5 e 6, não foi possível verificar superioridade de nenhum genótipo avaliado. Assim, por meio destes resultados verifica-se que os genótipos P2970, P3754 e P3707 foram os que se destacaram quanto a produtividade de grãos neste estudo.

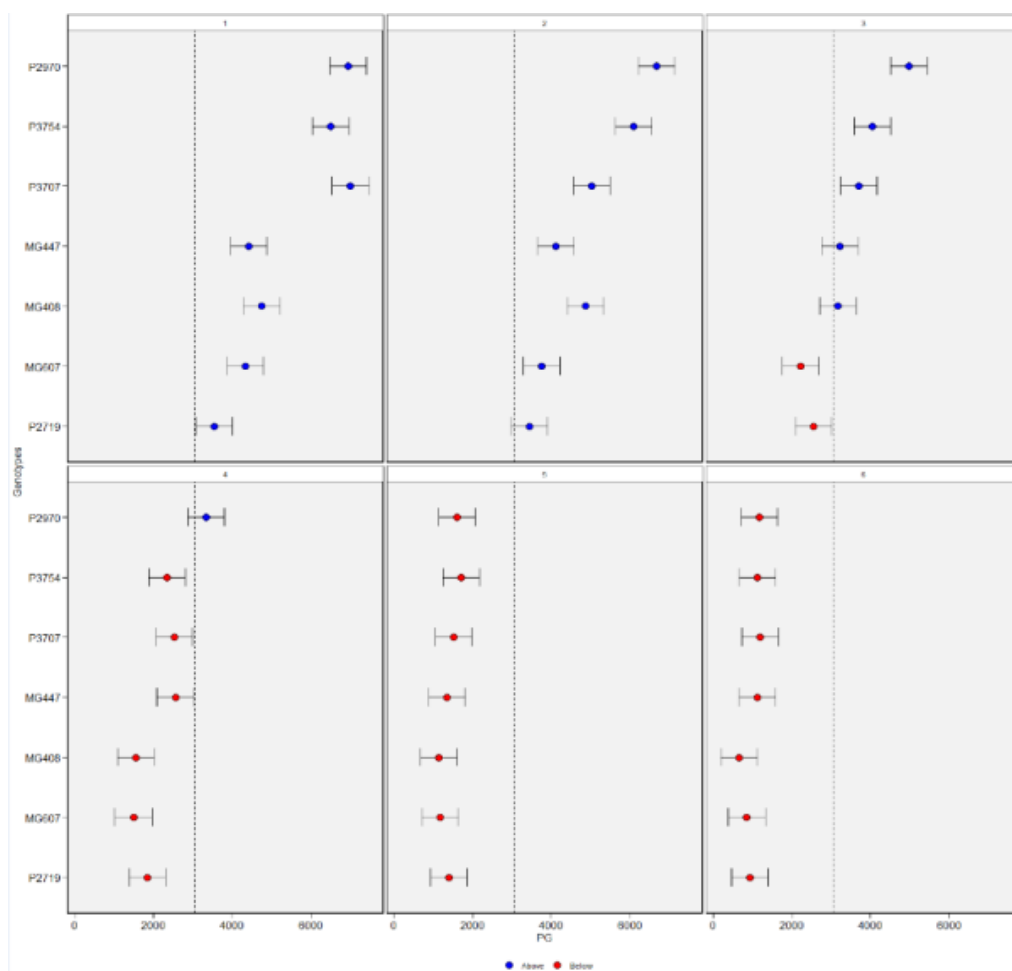


Figura 14. Característica produtividade de grãos (kg ha⁻¹) predita para os sete híbridos de milho avaliados em seis ambientes em Balsas - MA, 2021

A estabilidade ambiental possui grande importância pois ela informa sobre a confiabilidade no ranqueamento dos genótipos em um determinado ambiente em relação à média dos ambientes testados (Oliveira et al., 2003). Trabalhos realizados com a cultura do milho a fim de analisar a adaptabilidade e estabilidade de diferentes genótipos em diferentes ambientes, comparando o método de Eberhart & Russell (1966) com os modelos mistos REM/Blup e AMMI, concluíram que esses dois últimos classificaram os mesmos genótipos, identificando os mais estáveis e os com maior adaptabilidade geral, além de, sugerir a maior eficiência das análises pela metodologia AMMI (Miranda et al., 2009).

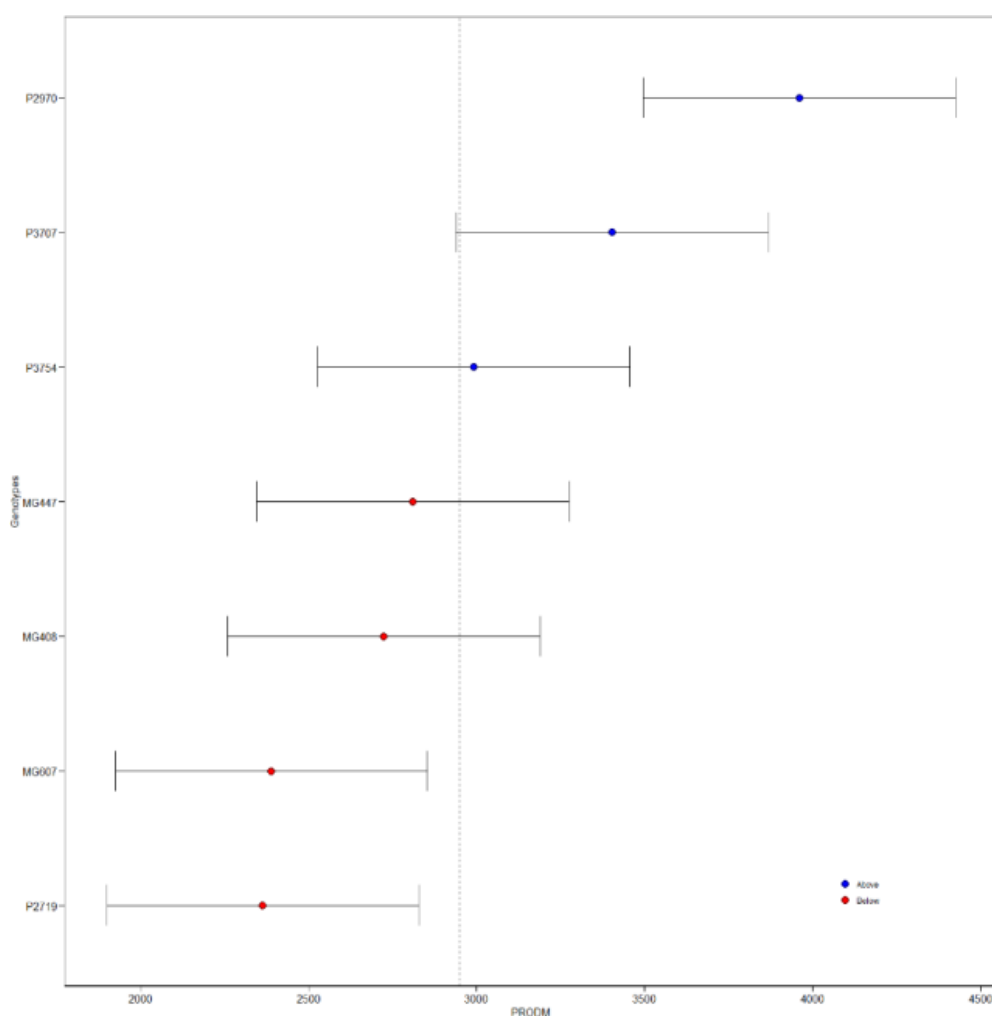


Figura 15. Características gerais preditas para os sete híbridos de milho avaliados em seis ambientes, em Balsas - MA, 2021

4.3. Análises de variância e teste de comparação de médias para a cultura do Sorgo

Por meio da análise de variância individual dos ambientes foi possível observar que houve efeito significativo da fonte de variação tratamento em todos os ambientes para as características altura de planta e altura do cacho. Para produtividade de grãos, nenhum dos ambientes testados proporcionou variação significativa capaz de alterar o comportamento dos genótipos testados (Tabela 16).

Tabela 16. Resumo da análise de variância individual para as características altura de planta (cm), altura do cacho (cm) e produtividade de grãos (kg ha^{-1}) em genótipos de sorgo avaliados em seis épocas de semeadura. Balsas - MA, 2021.

Época	Altura de Plantas				
	Média	QM BLOCO	QM (RES)	QM (TRAT)	CV (%)
1	89,05	1,84	21,52	1273,14**	5,21
2	85,87	3,38	18,19	880,37**	4,97
3	83,44	0,72	4,97	667,03**	2,67
4	83,87	0,99	15,18	1148,36**	4,65
5	72,86	6,92	14,87	1422,78**	5,29
6	68,19	37,28	113,11	1065,36**	15,60
Relação maior/menor(QMR) = 22,76					
Época	Altura de cacho				
	Média	QMBLOCO	QM(RES)	QM(TRAT)	CV (%)
1	102,93	47,71	6,25	1345,52**	2,44
2	104,19	27,50	6,60	1102,28**	2,46
3	101,86	38,99	9,96	1014,32**	3,09
4	101,21	54,04	7,83	1110,92**	2,76
5	97,77	60,45	11,65	1213,71**	3,49
6	94,97	68,92	19,09	1232,21**	4,60
Relação maior/menor(QMR) = 3,05					
Época	Produtividade de grãos				
	Média	QMBLOCO	QM(RES)	QM(TRAT)	CV (%)
1	3087,90	3102,11	5.728,28	2.157,84 ^{ns}	2,45
2	3241,07	29.275,52	4.681,48	10.062,03 ^{ns}	2,11
3	3060,57	833,65	3.983,22	1.970,10 ^{ns}	2,06
4	2578,44	14.848,42	7.437,24	18.855,64 ^{ns}	3,34
5	2095,68	10.817,04	5.024,33	8.562,14 ^{ns}	3,38
6	1698,17	10.714,98	10.035,89	17.718,57 ^{ns}	5,89
Relação maior/menor(QMR) = 2.52					

^{ns} e ** não significativo e significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F. O grau de liberdade de tratamento e de resíduo foram iguais a 6 e 18, respectivamente. QM - Quadrado médio; CV coeficiente de variação.

Os coeficientes de variação estiveram dentro dos padrões desejados (menor que 20%) para as características altura de plantas, altura do cacho e produtividade de grãos. O coeficiente de variação, além de estimar o erro experimental, ele também permite realizar inferências sobre a variabilidade da característica (Banzatto & Kronka, 2013).

Com relação a análise da homogeneidade das variâncias, observa-se que, com exceção da característica altura de plantas, todas as demais apresentaram valor da relação entre o maior e menor QMresíduo menor que sete, procedendo-se o ajuste dos graus de liberdade conforme proposto por Cochran (1954).

Cumpridas as exigências de homogeneidade da variância residual, a análise conjunta dos ambientes revelou efeito significativo das fontes de variação genótipos e ambientes para todas as características avaliadas, evidenciando que, pelo menos um dos genótipos de sorgo diferiu dos demais quando submetido aos diferentes ambientes, bem como, que pelo menos um dos ambientes proporcionou condições diferenciadas para o crescimento e desenvolvimento da cultura (Tabela 17).

Tabela 17. Resumo da análise de variância conjunta para altura de plantas (cm), altura do cacho (cm) e produtividade de grão (kg ha⁻¹) em híbridos de sorgo avaliados em seis épocas de semeadura no município de Balsas - MA, em 2021.

FV	GL	Quadrado Médio		
		Altura de Plantas	Altura de cacho	Produtividade
Blocos	3	3,97	288,93	201.992
Genótipos (G)	6	6.232,30**	6.605,97**	12.089.687**
Ambientes (A)	5	1857,72**	335,83**	90.895.533**
G x A	30	44,94*	82,59**	1.485.330 ^{ns}
Resíduo	123	28,63	9,19	155.568
Total	167	-	-	-
Média		80,54	100,48	3.046
CV(%)		6,64	3,01	4,09

** Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F. FV - Fonte de variação; GL - grau de liberdade; SQ - Soma de quadrados; QM - quadrado médio; CV - coeficiente de variação; Altura de planta - AP; Altura de espiga - AE; Produtividade - PROD.

Com relação a interação GxA, verificou-se que com exceção da característica produtividade de grãos, as demais apresentaram efeito significativo, indicando que os ambientes interferiram de forma diferenciada nos genótipos de sorgo testados. O

efeito não significativo de interação genótipos x épocas para a produtividade de grãos indica que não existe comportamento diferenciado dos genótipos ao longo das épocas de semeadura para esta característica, ou seja, é possível selecionar o melhor, independente da época. Os coeficientes de variação para a análise conjunta dos ambientes oscilaram de 3,01 a 6,64%, sendo estes para altura do cacho e altura da planta, respectivamente (Tabela 17).

Bandeira et al. (2016) estudando o efeito das diferentes épocas de semeadura sobre as características do sorgo também não observaram variação significativa na produtividade devido as diferentes épocas de semeadura, mas sim para diâmetro do colmo e na altura de planta. Almeida Filho et al. (2010) avaliando o desempenho agrônomo e a estabilidade fenotípica de 25 genótipos de sorgo granífero em três ambientes observou efeito significativo do genótipo, do ambiente e da interação GxA para a produtividade de grãos. Bem como, encontraram valores de CVs que oscilaram de 2,81 a 23,95%.

Na Tabela 18 são apresentados os resultados do teste de comparação de médias para as características avaliadas. Verifica-se que, quando consideradas as médias em geral (genótipos nos ambientes), a maior média para a altura de planta foi observada no genótipo AS4639 (116,47cm) no ambiente 1 e a menor no genótipo NTXS 200 (54,95 cm) no ambiente 6. Quanto à altura do cacho, a maior média geral foi do genótipo AS4639 (129,15 cm, ambiente 1) e a menor no 50A10 (70,20 cm, ambiente 1).

No melhoramento do sorgo granífero, procura-se por genótipos com porte menor, ou seja, menor AP, para minimizar a probabilidade de ocorrência de acamamento (Almeida Filho et al., 2014). Segundo Santos (2003), é interessante que cultivares de sorgo granífero apresentem altura entre 1,0 e 1,5 m, pois assim, minimiza o acamamento e facilita a colheita mecanizada, uma vez que esta é realizada com implementos adaptados de outras culturas. Assim, verifica-se que a maioria dos genótipos testados apresentaram médias de AP dentro do padrão buscado para o sorgo granífero, e que, com o passar dos dias (atraso na semeadura), os genótipos apresentaram redução da AP e na AC, certamente devido as restrições ambientais nas quais a cultura foi submetida.

Tabela 18. Teste de comparação de médias para as características altura de planta e altura de cacho em híbridos de sorgo avaliados em seis épocas de semeadura no município de Balsas - MA, em 2021.

Híbridos	Altura de planta					
	Épocas de semeadura*					
	1	2	3	4	5	6
50A10	71,65 Ac	72,40 Ab	69,35 Ab	67,68 Ab	55,12 Bc	55,95 Bb
AG1095	111,55 Aa	105,93 Aa	103,95 ABa	106,75 Aa	93,75 BCa	92,45Ca
AS4639	116,47 Aa	108,55 ABa	99,15 BCa	109,50 ABa	105,00 Ba	91,05 Ca
DKB540	82,57 Abc	80,50 Ab	77,08 Ab	74,48 Ab	61,92 Bbc	59,60 Bb
GreenTec 327	80,90 Abc	79,40 Ab	78,25 ABb	78,68 Ab	67,45 BCb	62,93 Cb
NTX 100	86,42 Ab	77,48 ABb	75,78 ABb	76,98 ABb	66,75 BCb	60,43 Cb
NTXS 200	73,77 Ac	76,85 Ab	80,55 Ab	73,05 Ab	60,05 Bbc	54,95 Bb

Híbridos	Altura de cacho					
	Épocas de semeadura					
	1	2	3	4	5	6
50A10	83,40 Ac	83,15 Ad	83,98 Ad	77,87 ABd	73,23 BCd	70,20 Ce
AG1095	127,48 Aa	125,00 ABa	122,48 ABCa	120,87BCDa	118,20 CDa	115,70 Da
AS4639	129,15 Aa	125,65 ABa	122,90 BCa	122,17BCDa	119,25 CDa	116,50 Da
DKB540	96,05 Ab	94,32 Ac	91,60 ABc	91,92 ABc	87,20 BCc	84,30 Ccd
GreenTec 327	99,85Ab	97,40ABc	95,28ABCc	95,57 ABCc	92,38 BCc	90,37 Cc
NTX 100	97,92Ab	92,88ABc	89,43BCcd	90,67 Bc	87,13 BCc	83,75 Cd
NTXS 200	86,65Cc	110,95Ab	107,40ABb	109,37 ABb	107,00 ABb	103,95 Bb

*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula na linha, e pela mesma letra minúscula na coluna não se diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

*Épocas de semeadura: 1 – 09/02; 2 – 15/02; 3 – 20/02; 4 – 24/02; 5 – 27/02 e 6 – 03/03.

Na Tabela 19 estão presentes as médias para a produtividade de grãos. Como não houve interação significativa G x A, devemos analisar dentro de cada ambiente e entre genótipos. O genótipo GreenTec 327 teve destaque nos ambientes 1, 4 e 6, apresentando as maiores médias de produtividade nestes ambientes (3125,28, 2666,01 e 1778,72 kg ha⁻¹, respectivamente). No ambiente 2 o destaque foi do genótipo DKB540 (3306,32 kg ha⁻¹), no ambiente 3 o 50A10 (3091,89) e no ambiente 5, o genótipo NTXS 200 (2147,69 kg ha⁻¹). Os genótipos com as menores produtividades dentro de cada um dos ambientes foram NTX 100 nos ambientes 1, 3, 4, 5 e 6 (3060,69; 3032,51; 2497,47; 2012,90 e 1604,17 kg ha⁻¹, respectivamente) e NTXS 200 no ambiente 2 (3140,25 kg ha⁻¹).

Verifica-se que nos ambientes 1, 2 e 3 todos os genótipos apresentaram médias de produtividade de grãos acima da média nacional 2021/2022, que foi de 2719 kg ha⁻¹ (Conab, 2023). Já nos ambientes 4, 5 e 6, as médias foram abaixo da média nacional, evidenciando mais uma vez que, o atraso na semeadura do sorgo na região de Balsas é prejudicial a cultura, principalmente para a produtividade de grãos.

Tabela 19. Médias para a característica produtividade de grãos em genótipos de sorgo (kg ha⁻¹), avaliados em seis épocas de semeadura em Balsas - MA, 2021.

Produtividade							
Híbridos	Épocas de semeadura						Total
	1	2	3	4	5	6	
50A10	3083,75	3249,65	3091,89	2638,36	2126,89	1767,53	2659,67 a
AG1095	3075,77	3257,28	3084,83	2574,08	2071,53	1739,02	2633,75 ab
AS4639	3072,24	3253,54	3047,59	2540,54	2082,00	1640,03	2605,98 ab
DKB540	3083,75	3306,32	3054,58	2632,37	2134,89	1696,90	2651,46 a
GreenTec 327	3125,28	3249,65	3069,71	2666,01	2093,91	1778,72	2663,87 a
NTX 100	3060,69	3230,83	3032,51	2497,47	2012,90	1604,17	2573,09 b
NTXS 200	3113,84	3140,25	3042,94	2500,31	2147,69	1660,87	2600,98 ab
Total	3087,90 B	3241,07 A	3060,57 B	2578,44 C	2095,68 D	1698,17 E	

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula na linha, e pela mesma letra minúscula na coluna não se diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

*Épocas de semeadura: 1 – 09/02; 2 – 15/02; 3 – 20/02; 4 – 24/02; 5 – 27/02 e 6 – 03/03.

Silva et al. (2009) observaram médias de produtividade de grãos oscilando de 640 a 2060 kg ha⁻¹ em cultivares de sorgo avaliadas em Montividiu – GO, Rio Verde – GO em Santa Helena – GO. Albuquerque et al. (2011), observaram produtividade de grãos entre 5500 e 7000 kg ha⁻¹ um ano chuvoso em cultivares de avaliando cultivares de sorgo granífero e em um ano com baixa disponibilidade de chuvas, valores inferiores a 3000 kg ha⁻¹. Almeida Filho et al. (2014) observaram valores oscilando de 2393,94 a 7622,18 kg ha⁻¹ em genótipos de sorgo granífero cultivados em seis ambientes nos estados de MG, PI, GO, SP e RO.

Evidenciado o comportamento diferenciado entre as cultivares diante da variação ambiental para a maioria das características o ideal para a classificação correta dos genótipos nos determinados ambientes é a realização das análises de adaptabilidade e estabilidade, assim como as realizadas na cultura do milho.

4.4 Análises de adaptabilidade e estabilidade para a cultura do sorgo

4.4.1 Eberhart & Russell (1966)

Na Tabela 20 observa-se a estimativa dos índices ambientais, onde os ambientes 1, 2, 3, 4 (09, 15, 20 e 27 de fevereiro de 2021) foram favoráveis para as características AP e AC, e os ambientes 5 e 6 desfavoráveis para a sua manifestação nas plantas de sorgo. Para a produtividade de grãos os ambientes 1, 2 e 3 favoreceram o potencial produtivo dos genótipos, já, o 4, 5 e 6 foram desfavoráveis, conforme já comentado anteriormente, uma vez que, as médias reduziram ao longo dos dias de atraso da semeadura.

Tabela 20. Estimativas dos índices ambientais para as características altura de planta (AP, cm), altura do cacho (AC, cm) e produtividade de grãos (PROD, kg ha⁻¹) nos genótipos de sorgo avaliados em seis ambientes. Balsas - MA, 2021.

Épocas	Características		
	AP	AC	PROD
9 FEV/ 2021	8,5012	2,4399	475,3734
15 FEV/ 2021	5,3226	3,7042	623,8134
20 FEV/ 2021	2,8940	1,3756	432,9780
24 FEV/ 2021	3,3226	0,7220	-62,0252
27 FEV/ 2021	-7,6845	-2,7208	-535,1273
03 MAR/ 2021	-12,3560	-5,5208	-935,0123

A participação da variância para cada híbrido de acordo com Eberhart & Russel (1996) pode ser visualizada na Tabela 21. Ao desmembrar os efeitos de genótipos, foi possível observar valores significativos pelo teste F (5%) apenas para o genótipo NTXS 200 para a característica PROD.

Tabela 21. Resumo da análise de variância conjunta e decomposição dos quadrados médios de ambientes e genótipos para a altura de plantas (AP, cm), altura do cacho (AC, cm) e produtividade de grãos (PROD, kg ha⁻¹) em sete genótipos de sorgo segundo Eberhart & Russell (1966). Balsas - MA, 2021.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios		
		AP	AC	PROD
Total	41	1.171,49	1.068,12	1.351.726,02
Gen	6	6.232,31*	6.605,97*	26.114,69*
Amb x Gen	35	303,92	118,78	1.578.973,67
Amb linear	1	9.288,64	1.679,16	55.077.383,35
Gen x Amb linear	6	20,28 ^{ns}	84,96 ^{ns}	7.379,09 ^{ns}
Desvio agregado	28	43,81	70,29	5.086,45
50A10	4	23,10 ^{ns}	17,53 ^{ns}	1.517,34 ^{ns}
AG1095	4	145,33 ^{ns}	18,79 ^{ns}	1.599,50 ^{ns}
AS4639	4	11,06 ^{ns}	13,35 ^{ns}	2.683,13 ^{ns}
DKB540	4	12,94 ^{ns}	7,06 ^{ns}	4.861,00 ^{ns}
GreenTec 327	4	4,41 ^{ns}	8,88 ^{ns}	6.826,15 ^{ns}
NTX 100	4	18,98 ^{ns}	32,19 ^{ns}	999,81 ^{ns}
NTXS 200	4	90,85 ^{ns}	394,26 ^{ns}	17.118,26 *
Erro agregado	108	884,10	1.020,87	6.062,27

ns e *: não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F, respectivamente. GL - Grau de liberdade.

Na Tabela 22, pode-se observar que os genótipos com menor e maior média (β_0) para AP foram 50A10 (65,35cm) e AG1095 (104,95cm), respectivamente. Para a AC a maior média foi observada no híbrido AG1095 (122,60 cm) e a menor no 50A10 (78,63 cm). Para PROD os genótipos de maior e menor média foram GreenTec 327 (2.650,0 kg ha⁻¹) e NTX 100 (2.561,95 kg ha⁻¹), respectivamente.

A hipótese nula $\beta_1 = 1$ (5%) não foi rejeitada para nenhum dos genótipos avaliados para as características AP e PROD. Tal fato classifica por meio destas características todos os genótipos avaliados como de adaptabilidade geral. Com relação a característica AC, os genótipos 50A10 e NTXS 200 apresentaram efeito significativo de β_1 , ou seja, diferente de 1, sendo classificados como genótipo adaptados a ambientes favoráveis (50A10) e adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis (NTXS 200). Os demais genótipos possuem adaptabilidade geral para AC (Tabela 22).

Tabela 22. Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade para as características altura de planta (AP, cm), altura de cacho (AC, cm) e produtividade de grãos (PROD, kg ha⁻¹) em genótipos de sorgo segundo Eberhart & Russell (1966). Balsas - MA, 2021.

GEN	AP				AC			
	B ₀	B ₁	S ² d	R ²	B ₀	B ₁	S ² d	R ²
50A10	65,35	0,91 ^{ns}	-1,38 ^{ns}	0,92	78,63	1,60*	2,08 ^{ns}	0,90
AG1095	104,95	0,86 ^{ns}	-4,39 ^{ns}	0,63	122,60	1,17 ^{ns}	1,03 ^{ns}	0,81
AS4639	102,39	0,91 ^{ns}	29,17*	0,96	121,62	1,15 ^{ns}	2,39 ^{ns}	0,86
DKB540	72,69	1,17 ^{ns}	-3,29 ^{ns}	0,97	90,90	1,22 ^{ns}	-0,53 ^{ns}	0,93
GreenTec 327	74,60	0,91 ^{ns}	-6,05 ^{ns}	0,98	95,14	0,90 ^{ns}	-0,79 ^{ns}	0,85
NTX 100	73,97	1,09 ^{ns}	-2,41 ^{ns}	0,95	90,29	1,20 ^{ns}	5,75*	0,73
NTXS 200	69,87	1,12 ^{ns}	15,55*	0,82	104,22	-0,26*	96,26*	0,01

GEN	PROD			
	B ₀	B ₁	S ² d	R ²
50A10	2.642,46	0,96 ^{ns}	-1275,01 ^{ns}	1,00
AG1095	2.597,20	1,03 ^{ns}	-964,14 ^{ns}	1,00
AS4639	2.619,78	0,99 ^{ns}	-1402,35 ^{ns}	1,00
DKB540	2.640,00	1,00 ^{ns}	-433,25 ^{ns}	1,00
GreenTec 327	2.650,00	0,97 ^{ns}	-160,88 ^{ns}	1,00
NTX 100	2.561,95	1,04 ^{ns}	-1494,92 ^{ns}	1,00
NTXS 200	2.587,12	0,97 ^{ns}	2340,32 ^{ns}	0,99

Quanto as estimativas da estabilidade, verifica-se que para a AP, os genótipos AS4639 e NTXS 200 apresentaram baixa previsibilidade de comportamento e os demais, alta previsibilidade. Para AC os genótipos com baixa estabilidade foram o NTX 100 e o NTXS 200. Com relação a característica PROD todos os genótipos se mostraram estáveis nos ambientes testados (Tabela 22). Mesmo não tendo havido efeito significativo da interação GxA para produtividade de grãos, a análise de adaptabilidade é importante para observar o comportamento individual de cada genótipo de acordo com as variações de cada ambiente.

Com relação aos valores de R² praticamente todos os genótipos nas características avaliadas apresentaram elevados valores, demonstrando que o modelo aplicado explicou boa parte das variações observadas. Sendo o genótipo ideal segundo Eberhart e Russell (1966), aquele que possui uma alta média para a característica, ampla adaptabilidade e alta estabilidade, considerando a produtividade,

pode-se inferir que todos os genótipos de sorgo avaliados, tem potencial nos ambientes testados, uma vez que todos foram classificados como de ampla adaptabilidade e alta previsibilidade e apresentaram médias satisfatórias.

4.4.2 Metodologia de Lin & Binns (1988)

Na Tabela 23 são apresentadas as médias das características dos genótipos de sorgo nos ambientes testados, bem como, o índice de estabilidade que classifica os ambientes em favoráveis e desfavoráveis. Para a altura de plantas e altura do cacho os ambientes 1, 2, 3 e 4 foram considerados favoráveis e os ambientes 5 e 6 como desfavoráveis. Para a produtividade de grãos, os ambientes 1, 2 e 3 foram classificados como favoráveis e os ambientes 4, 5 e 6 como desfavoráveis.

Tabela 23. Médias e índice ambiental para as características altura de planta (cm), altura de cacho (cm) e produtividade de grãos (PROD) em genótipos de sorgo avaliados em seis ambientes em Balsas - MA, 2021.

Características	Época de semeadura	Y	Índice	Classificação
Altura de planta	1	89,0500	8,5012	Favorável
	2	85,8714	5,3226	Favorável
	3	83,4429	2,8940	Favorável
	4	83,8714	3,3226	Favorável
	5	72,8643	-7,6845	Desfavorável
	6	68,1929	-12,3560	Desfavorável
Altura do cacho	1	102,9286	2,4399	Favorável
	2	104,1929	3,7042	Favorável
	3	101,8643	1,3756	Favorável
	4	101,2107	0,7220	Favorável
	5	97,7679	-2,7208	Desfavorável
	6	94,9679	-5,5208	Desfavorável
Produtividade	1	3.089,4514	475,3734	Favorável
	2	3.237,8914	623,8134	Favorável
	3	3.047,0561	432,9780	Favorável
	4	2.552,0529	-62,0252	Desfavorável
	5	2.078,9507	-535,1273	Desfavorável
	6	1.679,0657	-935,0123	Desfavorável

Na tabela 24 observa-se a classificação dos genótipos e o seu ranqueamento de acordo com a condição ambiental submetida. Os menores valores de P_i estão diretamente relacionados com as maiores médias, porém, nem sempre as maiores médias são as melhores, como por exemplo, para AP e AC. No entanto, o ranqueamento dos genótipos foi baseado nas maiores médias, cabendo ao melhorista analisar a melhor situação e genótipo, uma vez que, no presente estudo, os genótipos testados apresentaram tanto AP, quanto AC dentro dos padrões.

Tabela 24. Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade fenotípica para altura de planta (cm), altura de cacho (cm) e produtividade de grãos (PROD) em genótipos de sorgo. Lin & Binns (1988). Balsas - MA, 2021.

Híbrido	Média	Altura de Planta					
		Geral		Favorável		Desfavorável	
		P_i	Rank	P_i	Rank	P_i	Rank
50A10	65,36	840,1966	7	782,8242	7	954,9414	7
AG1095	104,95	2,0833	1	2,8800	1	0,4900	1
AS4639	102,40	13,7726	2	4,8386	2	31,6406	2
DKB540	72,69	568,3006	5	485,6286	5	733,6445	5
GreenTec 327	74,60	500,6418	3	465,7467	4	570,4320	3
NTX 100	73,97	517,4190	4	465,0455	3	622,1658	4
NTXS 200	69,87	677,5913	6	588,0428	6	856,6881	6

Híbrido	Média	Altura de cacho					
		Geral		Favorável		Desfavorável	
		P_i	Rank	P_i	Rank	P_i	Rank
50A10	78,63	969,91	7	922,11	7	1.065,49	7
AG1095	122,60	0	1	0	1	0	1
AS4639	121,62	0,57	2	0,63	2	0,43	2
DKB540	90,90	502,97	5	496,45	5	516,01	5
GreenTec 327	95,14	377,66	4	390,90	4	351,19	4
NTX 100	90,29	522,21	6	520,25	6	526,14	6
NTXS 200	104,22	227,83	3	303,30	3	76,89	3

Híbrido	Média	Produtividade					
		Geral		Favorável		Desfavorável	
		P_i	Rank	P_i	Rank	P_i	Rank
50A10	2.642,46	645,07	2	946,62	4	343,52	1
AG1095	2.597,20	3.604,98	5	1.096,91	5	6.112,99	5
AS4639	2.619,78	1.809,06	4	945,91	3	2.672,21	4
DKB540	2.640,00	811,98	3	491,25	1	1.132,71	3
GreenTec 327	2.650,00	627,21	1	644,18	2	610,24	2
NTX 100	2.561,95	7.257,65	7	2.232,43	6	12.282,89	7
NTXS 200	2.587,12	6.005,59	6	4.963,69	7	7.047,48	6

*Decomposição de P_i (índice de superioridade do genótipo) em favorável (P_{if}) e desfavorável (P_{id}).

Assim, para altura de planta, verifica-se que com base no ranqueamento de Lin & Binns os genótipos AG1095 e AS4639 apresentaram as maiores médias nas três condições ambientais, evidenciando que, em qualquer uma das situações testadas eles têm capacidade de se adaptar e expressar seu potencial referente à AP. Por outro lado, 50A10 e NTXS 200 foram os que apresentaram as menores médias nos três ambientes, evidenciando sua baixa capacidade de adaptação e estabilidade. Para a característica altura do cacho, o resultado se repete para os genótipos mais bem classificados sendo eles AG1095 e AS4639, já, com as menores médias encontra-se novamente o 50A10 juntamente com o NTX 100, nas três condições ambientais testadas (Tabela 24).

Para a produtividade de grãos, caractere de maior interesse agrônomo, verifica-se que os genótipos 50A10 e GreenTec 327 ocuparam os primeiros lugares no ranqueamento nas condições de ambiente geral e ambiente desfavorável. Nas condições de ambiente favorável, o genótipo GreenTec 327 ocupou juntamente com o DKB540 as primeiras posições do ranking. O genótipo GreenTec 327 merece destaque quanto a produtividade de grãos, destacando-se em todas as condições ambientais testadas, evidenciando sua estabilidade produtiva, podendo ser uma alternativa para a recomendação em qualquer época de semeadura, permitindo a manutenção da produtividade mesmo com algumas adversidades climáticas. Por outro lado, o NTX 100 e o NTXS 200 apresentaram baixa estabilidade para as três condições ambientais, não sendo indicados para o cultivo nas condições testadas.

4.4.3 Metodologia de Annicchiarico (1992)

As estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade fenotípica para as características altura de plantas e altura do cacho revelaram que as épocas 1, 2, 3 e 4 foram classificadas como favoráveis para os genótipos testados (Tabela 25). Por outro lado, os ambientes 5 e 6 foram considerados desfavoráveis uma vez que, além do índice negativo, as médias foram baixas.

Tabela 25. Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade fenotípica para as características avaliadas nos genótipos de sorgo testados em seis ambientes em Balsas - MA, 2021, pelo método de Annicchiarico (1992).

Característica	Época	Yi	Índice	Classificação
Altura de planta	1	89,0500	8,50	Favorável
	2	85,8714	5,32	Favorável
	3	83,4429	2,89	Favorável
	4	83,8714	3,32	Favorável
	5	72,8643	-7,68	Desfavorável
	6	68,1929	-12,35	Desfavorável
Altura de cacho	1	102,9286	2,43	Favorável
	2	104,1929	3,70	Favorável
	3	101,8643	1,37	Favorável
	4	101,2107	0,72	Favorável
	5	97,7679	-2,72	Desfavorável
	6	94,9679	-5,52	Desfavorável
Produtividade	1	3.089,45	475,37	Favorável
	2	3.237,89	623,81	Favorável
	3	3.047,05	432,97	Favorável
	4	2.552,05	-62,02	Desfavorável
	5	2.078,95	-535,12	Desfavorável
	6	1.679,06	-935,01	Desfavorável

Yi = é a média do genótipo *i* em percentagem (%).

Com relação a PROD, os ambientes 1, 2 e 3 foram classificados como favoráveis para os híbridos testados, sendo evidenciado pelas maiores médias nestes ambientes. Por outro lado, os ambientes 4, 5 e 6 não beneficiaram a produção de grãos nos genótipos de sorgo testados nestes experimentos, sendo classificados como desfavoráveis (Tabela 25). Tal fato demonstra novamente que, o atraso na época de semeadura prejudicou a expressão do potencial produtivo dos genótipos de sorgo avaliados.

Analisando a Tabela 26 é possível observar os resultados da estimativa dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade fenotípica para cada uma das características e o ranqueamento dos genótipos nos ambientes geral, favorável e desfavorável. Para a AP e AC, os híbridos AG1095 e AS4639 foram ranqueados nas duas primeiras posições, para as três condições ambientais, evidenciado que

possuem estabilidade em qualquer uma das condições avaliadas. Por outro lado, os genótipos 50A10 e NTX 100 encontram-se nas últimas posições do ranqueamento sendo classificados como de baixa estabilidade.

Vale lembrar que, o índice de confiança genotípico (W_i) ranqueia os genótipos tomando como base, valores de alta magnitude (alta média) como sendo o ideal, porém, para as características AP e AC, altos valores nem sempre são os desejados, devendo assim, a interpretação ser realizada e adequada para cada necessidade, de acordo com os propósitos do melhorista.

Tabela 26. Estimativas dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em híbridos de sorgo avaliados em Balsas - MA, 2021, pelo método de Annicchiarico (1992). Índice de confiança genotípico (W_i).

Híbrido	Altura de plantas					
	Geral		Favorável		Desfavorável	
	W_i	Rank	W_i	Rank	W_i	Rank
50A10	79,01	7	80,87	7	75,80	7
AG1095	125,08	1	122,87	2	133,76	1
AS4639	124,47	2	124,01	1	128,82	2
DKB540	87,65	5	90,45	4	85,04	5
GreenTec 327	91,88	3	91,78	3	92,28	3
NTX 100	89,74	4	90,35	5	88,67	4
NTXS 200	82,50	6	85,12	6	80,62	6

Híbrido	Altura de cachos					
	Geral		Favorável		Desfavorável	
	W_i	Rank	W_i	Rank	W_i	Rank
50A10	75,84	7	78,47	7	73,94	7
AG1095	120,73	1	120,23	1	121,98	1
AS4639	119,95	2	119,51	2	120,92	2
DKB540	89,33	5	90,14	5	88,77	5
GreenTec 327	93,80	4	93,49	3	94,49	4
NTX 100	88,01	6	88,22	6	88,20	6
NTXS 200	97,25	3	93,42	4	109,44	3

Híbrido	Produtividade de grãos					
	Geral		Favorável		Desfavorável	
	W_i	Rank	W_i	Rank	W_i	Rank
50A10	100,34	1	99,98	2	101,48	1
AG1095	98,22	5	99,54	5	97,30	5
AS4639	99,53	4	99,78	3	99,20	4
DKB540	100,24	2	99,73	4	100,74	3
GreenTec 327	100,23	3	100,13	1	100,84	2
NTX 100	96,29	7	99,06	6	95,26	7
NTXS 200	97,42	6	97,65	7	96,89	6

Quanto a produtividade de grãos, destaque é dado ao genótipo 50A10 que está na primeira posição do ranking para os ambientes geral e desfavorável e em segundo lugar para ambientes favoráveis, demonstrando seu potencial e estabilidade de produção em qualquer situação ambiental. Assim como, o genótipo GreenTec 327 que esteve na primeira e segunda posição para os ambientes favorável e desfavorável, respectivamente (Tabela 26). Os materiais NTX 100 e NTXS 200 não devem ser recomendados para as condições testadas quando o objetivo é a obtenção de altas produtividades e estabilidade, pois foram ranqueados nas últimas posições pelo método em questão.

4.4.4 AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction)

Na Tabela 27 está presente a decomposição dos valores da interação entre genótipo e ambiente por meio da metodologia AMMI para a altura de planta, onde verifica-se que apenas o CP1 foi significativo a 1%, explicando sozinho um total de 75,2% da variação observada. Os valores dos componentes CP2, CP3, CP4 e CP5 não foram significativos, evidenciando a existência de ruído (variação não relacionada com o fenômeno da interação). Os dois primeiros componentes são suficientes para avaliar a estabilidade e adaptabilidade dos genótipos e o efeito da interação, acumulando juntos 87,0%.

Tabela 27. Resultado do teste AMMI para altura de planta (cm). Decomposição em valores singulares aplicada a matriz de interação GxA decomposta em cinco componentes principais, obtidos em seis ambientes para sete genótipos de sorgo. Balsas - MA, 2021.

CP	GL	SQ	QM	Explicado	Acumulado	F	P
CP1	10	1014,07	101,40*	75,2	75,2	3,24	1,1
CP2	8	159,41	19,92 ^{ns}	11,8	87	0,64	7,42
CP3	6	121,12	20,18 ^{ns}	9	96	0,64	6,98
CP4	4	51,25	12,81 ^{ns}	3,8	99,8	0,41	8,01
CP5	2	2,56	1,28 ^{ns}	0,2	100	0,04	9,6
Resíduo	108	3381,24	31,30	-	-	-	-
Total	197	52913,97	268,59	-	-	-	-

**e* = significativo 1% e a 5% de probabilidade, ^{ns} = não significativo. CP = Componente principais

Na Tabela 28 está à decomposição de valores da interação entre genótipo e ambiente para a altura do cacho, onde verifica-se que apenas o CP1 foi significativo (1% no teste F), explicando 93,4% da variação. Os demais componentes não foram significativos pelo teste F.

Tabela 28. Resultados dos testes AMMI para a altura do cacho (cm). Decomposição em valores singulares aplicada a matriz de interação GxA decomposta em cinco componentes principais, obtidos em seis ambientes para os sete genótipos de sorgo. Balsas - MA, 2021.

CP	GL	SQ	QM	Explicado	Acumulado	F	P
CP1	10	2313,59	231,35**	93,4	93,4	22,62	0
CP2	8	149,52	18,69 ^{ns}	6,0	99,4	1,83	7,91
CP3	6	10,57	1,76 ^{ns}	0,4	99,8	0,17	9,84
CP4	4	3,74	0,93 ^{ns}	0,2	100	0,09	9,85
CP5	2	0,53	0,26 ^{ns}	0	100	0,03	9,70
Resíduo	108	1104,78	10,22	-	-	-	-
Total	197	48268,57	245,01	-	-	-	-

**e* = significativo 1% e a 5% de probabilidade, ^{ns} = não significativo. CP = Componente principais

Observa-se por meio da Tabela 29 que para a produtividade de grãos todos os componentes principais foram significativos. O CP1 explicou uma variação de 48,1% e CP2 de 34,1%, explicando juntos uma soma de quadrados de 82,2% sendo suficientes para avaliar a estabilidade e adaptabilidade dos genótipos e o efeito da interação.

Tabela 29. Resultados dos testes AMMI para produtividade de grãos (kg ha⁻¹). Decomposição em valores singulares aplicada a matriz de interação GxA decomposta em cinco componentes principais. Obtidos em seis ambientes para sete genótipos de sorgo. Balsas - MA, 2021.

CP	GL	SQ	QM	Explicado	Acumulado	F	P
CP1	10	89830,08	8,98**	48,1	48,1	1,48	0,15
CP2	8	63645,55	7,95**	34,1	82,2	1,31	0,24
CP3	6	22744,55	3,70*	12,2	94,4	0,63	0,70
CP4	4	9839,32	2,45*	5,3	99,7	0,41	0,80
CP5	2	635,74	3,17*	0,3	100	0,05	0,95
Resíduo	108	654725,47	6,06	-	-	-	-
Total	197	56468726,76	2,86	-	-	-	-

**e* = significativo 1% e a 5% de probabilidade, ^{ns} = não significativo. CP = Componente principais

Para interpretação gráfica das características avaliadas foram utilizados os dois primeiros componentes principais CP1 e CP2, pois juntos explicam a maior parte da variação da SQ observada. As AMMI Biplot são apresentadas nas Figuras 16, 17, 18 onde os genótipos mais próximos a zero, são os que contribuem menos para a interação, sendo considerados estáveis.

Na a Figura 16 está a representação da análise gráfica Biplot AMMI para a altura de planta, onde observa-se que o ambiente 4 foi o mais estável (mais próximo do ponto de origem e menores valores para os eixos da interação). Os marcadores de ambiente e de genótipo apontando para mesma direção indicam interação GxA. Assim, verifica-se que o genótipo AG1095 teve uma interação positiva com os ambientes 1 e 4. O AS4639, apesar de apresentar indicador positivo, possui interação específica com o ambiente 4. O NTX 100 possui interação positiva com o ambiente 5. Os genótipos GreenTec, DKB 540, 50A10 e NTXS 200 possuem interação positiva com o ambiente 6. Não há nenhuma interação GxA nos ambientes 2 e 3 para a AP.

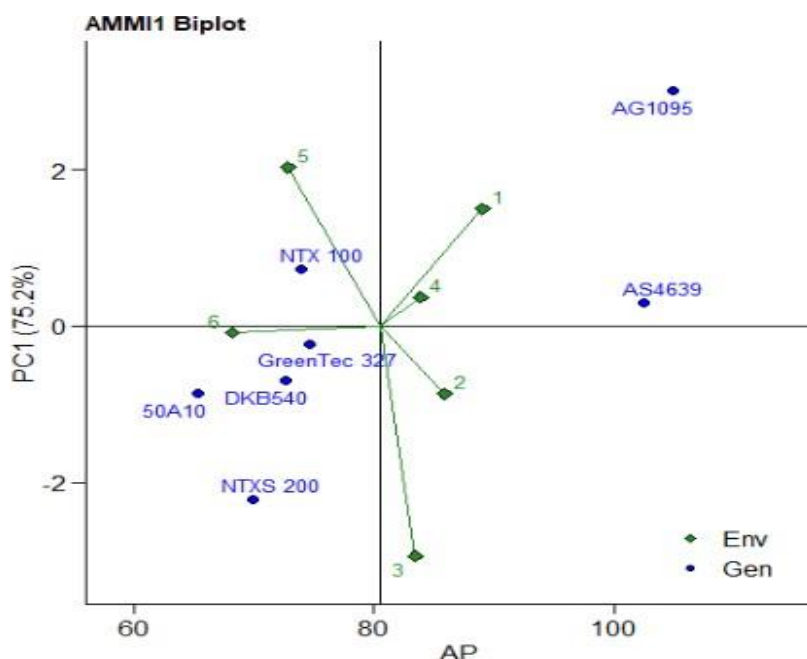


Figura 16. Biplot AMMI com os dois primeiros componentes principais de interação para os dados médios de altura de planta (cm) dos híbridos de sorgo (GEN) nos seis ambientes avaliados (Env) em Balsas, MA - 2021.

Genótipos e ambientes em posições e eixos opostos indicam uma falta de interação, ou seja, uma falta de adaptação do genótipo naquele determinado

ambiente. Assim, verifica-se que os genótipos AG1095 e AS4639 não tiveram interação com o ambiente 6, que, GreenTec 327, DKB 540, 50A10 e NTXS 200 não possuem interação com os ambientes 1 e 4 e que o NTX 100, não possui interação com os ambientes 2 e 3. Ainda, os genótipos com resultados acima da média para AP foram o AG1095 e o AS4639 (Figura 16).

Na Figura 17 tem-se o Biplot AMMI para altura do cacho onde verifica-se que os ambientes 2, 3 e 4 foram os mais estáveis, isso por que, estão mais próximos do ponto de origem (zero), ou seja, valores menores para os eixos da interação. A similaridade dos marcadores apontando para mesma direção indica interação positiva (escore positivo) do genótipo NTXS 200, com os ambientes 2, 3 e 4. Os genótipos AG1095 e AS4639 não tiveram interação com nenhum dos ambientes avaliados. Os genótipos GreenTec 327, NTX 100, DKB540 e 50A10 possuem escores negativos e não apresentaram interação com nenhum dos ambientes avaliados. Os genótipos de sorgo com resultados acima da média para a altura do cacho foram AG1095, AS 4639 e NTXS 200.

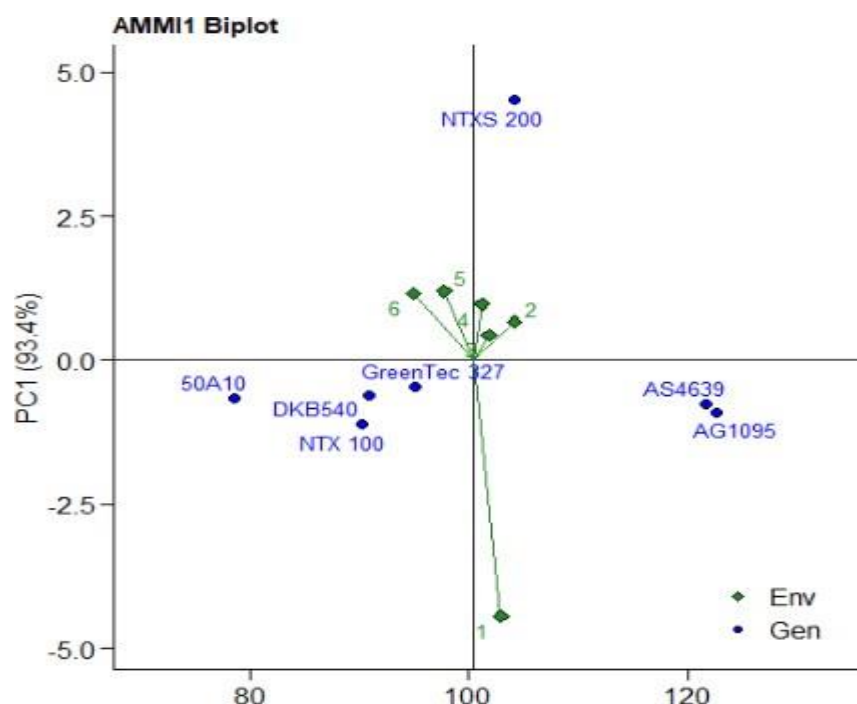


Figura 17. Biplot AMMI com os dois primeiros componentes principais de interação para dados de médias de altura de cacho (cm) dos híbridos de sorgo (GEN) nos ambientes avaliados (Env) em Balsas - MA, 2021.

Na representação da análise gráfica para produtividade de grãos (Figura 18) verifica-se que os genótipos NTX 100 e AG1095 foram os mais estáveis nos ambientes testados, apresentando interação específica com o ambiente 6, mas não possuem interação com os ambientes 1, 2 e 3. Os genótipos Green Tec 327, DKB540, 50A10, AS4639 apresentaram interação positiva com o ambiente 4 e falta de interação com o ambiente 5 ou seja, não são adaptados a essa condição. O genótipo NTXS 200 não apresentou interação com os ambientes testados. Os genótipos com resultados acima da média foram Green Tec 327, DKB540, 50A10 e AS4639, e os genótipos AG1095, NTX 100, NTXS200 apresentaram resultados gerais abaixo da média.

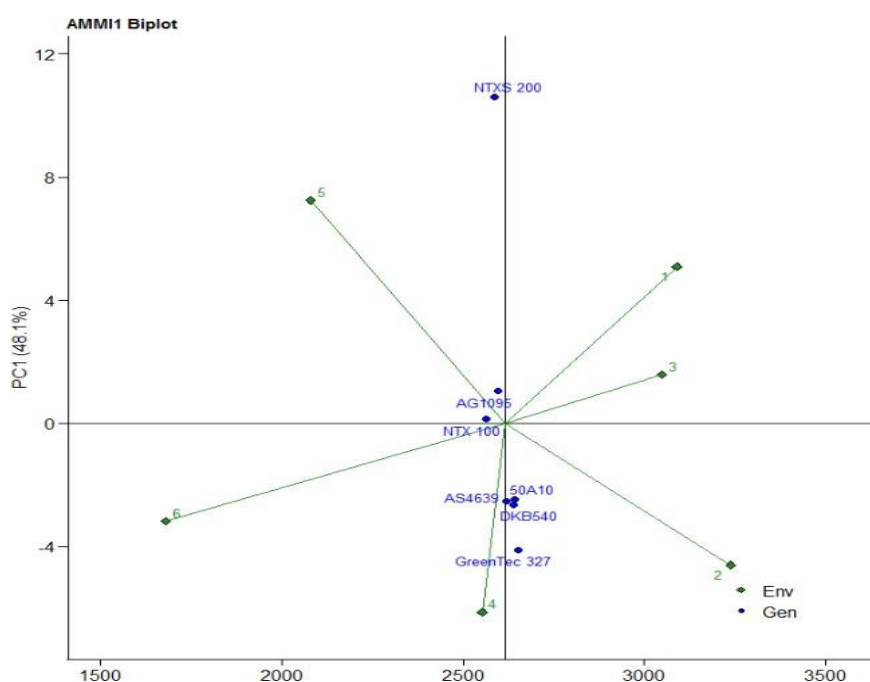


Figura 18. Biplot AMMI com os dois primeiros componentes principais de interação para dados médios de produtividade (kg ha^{-1}) dos sete híbridos de sorgo (GEN) e seis ambientes (Env) em Balsas - MA, 2021.

4.4.5 GGE Biplot (genotype main effects + genotype environment interaction)

O GGE - Biplot analisa o efeito combinado do genótipo (G), dentro da do ambiente (A) e a interação entre ambos (GxA) para cada características, dos quais, apenas G e GxA são relevantes e devem ser considerados de forma simultânea para avaliação do genótipo (Yan et al., 2000). Analisam-se os componentes principais,

onde, o PC1 indica a adaptabilidade relacionado as características estudadas (altura de planta, altura de cacho e produtividade) e o PC2 a estabilidade, onde quanto mais próximo de zero, maior a estabilidade encontrada.

Analisando a Figura 19 observa-se que o PC1 foi de 65,49% e o PC2 22,29%, juntos explicam 87,78% da dispersão dos dados, atendendo ao limite de 80% preconizado por Cruz e Regazzi (1997) para ser possível predizer quais os genótipos são os mais estáveis. É possível observar que o genótipo AS 4639 demonstrou maior estabilidade, mostrando uma menor interação GxA, com as maiores médias gerais e uma maior interação com o ambiente 2. O genótipo DKB 540 possui médias altas e maior interação com os ambientes 3 e 4. Os genótipos 50A10 e GreenTec 327, apesar de possuírem PC2 negativo, possuem valores acima da média, com interação com o ambiente 6. Os genótipos NTX 100 e AG1095 possuem pouca interação com os ambientes 1, 5 e 6 e o genótipo NTXS 200, com o ambiente 2.

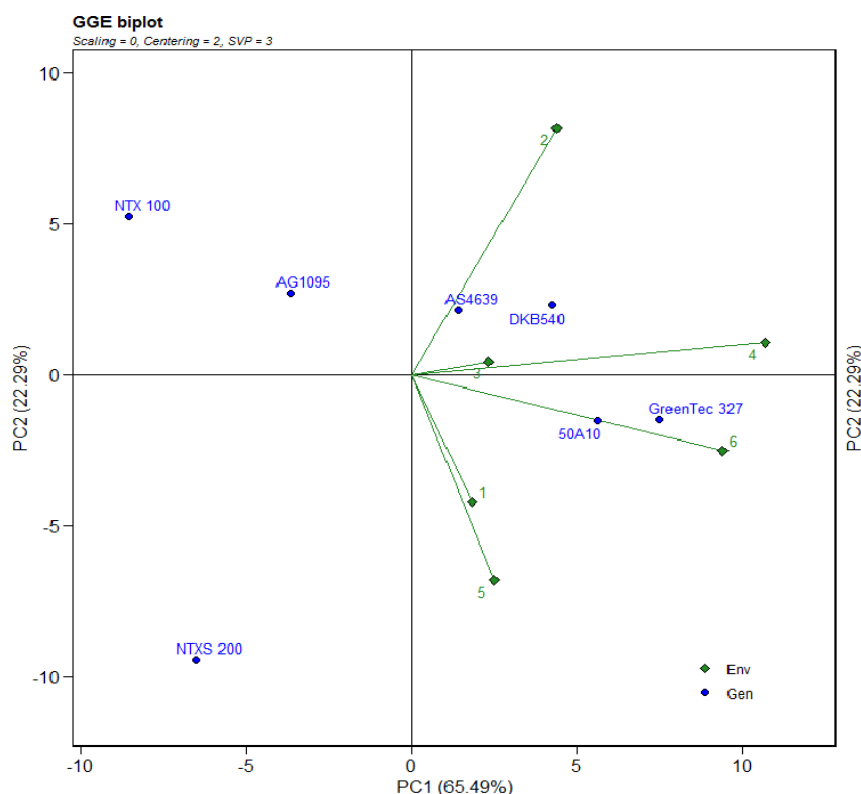


Figura 19. GGE Biplot - Gráfico elaborado com os dois primeiros componentes principais para as características gerais (altura de planta, altura de cacho e produtividade) dos sete genótipos de sorgo avaliados em seis ambientes em Balsas - MA, 2021.

Analisando a Figura 20 verifica-se que o PC1 foi de 65,49% e o PC2 22,29%, explicando 87,78% da dispersão dos dados. O modelo gráfico apresenta uma formação de um polígono determinando os melhores genótipos em cada ambiente. No Setor 1 está presente o genótipo AS4639 considerado como o mais estável por estar mais próximo do centro. No setor 2 tem-se os genótipos DKB540, Green Tec327 e 50A10 sendo considerados favoráveis para o ambiente 3. No Setor 3 tem-se o genótipo NTXS 200, com o ambiente 1 dentro do polígono, sendo considerado favorável a esse ambiente. No Setor 4 os genótipos NTX 100 e AG1095 estão dentro do grupamento, porém não contém ambiente favorável, ou seja, são os piores em relação as análises das características gerais em todos os ambientes. O genótipo mais estável é desejado apenas quando este apresenta conjuntamente, alto desempenho (Yan, 2011).

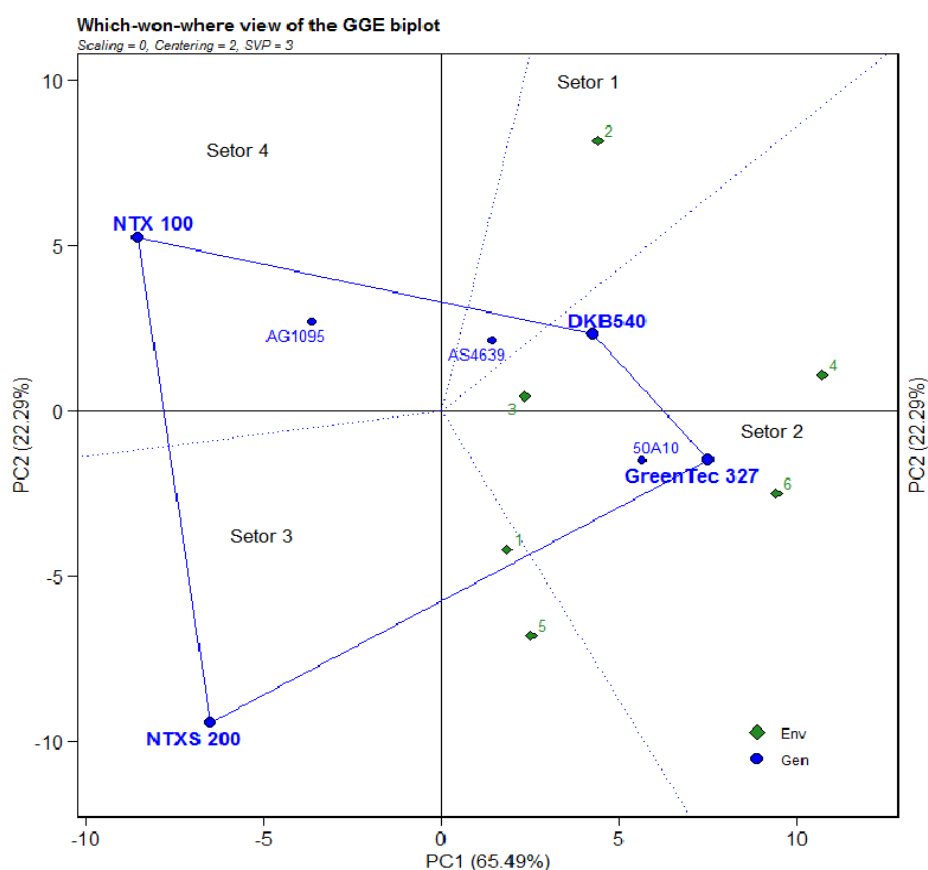


Figura 20. Polígono GGE Biplota partir dos genótipos: NTX 100, NTXS 200, DKB540, GreenTec 327, totalizando quatro setores principais para as características gerais (altura de planta, altura de espiga e produtividade de grãos) dos sete genótipos de sorgo avaliados em seis ambientes em Balsas - MA, 2021.

O genótipo AS4639 apresentou PC1 e PC2 positivos e, 50A10, GreenTec 327 e DKB540 apresentaram PC1 negativo e PC2 positivo, com o ambiente 3 dentro do polígono. O NTXS 200, apesar de possuir PC1 e PC2 negativos, possui o ambiente 1 dentro do polígono. Os demais genótipos não possuem nenhum ambiente dentro do polígono, sendo considerados desfavoráveis aos ambientes testados (Figura 20).

Na Figura 21 pelo método Mean e Stability, verifica-se que os valores obtidos de PC1 e PC2 foram de 65,49% e 22,29%, respectivamente, explicando juntos, 87,78% da dispersão dos dados. Os genótipos mais estáveis foram o GreenTec 327 e o 50A10, os quais apresentaram uma média geral acima da média. Em relação a classificação dos genótipos com base na análise das médias gerais, tem-se que a ordem dos genótipos acima da média a partir da ordem é: 1º - GreenTec 327, 2º - 50A10, 3º - DKB540, 4º - AS4639, 5º - AG1095, 6º - NTXS200 e 7º - NTX 100. O genótipo NTX100 é altamente instável e de baixa relação as características gerais. O genótipo mais estável é o AS4639, bem como, tem seu desempenho acima da média sendo considerado um genótipo ideal. O ambiente mais estável foi o 3, sendo considerado favorável para o cultivo dos genótipos de sorgo testados.

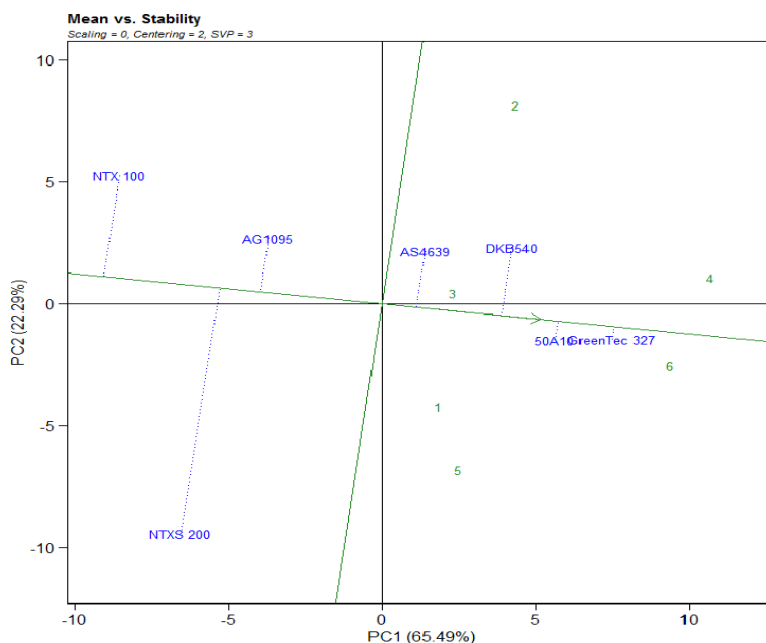


Figura 21. Mean vs Stability - Gráfico de estabilidade - GGE - Biplot, a partir dos dois primeiros componentes principais para as características gerais (altura de planta, altura de cacho e produtividade de grãos) dos sete genótipos de sorgo avaliados nos seis ambientes em Balsas - MA, 2021.

4.4.5.1 Análise de forma estratificada de cada característica

Com relação a característica altura de planta, pode ser observado na Figura 22, que o PC1 foi de 98,05% e o PC2 1,14%, explicando juntos, 99,19% da dispersão dos dados, sendo possível prever quais os genótipos são os mais estáveis para esta característica. Os genótipos foram ordenados da seguinte forma quanto a adaptabilidade para a altura de planta: AG1095 > AS4639 > NTX 100 > GreenTec 327 = DKB540 > NTXS200 > 50A10. Os genótipos AG1095 e AS 4639 foram identificados como os mais estáveis e com altura de planta acima da média.

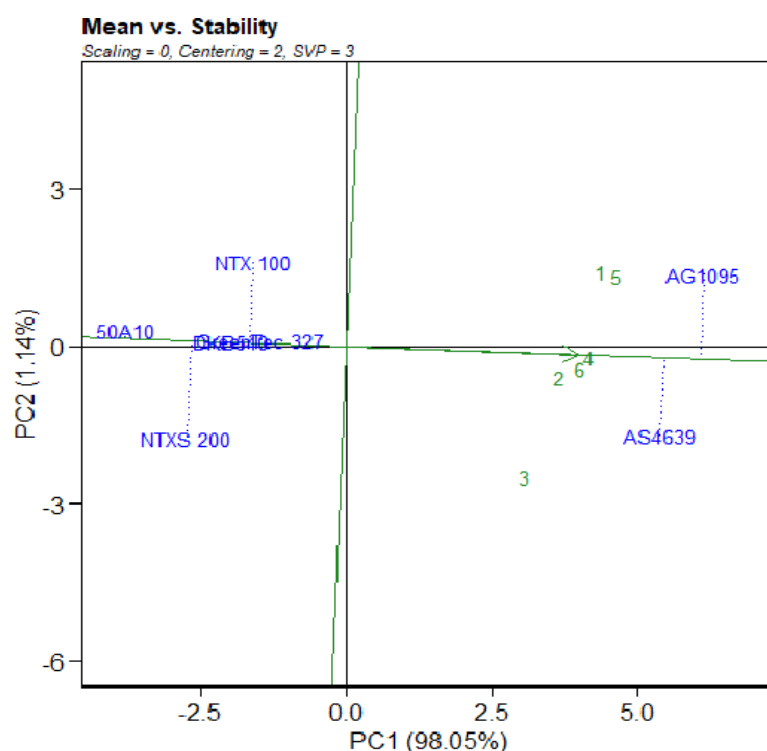


Figura 22. Mean vs Stability - Gráfico de estabilidade - GGE Biplot, a partir dos dois primeiros componentes principais para altura de planta (cm) dos sete genótipos de milho avaliados em seis ambientes em Balsas - MA, 2021.

Os genótipos NTX 100, GreenTec 327, DKB540, NTXS200 e 50A10, apresentaram altura de planta abaixo da média e instabilidade, não justificando a sua recomendação para esta característica baseada neste método. No entanto, como já mencionado, nem sempre a planta de maior altura é a melhor, uma vez que, plantas muito altas, além de dificultar o manejo podem favorecer o acamamento e aumentar as perdas na pré e no momento da colheita.

Assim para a característica altura de planta, conclui-se que, os genótipos mais recomendados por possuir boa adaptabilidade, estabilidade e uma média alta são o AG1095 e o AS4639. Os ambientes 2, 4 e 6 foram considerados favoráveis para o crescimento e desenvolvimento dos genótipos de sorgo testados.

Analisando a Figura 23 verifica-se que para a altura de cacho o PC1 foi de 94,23% e PC2 5,46%, explicando conjuntamente 99,69% da dispersão dos dados. Os genótipos AG1095 > AS4639 > NTX200 > GreenTEC327 > DKB540 > NTX100 > 50A10 foram identificados como os mais estáveis e com altura de cacho acima da média.

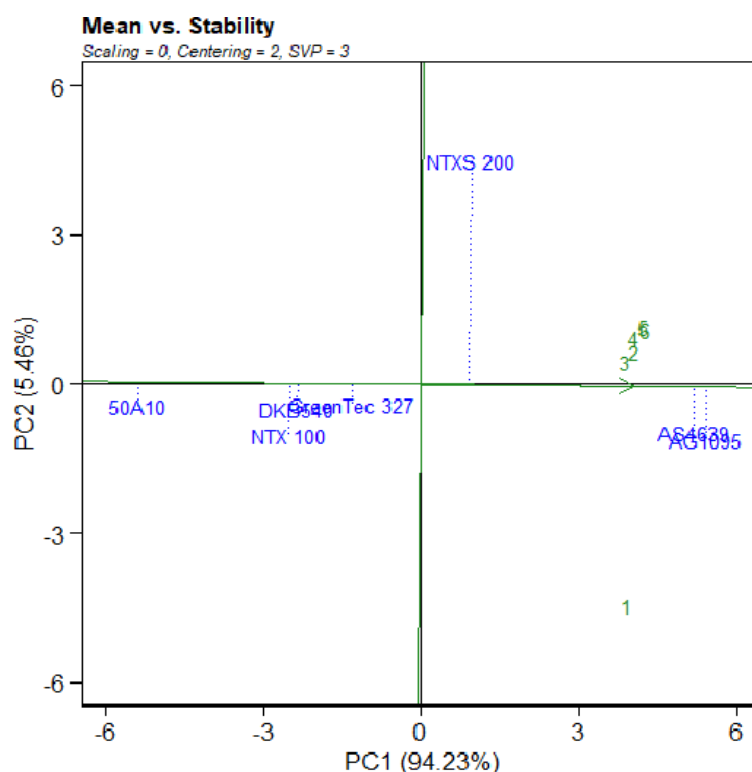


Figura 23. Mean vs Stability - Gráfico de estabilidade - GGE Biplot, a partir dos dois primeiros componentes principais para altura do cacho (cm) de sete genótipos de sorgo avaliados em seis ambientes em Balsas - MA, 2021.

Com a análise dos parâmetros conclui-se que os genótipos mais recomendados por possuem boa adaptabilidade, estabilidade e um valor alto na média de altura de cacho foram o AG1095 e o AS4639. Quase todos os ambientes (exceto o 1), foram considerados favoráveis por este método de avaliação, seguindo a ordem: 3 > 2 > 4, 5 = 6.

Analisando a característica produtividade de grãos (Figura 24), verifica-se que o PC1 foi de 90,79% e o PC2 5,75%, explicando conjuntamente 96,54% da dispersão dos dados. Os genótipos foram ordenados na seguinte forma: NTXS200 > GreenTec 327 > AS4639 > DKB540 > AG1095 > NTX 100 > 50A10. O NTXS 200 foi identificado como mais estável e com alta média de produtividade, além de apresentar PC1 e PC2 positivos.

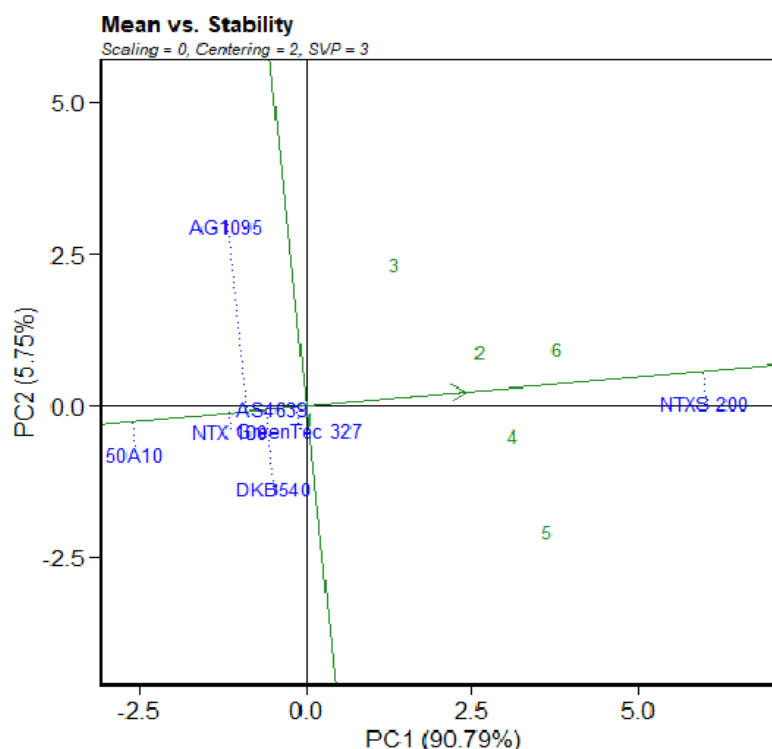


Figura 24. Mean vs Stability - Gráfico de estabilidade elaborado com o método GGE Biplot a partir dos dois primeiros componentes principais para produtividade (kg ha^{-1}) de sete genótipos de sorgo avaliados em seis ambientes em Balsas - MA, 2021.

Os genótipos GreenTec 327, AS4639, DKB540, AG1095, NTX100 e 50A10 apresentaram PC1 e PC2 abaixo da média e instabilidade de produção, não justificando a sua recomendação para esta característica nos ambientes testados. Com a análise dos dois parâmetros, o genótipo mais recomendado por possuir boa adaptabilidade, estabilidade e um valor alto na média é o NTXS 200. O ambiente mais estável foi o 1, sendo considerado favorável a produtividade de grãos nos genótipos de sorgo testados por este método de avaliação.

Na análise de discriminação e representatividade (Figura 25), verifica-se que o

PC1 apresentou um valor de 65,49% e o PC2 de 22,29%, explicando juntos 87,78% da dispersão dos dados. Na figura, a presença de ângulos obtusos é um indicativo forte de interação GxA, bem como, os ângulos formados entre os vetores de cada ambiente estão relacionados com a correlação entre os ambientes (Yan & Tinker, 2006). Verifica-se interação GxA. Os ambientes 2 e 3 se mostraram como os mais estáveis e mais adaptáveis para os genótipos AS4639 e DKB 540.

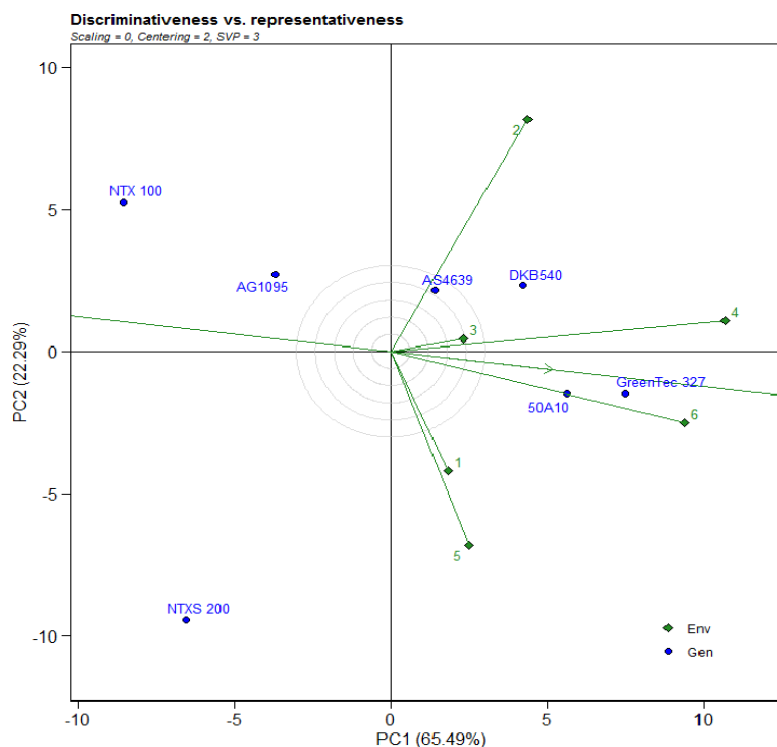


Figura 25. ‘Discriminativeness vs representativeness’ (discriminação e representatividade) dos locais avaliados com base no biplot GGE dos sete genótipos de sorgo nos seis ambientes avaliados.

Os ambientes 4 e 6 são mais estáveis e mais adaptáveis para os genótipos 50A10 e GreenTec 327. Os demais genótipos NTX 100, NTXS 200 e AG1095 foram os menos estáveis. O AS4639 foi o genótipo mais estável e o mais adaptável pois se aproximou do centro de origem, podendo ser considerado ideal, além disso, possui uma média geral melhor em todos os ambientes.

4.5.6 REML/Blup (Máxima verossimilhança restrita)/(melhor preditor linear não-viesado)

Realizando a predição dos genótipos para AP, AC e PROD através do Blup e desmembrando para cada ambiente (épocas de semeadura) verificou-se a superioridade de forma geral para cada ambiente de cultivo dos genótipos NTX 100, NTXS 200, AG1095, AS4639, DKB540, 50A10 e GreenTec 327.

Com relação a altura de planta (Figura 26), no ambiente 1 a superioridade foi verificada para os genótipos AG1095, AS4639, GreenTec 327, NTX100 e DKB540 com destaque para AG1095 e AS4639.

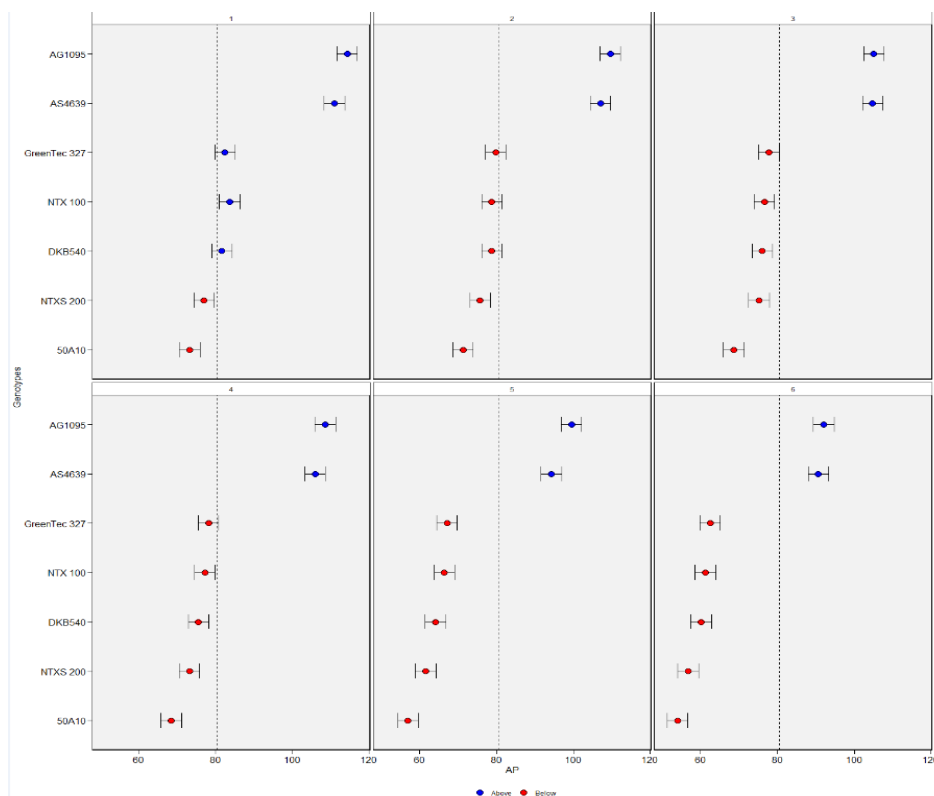


Figura 26. Característica de altura de planta (cm) predita para os sete genótipos avaliados em seis ambientes. Balsas - MA, 2021.

Para os ambientes 2, 3, 4, 5 e 6, a superioridade para AP foi verificada para os genótipos AG1095 e AS4639, sendo estes os que se destacaram nestes ambientes. Tais genótipos (AG1095 e AS4639) se destacaram em todos os ambientes testados quanto a característica AP, mostrando que foram favoráveis à sua manifestação.

Para a característica altura do cacho (Figura 27), verifica-se que no ambiente 1 a superioridade foi verificada para os genótipos AG1095 e AS4639, os quais foram os destaques neste ambiente. No ambiente 2, a superioridade foi verificada para AG1095, AS4639 e NTXS 200, com destaque para AG1095 e AS4639. O mesmo se repetiu para os ambientes 3, 4 e 5 e 6, onde a superioridade foi verificada para os genótipos AG1095 e AS4639.

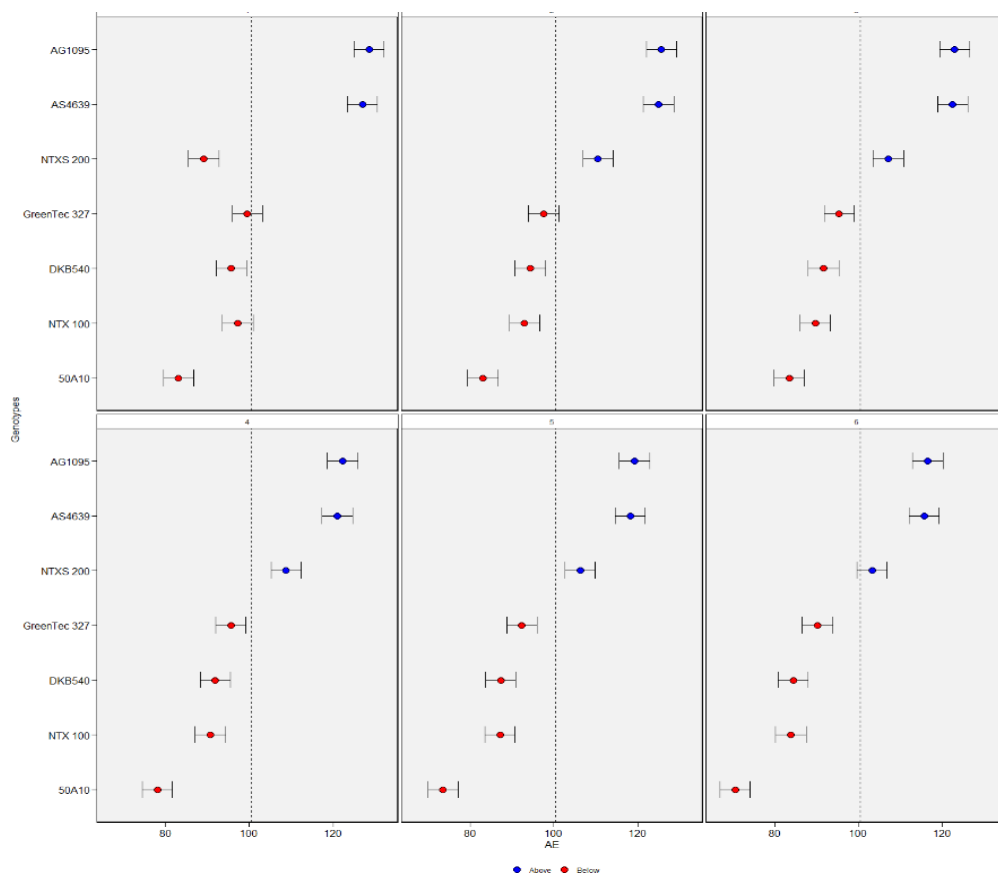


Figura 27. Característica de altura de cacho (cm) predita para os sete genótipos de sorgo avaliados em seis ambientes. Balsas - MA, 2021.

Na análise da característica produtividade de grão (Figura 28), verifica-se que para os ambientes 1, 2 e 3, todos os genótipos demonstraram superioridade. Por outro lado, nos ambientes 4, 5 e 6, não houve superioridade de nenhum dos genótipos, indicando que não são favoráveis para os híbridos de sorgo testados, uma vez que, não permitiram a manifestação favorável da característica PROD, a principal esperada dentro de um cultivo.

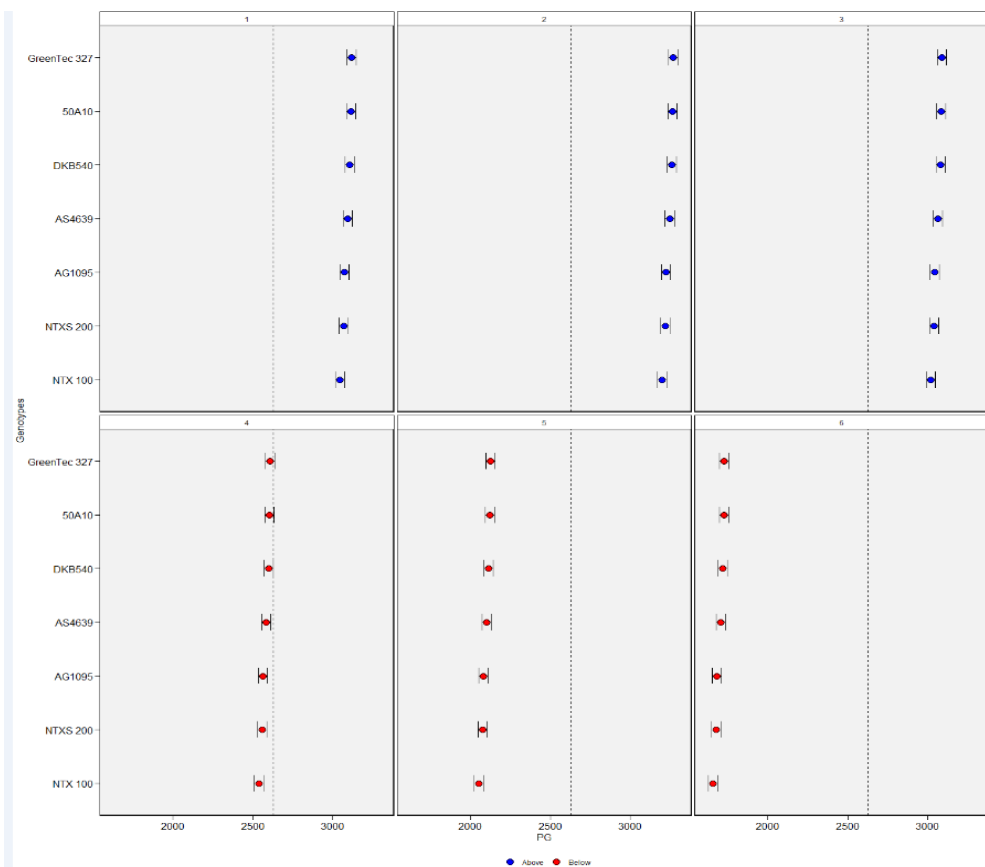


Figura 28. Característica de produtividade (kg ha^{-1}) predita para os sete genótipos de sorgo avaliados em seis ambientes. Balsas - MA, 2021.

Em uma análise geral das características (Figura 29), verifica-se que para os ambientes 1, 2, 3 e 4 todos os genótipos demonstraram superioridade. Em contrapartida, nos ambientes 5 e 6, não houve superioridade de nenhum deles. Considerando que, o ideal é ter uma planta que reúna todas as características favoráveis para a obtenção não só de uma alta produtividade, mas também, facilidade e reduzidas perdas na colheita, os ambientes 5 e 6 não são recomendados para o cultivo dos híbridos de sorgo avaliados neste experimento.

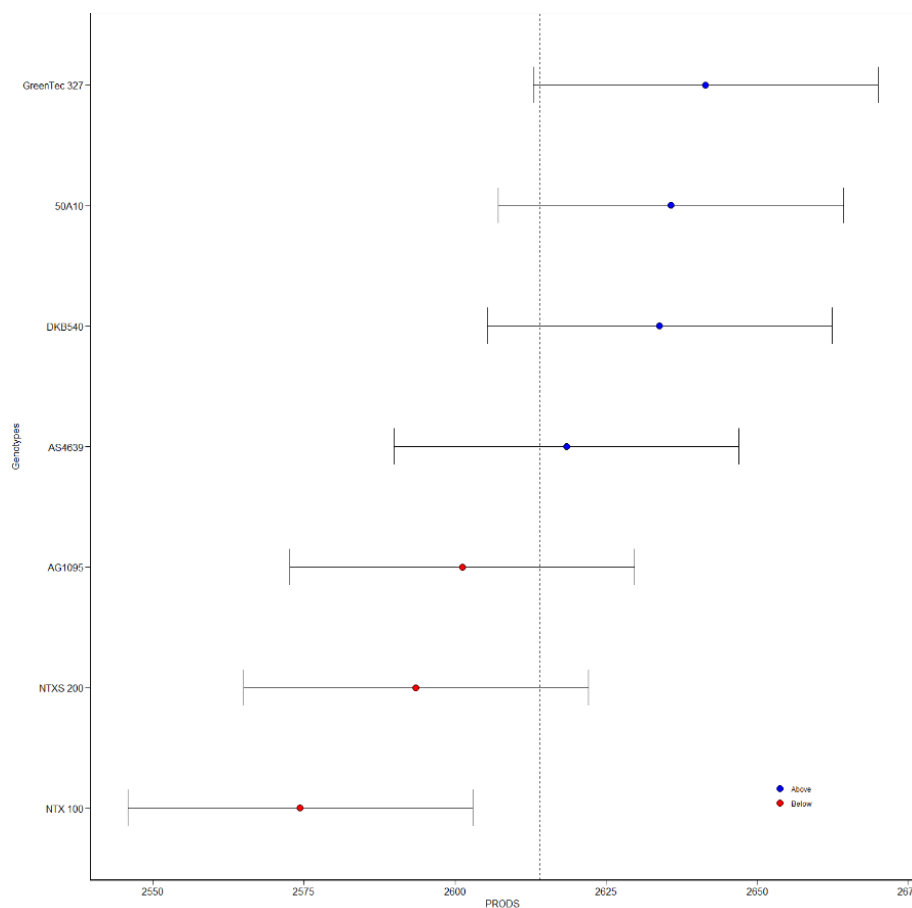


Figura 29. Análise geral das características preditas para os sete genótipos de sorgo avaliados em seis ambientes em Balsas - MA, 2021.

5. CONCLUSÕES

As diferentes épocas de semeadura afetaram as características avaliadas, principalmente a produtividade de grãos, onde, o atraso da semeadura acarretou em grande redução da produtividade nas culturas avaliadas, principalmente no milho onde a redução foi mais acentuada.

Para as duas culturas estudadas, as análises de adaptabilidade e estabilidade de Eberhart e Russel (1996), Lin & Binns (1988) Annicchiarico (1992), AMMI, GGE Biplot e REML/Blup entram em concordância com a seleção dos melhores genótipos e ambientes de cultivo.

O melhor híbrido de milho dentro dos ambientes testados foi o P2970. Porém, os híbridos P3707 e P3754 também se destacaram quanto a adaptabilidade,

estabilidade e altas médias de produtividade de grãos.

Os genótipos de sorgo DKB540, GreenTec 327, AS4639 e 50A10 foram os que apresentaram as maiores médias de produtividade de grãos, boa estabilidade e adaptabilidade nos ambientes avaliados.

As melhores épocas de semeadura foram a primeira (09 de fevereiro) e a segunda época (15 de fevereiro) para as duas culturas, sendo que o atraso provocou efeitos negativos nos genótipos testados, principalmente na produtividade de grãos.

REFERÊNCIAS

- Albuquerque CJB, Pinho RGV, Rodrigues JAS, Brant RS, Mendes, MC. Espaçamento e densidade de semeadura para cultivares de sorgo granífero no semiárido. **Bragantia**, v. 70, p. 278-285, 2011.
- Almeida Filho JE, Tardin FD, Souza AS, Godinho VPC, Cardoso MJ. Desempenho agrônomo e estabilidade fenotípica de híbridos de sorgo granífero. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.9, n.1, p. 51-64, 2010.
- Almeida Filho JE, Tardin FD, Daher RF, Silva KJ, Xavier Neto JB, Bastos E, Lopes VS, Barbe TC, Menezes CB. Avaliação agrônômica de híbridos de sorgo granífero em diferentes regiões produtoras do Brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.13, n.1, p. 82-95, 2014.
- Annicchiarico, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Plant Breeding**, v. 46, p. 269-278, 1992.
- Andrade LRB, Fritsche Neto R, Granato ISC, Sant'ana GC, Moraes PPP, Borém A. Genetic Vulnerability and the Relationship of Commercial Germplasms of Maize in Brazil with the Nested Association Mapping Parents. **PLoS ONE**, v. 11, n. 10, 2016.
- Andrea, MCS; Dallacort, R; Barbieri, JD; Tieppo, RC. Impactos das previsões climáticas futuras no milho de segunda safra em um agrossistema em uma região de transição de bioma no estado de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 2, pág. 335-347, 2019.
- Bandeira AH, Medeiros SLP, Emygdio BM, Costa AB, Muller LCC, Leal LT, Nunes SCP. **Biometria de genótipos de sorgo sacarino em diferentes épocas de semeadura na Depressão Central do RS**. 2016. XXXI Congresso Brasileiro de milho e sorgo, Milho e Sorgo: Inovações, mercados e segurança alimentar. Bento Gonçalves, RS. 4p.
- Banzatto DA, Kronka SD. **Experimentação agrícola**. 4th ed. Jaboticabal, SP: Funep, 2013.
- Beleze JRF, Zeoula LM, Cecato U, Dian PHM, Martins EM, Falcão AJS. Avaliação de cinco híbridos de milho (*Zea mays* L.) Em diferentes estádios de maturação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 3, p. 529-537, 2003.
- Bibi A, Sadaqat HA, Akram HM, Mohammed MI. Physiological markers for screening sorghum (*Sorghum bicolor*) germplasm under water stress condition. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 12, n. 3, p. 451-455, 2010.
- Bojtor C, Mousavi SMN, Illés Á, Széles A, Nagy J, Marton CL. Estabilidade e adaptabilidade de híbridos de milho para produção de culturas de precisão em um experimento de campo de longo prazo na Hungria. **Agronomia** v. 11, p. 2167, 2021.

Borém A, Miranda GV, Fritsche-Neto R. **Melhoramento de Plantas**. 2017. Viçosa: Editora UFV. ed. 7, 543p.

Borém A, Lima R. **Melhoramento de milho**. 2018. Viçosa – MG. Editora UFV. 396p.

Bueno LCS, Mendes ANG, Carvalho SP. **Melhoramento genético de plantas: princípios e procedimentos**. 2013. Lavras: UFLA, 319p.

Cakmak I, Prom-U-Thai C, Guilherme LRG, et al. Iodine biofortification of wheat, rice and maize through fertilizer strategy. **Plant Soil**, v. 418, p. 319–335, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3295-9>

Cargnelutti Filho A, Perecin D, Malheiros EB, Guadagnin JP. Comparação de métodos de adaptabilidade e estabilidade relacionados à produtividade de grãos de cultivares de milho. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 571-578, 2007.

Cargnelutti Filho A, Guadagnin JP. Sufficient number of experiments for the adaptability and stability analyses of maize using the Eberhart and Russell method. **Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 6, p. 673-683, 2018.

Chaves LJ. **Interação de genótipos com ambientes**. 2001. In: Nass LL, Valois ACC, Melo IS, Valadares-Inglis MC. (Ed.). Recursos Genéticos & Melhoramento de Plantas. Rondonópolis: Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso, p. 673-713.

Chen D, Wang S, Xiong B, Cao B, Deng X. Carbon/nitrogen imbalance associated with drought-induced leaf senescence in sorghum bicolor. **PLoS One**, v. 10, n. 8, 2015.

Clegg MD, Eastin JD, Nelson LA. Field evaluation for cool-tolerance in grain Sorghum. **Crop Science**, v. 23, n. 1, p. 23-26, 1983.

Cochran WG. The combination of estimates from different experiments. **Biometrics**, v. 10, p. 101–129, 1954.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos – Safra 2021/2022 – **Milho**, Disponível em: < http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_02_04_11_21_34_boletim_graos_abril_2022_ok.pdf >. Acesso: 09/03/2022

Craufurd PQ, Qi A. Photothermal adaptation of sorghum (*Sorghum bicolor*) in Nigeria. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 108, p.199-211, 2001.

Cruz JC, Magalhães PC, Pereira Filho IA, Moreira JAA. **Milho: O produtor pergunta, a Embrapa responde**. 2011. Brasília: Embrapa Informações e Tecnológicas, 338 p.

Cruz CD, Regazzi AJ, Carneiro PCS. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Vol. 1**. 2012. 4ª Edição. UFV: Imprensa Universitária, 514 p.,

Cruz CD, Carneiro PCS, Regazzi AJ. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético. Vol 2.** 2014. 3ª Edição. Viçosa: Editora UFV, 668p.

Cruz CD. **Programa Genes, Aplicativo computacional em genética e estatística.** 2017. Editora UFV, Viçosa- MG. 422p.

Domingues LS, Ribeiro ND, Minetto C, Souza JF, Antunes IF. Metodologias de análise de adaptabilidade e de estabilidade para a identificação de linhagens de feijão promissoras para o cultivo no Rio Grande do Sul. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 3, p. 1065-1076, 2013.

Dong X, Li W, Liu R, Gu W. Progressos recentes na industrialização do Sorgo Doce no IPM. **Journal of Agricultural Science**, v. 9, n. 10, p. 57-66, 2017.

Duarte, JB, Vencovsky R. Interação genótipos x ambientes: uma Introdução à análise AMMI. **Sociedade Brasileira de Genética**, 60p., 1999.

Duarte JO, Cruz JC, Garcia JC. Mattoso, M.J. **Cultivo do Milho.** 2007. Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de Produção 1, 3ª edição.

Duarte AP, et al. **Milho Safrinha na Região Norte/Noroeste do Estado de São Paulo: Avaliação de cultivares transgênicas em 2010 e 2011.** In XI Seminário Nacional De Milho Safrinha, 2011, 11. Lucas do Rio Verde/MT, 2011. Anais. Lucas do Rio Verde: Fundação Rio Verde, 2011, p. 179-185.

Ebehart AS, Russel WA. Stability parameters for comparing varieties. **Crop. Science**, v. 6, p. 36-40, 1966.

Fabris DN. **Produtividade de híbridos de milho em diferentes épocas de semeadura, sob irrigação, na safrinha.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). World Health Organization (WHO). **Food safety risk analysis. A guide for national food safety authorities.** Rome: FAO. 2021. Acesso em: 22/03/2022

Fornasieri Filho D. **Manual da cultura do milho.** 2007. Jaboticabal: Funep, 576p.

Fritsche-Neto R, Vieira RA, Scapim CA, Miranda GV, Rezende LM. Updating the ranking of the coefficients of variation from maize Experiments. **Acta Scientiarum. Agronomia**, v. 34, p. 99-101, 2012.

Garbuglio DD, Ferreira DF, Araújo PM, Gerage AC, Shioga PS. Comparison of multivariate methods for studying the GxE interaction. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 6, p. 3499-3516, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n6p3499>.

Gauch HG, Zobel RW. **AMMI Analysis of Yield Trials**. 1996. In: Kang MS and Gauch HG. Eds. Genotype-by-Environment Interaction, CRC Press, Boca Raton, 85-122.

Goes, RJ, Rodrigues RAF, Arf O, Arruda OG, Vilela RG. Fontes e doses de nitrogênio em cobertura, no sorgo granífero na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 10, p. 121-129, 2011.

González-Barrios P, Díaz-García L, Gutiérrez L. Mega-environmental design: using genotype $\times$ environment interaction to optimize resources for cultivar testing. **Crop Science** v. 59, p. 189, 2019. DOI:10.2135/cropsci2018.11.0692

Greveniotis V, Bouloumpasi E, Zotis S, Korkovelos A, Ipsilandis CG. Estimations on trait stability of maize genotypes. **Agriculture**, v. 11, p. 952. 2021.

Hmielowski T. Sorgo: estado da arte e perspectivas futuras. **CSA News**, v. 62, n. 1, p. 4-7. 2017. <http://doi.org/10.2134/csa2017.62.1109>

Johnson SM, Lim FL, Finkler A, Fromm H, Slabas AR, Knight MR. Transcriptomic analysis of *Sorghum bicolor* responding to combined heat and drought stress. **BMC Genomics**, v. 15, p. 456-475, 2014.

Katsenios N, Sparangis P, Chanioti S, Giannoglou M, Leonidakis D, Christopoulos MV, Katsaros G, Eftimiadou A. Interação genótipo $\times$ ambiente de características de rendimento e qualidade de grãos de híbridos de milho na Grécia. **Agronomia**, ed. 11, p.357, 2021. <https://doi.org/10.3390/agronomia11020357>

Lado B, Barrios PG, Quincke M, Silva P, Gutiérrez L. Modeling genotype $\times$ environment interaction for genomic selection with unbalanced data from a wheat breeding program. **Crop Science** v. 56, p. 2165-2179, 2016 DOI:10.2135/cropsci2015.04.020

Lamessa K, Chala G, Tarbush A, Gudeta D, Haile S, Usmael A. Avaliação de variedades e ambientes de sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench) para desempenho e estabilidade do rendimento. **Jornal de Biologia, Agricultura e Saúde**, p. 11-17, 2016.

Landau EC, Sans LMA, Santana DP. **Cultivo do milho: clima e solo**. Sistemas de Produção, 2. 2009. Embrapa Milho e Sorgo. ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 5ª edição.

Li Y, Dong Y, Niu S, Cui D. The genetics relationships among plant-height traits found using multiple trait QTL mapping of a dent corn and popcorn cross. **Genome**, v.50, n. 4, p. 357-364, 2007.

Lin CS, Binns MRA. Superiority measure of cultivar performance for cultivar $\times$ location data. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 68, p.193-198, 1988.

Lobell BD, Cassman KG, Fild CB. Lacunas de rendimento da cultura: Sua importância, magnitudes e causas. **Reverendo Environ. Resour**, p. 179-204, 2009. <http://goi.org/10.1146/annurev.environ.04>

Maazou ARS, Tu Qiu J, Liu Z. Melhoramento para tolerância à seca em milho (*Zea mays* L.) **American Journal of Plant Sciences**, v. 7, n. 14, p. 1858-1870, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2016.714172>

Magalhães PC, Durães FOM, Rodrigues JAS. Ecofisiologia da produção de sorgo. Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo. **Comunicado Técnico**, v. 86. p.4, 2003.

Magalhães PC, Souza TC, Schaffert RE. **Ecofisiologia**. In: Rodrigues JAS. Sistemas de Produção Embrapa: Cultivo do sorgo. 9 ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. Versão eletrônica. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistema%20sdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view%20&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_%2076293187_sistemaProducaold=8301&p_r_p_-996514994_topicold=9203.#. Acesso em: 23 de janeiro de 2023.

Major DJ, McGinn SM, Beauchemin KA. Climate change impacts on maize heat unit for the Canadian Prairie provinces. **Agronomy Journal**, v. 113, n. 2, p. 1852-1864, 2021.

Maldaner LJ, Horing K, Schneider JF, Frigo JP, Azevedo KD, Grzesiuck AE. Exigência Agroclimática da Cultura do Milho (*Zea Mays*). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, p. 13-23, 2014.

Manarelli DM, Orrico MAP, Retore M, Vargas FM, Silva MSJ, Orrico ACA, Neves FO. Desempenho produtivo e características quantitativas de carcaça de cordeiros alimentados com silagem de sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 54, p.1-10, 2019. <http://doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2019.v54.00577>

Mastrodomenico A, Haegele JW, Seebauer JR, Below FE. Yield stability differs in commercial maize hybrids in response to changes in plant density, nitrogen fertility, and environment. **Crop Science**, v. 58, p. 230-241, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2017.06.0340>

Masuda T, Goldsmith PD. Produção mundial de soja: Área colhida, rendimento e projeções de longo prazo. **Alimentos e Agronegócios**, v. 12, p. 143-162, 2009

Mattos PHC, Oliveira RA, Bespalhok Filho, JC, Daros C, Veríssimo MAA. Evaluation of sugarcane genotypes and production environments in Paraná by GGE biplot and AMMI analysis. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. n. 13, p. 83-90, 2013

Miranda GV, Braun EMW, Alves MEVB, Machado P, Ramos AM. Desempenho de híbridos de milho em diferentes épocas de semeadura na segunda safra em baixa altitude no extremo Oeste do Estado do Paraná. **Brazilian Journal of Development**,

v. 7, n. 4, p. 34794-34810, 2021.

Miranda GV, Souza LV, Guimarães, LJM, Namorato, H, Oliveira LR, Soares MO. Multivariate analyses of genotype x environment interaction of popcorn. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 44, n. 1, p. 45-50, 2009.

Musvosvi C, Setimela OS, Wali MC, Gasura E, Channappagoudar BB, Patil SS. Contribuição de caracteres secundários para alta produtividade de grãos e estabilidade de germoplasma de milho tropical em condições de estresse hídrico e não estresse. **Revista Agronômica**, v. 2010, n. 3, p. 819-832, 2018. DOI: <http://doi.org/10.2134/agronj2017.04.0199>

Murakami DM, Cruz CD. Proposal of methodologies for environment stratification and analysis of genotype adaptability. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 4, p. 7-11, 2004.

Nass LL, Paterniani E. Pre-breeding: a link between genetic resources and maize breeding. **Scientia Agricola**, v. 57, p.581-587, 2000.

Nxele X, Klein A, Ndimba BK. Drought and salinity stress alters ROS accumulation, water retention, and osmolyte content in sorghum plants. **South African Journal of Botany**, v. 108, p. 261-268, 2017.

Nogueira APO, Sediya T, Gomes JD. **Avanços no melhoramento genético da cultura da soja nas últimas décadas. Doenças da soja.** Melhoramento Genético e Técnicas de Manejo. 2015. Campinas: Millennium Editora, p. 159-178.

Noor JJ, Vinayan MT, Umar S, Devi P, Iqbal M, Seetharam K, Zaidi PH. Características morfofisiológicas associadas à tolerância ao estresse térmico em milho tropical (*Zea mays* L.) em fase reprodutiva. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 4, pág. 536-545, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1984-4499.20170438>

Oliveira BA, Duarte JB, Pinheiro JB. Emprego da análise AMMI na avaliação da estabilidade produtiva em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 38: 357-364, 2003.

Oliveira TRA, Carvalho HWL, Oliveira GHF, Costa EFN, Graniva GA, Santos RD, Carvalho Filho JLS. Hybrid maize selection through GGE biplot analysis. **Bragantia**, v. 78, n. 2, p. 166-174, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20170438>

Olivoto T, Carvalho IR, Nardino M, Ferrari M, Pelegrin AJ, Szareski VJ, Demari GH, Souza VQ. Caracteres morfológicos e rendimento de grãos de híbridos simples de milho em diferentes ambientes. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 4, 2018.

Pacheco RM, Duarte JB, Branquinho, RG, Souza PI. Environmental stratifications for soybean cultivar recommendation and its consistency over time. **Genetics and Molecular Research**, v. 13, n. 3, 2017.

Pale S, Mason SC, Galusha TD. Planting time for early-season pearl millet and grain sorghum in Nebraska. **Agronomy Journal**, v. 95, p. 1047-1053, 2003.

Pereira HS, Melo LC, Del Peloso MJ, Faria LC, Costa JGC, Díaz JLC, Rava CA, Wendland A. Comparação de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 374-383, 2009.

Pereira Filho IA, Rodrigues JAS. **Coleção 500 Perguntas 500 Respostas, Sorgo**. Embrapa, Brasília, 332p. 2015.

Pimentel-Gomes F. **Curso de estatística experimental**, 13.ed. Piracicaba: Nobel, 1990. 468p.

Ratnavanthi CV. **Processamento e utilização de sorgo**. 2016. Bioquímica de sorgo. Cap. 6. p. 2-10.

Repke RA, Cruz SJS, Martins MB, Senna MS, Felipe JS, Duarte AP, Bicudo SJ. **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 - Águas de Lindóia - 26 a 30 de Agosto de 2012.

Resende MDV, Duarte JB. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, p. 182-194, 2007.

Resende MDV. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, n. 4, p. 330-339, 2016.

Rodrigues JAS, Menezes CB, Guimarães Junior R, Tabosa JN. **Utilização do sorgo na nutrição animal**. 2015. In.: Pereira Filho IA, Rodrigues JAS (Eds.) Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília: **Embrapa**, p. 229-246.

Romay MC, Orda S B, Revilla P, Orda S A. Três ciclos de seleção recorrente recíproca de irmãos completos em dois populações espanholas de milho. **Crop Science**, v. 51, n. 3, p. 1016-22, 2011.

Rut G, Grzesiak MT, Maksymowicz A, Jurczyk B, Rzepka A, Hura K, Grzesiak S. Responses of a root system structure to soil compaction stress among maize (*Zea mays* L.) hybrids. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 208, p. 106–119, 2022. <https://doi.org/10.1111/jac.12530>

Sánchez B, Rasmussen A, Porter JR. Temperaturas e o crescimento e desenvolvimento do milho e do arroz: uma revisão, **Global Change Biologic**, v. 20, p. 408-417, 2014.

Sanon M, Hoogenboom G, Traoré SB, Sarr B, Garcia AGY, Somé L, Roncoli C. Sensibilidade ao fotoperíodo de variedades locais de milho e sorgo na África Ocidental. NJAS – Wageningen. **Journal of Life Sciences**, v. 68, n. 1, p.29-39, 2014. <http://doi.org/10.1016/j.njas.2013.11.004>

Santos FG. **Cultivares de Sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado técnico, 77, 3 p.

Santos ADO, Von Pinho RG, Souza VFD, Guimarães LJM, Balestre M, Pires LPM, Silva CPD. Produtividade de grãos, intervalo de floração da antese e índices de tolerância à seca de híbridos de milho tropical. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, n. 1, 2020. <https://doi.org/10.1590/1984-70332020v20n1a10>

Schmildt ER, Cruz CD. Análise da adaptabilidade e estabilidade do milho pelos métodos de Eberhart e Russell (1966) e de Annicchiarico (1992). **Revista Ceres**, v. 52, n. 299, p. 45-58, 2005.

Seyoum A, Semahegn Z, Nega A, Siraw S, Gebreyohannes A, Solomon H, Legesse T, Wagaw K, Terresa T, Mitiku S, Tsehaye Y, Mokonen M, Chifra W, Nida H, Tifessa A. Multi-Environment evaluation and genotype x environment interaction analysis of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] genotypes in highland areas of Ethiopia. **American Journal of Plant Sciences**, v. 11, p. 1899-1917, 2020. doi:10.4236/ajps.2020.1112136

Sharma AD, Singh N, Kang JK. Short-term waterlogging induced changes in phosphatase activities in shoots and roots of sorghum seedlings: role of phosphatases during waterlogging in relation to phosphorus. **General and Applied Plant Physiology**, v. 31, n. 1/2, p. 71-79, 2005.

Silva AG, Barros AS, Silva LHCP, Morães EB, Pires R, Teixeira IR. Avaliação de cultivares de sorgo granífero na safrinha no sudoeste do Estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, p. 168-174, 2009.

Siqueira BC, Fernandes, LG, Campos KA, Estanislau AC, Pedini S, Moraes AR. **Ação dos fertilizantes Bacsol e Orgasol na altura de inserção da espiga e coloração dos grãos na cultura do milho orgânico**. In: Semana de Ciência e Tecnologia do IFMG. 2., Jornada Científica. 2., 19 a 23 de outubro de 2009.

Silva RR, Benin G. Análises Biplot: conceitos, interpretações e aplicações. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 8, p. 1404-1412, 2012.

Spilke J, Piepho HP, Xiyuan H. Analysis of unbalanced data by mixed linear models using the Mixed Procedure of the SAS System. **Journal Agronomy & Crop Science**, v. 191, p. 47-54, 2005.

Staggenborg AS, Dhuvveter KC, Gordon WB. Comparações de sorgo e milho de grãos: Resposta de rendimento, econômico e ambiental. **Agronomy Journal**, v. 100, p. 604 – 1600. doi:<https://doi.org/10.2134/agronj2008.0129>

Stojakovic M, Mitrovic B, Zoric´, M, Ivanovic M, Stanisavljevic, D Nastasic A, Dodig D. Grouping pattern of maize test locations and its impact on hybrid zoning. **Euphytica**, v. 204, p. 419-431, 2015.

Strazzi S. **Derivados do milho são usados em mais de 150 diferentes produtos industriais**. Associação Brasileira das Indústrias do Milho, Brasília – DF. 2015.

Tabosa JN, Barros AHC, Silva FG, et al. **Importância do melhoramento genético de diferentes tipos de sorgo para as mesorregiões do Agreste, Sertão e afins do Semiárido Brasileiro**. 2019. In: Ximenes LF. Tecnologias de Convivência com o Semiárido Brasileiro. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, p. 1138.

Tardin FD, Almeida Filho JE, Oliveira CM, Leite CEP, Menezes CB, Magalhães PC, Rodrigues JAS, Schaffert RE. Avaliação agrônômica de híbridos de sorgo granífero cultivados sob irrigação e estresse hídrico. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 12, n. 2, p. 102-117, 2013.

Tiwari YK, Yadav SK. Temperature Stress Tolerance in maize (*Zea mays* L.): Physiological and Molecular Mechanisms. **Journal Plant Biologic**, v. 62, p .93–102, 2019. <https://doi.org/10.1007/s12374-018-0350-x>,

Vasconcelos ES, Reis MS, Sediyaama T, Cruz CD. Produtividade de grãos, adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja de ciclos precoce e médio. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 3, p. 1203-1214, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n3p1203>.

Vencovsky R, Barriga P. Genética biométrica no fitomelhoramento. 1992. Ribeirão Preto: **Sociedade Brasileira de Genética**, p. 486.

Venkateswaran K, et al. **Classification, Distribution and Biology**. 2019. Chapter 3. Breeding *Sorghum* for Diverse End Uses.

Von Pinho RG, Vasconcelos RC, Borges ID, Resende AV. Produtividade e qualidade da silagem de milho e sorgo em função da época de semeadura. **Bragantia**, p.235-245, 2007

Von Pinho RG, Camargos RB, Pires LPM, Von Pinho IV. **Tendências de regionalização de sistemas de produção de milho no Brasil**. 2014. In: Congresso nacional de milho e sorgo, 30. Simpósio sobre Lepdopteros comuns a milho, soja e algodão, 1., 2014, Salvador. Resumos expandidos. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, p. 154-169.

Yan W, Hunt LA, Sheng QL, Szlavnicz Z. Cultivar evaluation and megaenvironment investigation based on the GGE Biplot. **Crop Science**, v. 40, n. 3, p.597- 605, 2000.

Yan W, Kang M.S. **GGE Biplot Analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists, and Agronomists**. 2003. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 271p.

Yan W, Tinker NA. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. **Canadian Journal of Plant Science**, 86: 623-645, 2006.

Yan W. GGE biplot vs. AMMI graphs for genotype-by-environment data analysis. **Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics**, v. 65, n. 2, p. 181-193, 2011.

Zhang F, Wang Y, Yu H, Zhu K. Effect of excessive soil moisture stress on sweet sorghum: physiological changes and productivity. **Pakistan Journal of Botany**, v. 48 n. 1, p. 1-9, 2016.