



Universidade Federal de Sergipe
Campus do Sertão
Departamento de Engenharia Agrônômica do Sertão

MIKAELY ROSENDO DOS SANTOS

**ÍNDICE - MGIDI E EAN: ANÁLISE DE MÚLTIPLOS CENÁRIOS PARA SELEÇÃO
DE PROGÊNIES DE MEIOS-IRMÃOS DE MILHO NO SEMIÁRIDO**

Trabalho de Conclusão de Curso

Nossa Senhora da Glória/SE

Dezembro de 2025

MIKAELY ROSENDO DOS SANTOS

ÍNDICE -MGIDI E EAN: ANÁLISE DE MÚLTIPLOS CENÁRIOS PARA SELEÇÃO DE
PROGÊNIES DE MEIOS-IRMÃOS DE MILHO NO SEMIÁRIDO

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em
Engenharia Agrônômica da Universidade Federal de
Sergipe, como requisito parcial à obtenção do título
de bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientador: Gustavo Hugo Ferreira de Oliveira

Coorientadora: Nartênia Susane Costa Aragão

Este documento foi julgado adequado como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Agrônômica.

Aprovado em: 16/12/2025

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **GUSTAVO HUGO FERREIRA DE OLIVEIRA**
Data: 25/02/2026 09:42:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Gustavo Hugo Ferreira de Oliveira, Doutor
Universidade Federal de Sergipe

Documento assinado digitalmente
 **JOSE JAIR FLORENTINO CORDEIRO JUNIOR**
Data: 25/02/2026 09:44:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

José Jairo Florentino Cordeiro Júnior, Doutor
Universidade Federal de Sergipe

Documento assinado digitalmente
 **BARBARA NASCIMENTO SANTOS**
Data: 25/02/2026 10:27:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Barbara Nascimento Santos, Eng. Agrônoma
Universidade Federal de Sergipe

Documento assinado digitalmente
 **RODRIGO PEREIRA ALVES**
Data: 25/02/2026 10:39:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rodrigo Pereira Alves, Doutor
Universidade Federal de Sergipe

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus e a Virgem Maria por essa graça alcançada. Por todas as intercessões do meu Arcanjo São Miguel Arcanjo e da minha amiga do céu, Nossa Senhora de Guadalupe. A minha mãe, Maria José, por todo amor e dedicação. Sou grata por sua vida e por ter trabalhado dia e noite para que eu conseguisse terminar minha graduação. Ao meu pai Aumiro, que torceu por mim nessa reta final. Aos meus irmãos, Brena, Mirian, Mirely, Amanda, Andresa, Almir, João e em memória Arthur, amo vocês.

Aos meus avós maternos e paternos, Agnaldo e Maria do Rozário; Arnaldo e Edinete. Obrigada por serem meu porto seguro e me criar e me amar como filha. Aos meus tio e tias, obrigada por toda ajuda direta e indiretamente. Aos meus primos, obriga pela infância prazerosa e apoio na vida acadêmica. Aos meus xodós: Duda, Adriana, Rai e Bia. Agradeço também a todos os meus afilhados e afilhadas. Aos maiores presentes da minha vida, Jordana, Heitor e José Bernado, que ainda não nasceu, mas é o amor da titia.

Ao meu melhor amigo e meu “José”, Leonardo. Obrigada por toda compreensão durante minha trajetória, seu apoio foi fundamental, te amo. As pessoas que torceram por mim: Eliana Barros, Raquel Valéria, Jocilene, Josélia, Solange, Nívia, Deborah, Dany, Ceyça, Luara, Helena e Luana.

A Missão Jovens Sarados Gloria, a qual fui salva muitas vezes por esse carisma e amor do nosso pai fundador, Padre Edmilson. A minhas irmãs de missão, Fabiana, Lorena e Camila.

Aos meus amigos de faculdade: Adriele, Andressa, Bia, Natan, Vinicius. Obrigada por todo apoio durante a graduação. Um agradecimento em especial para Emanuel (Niel), um grande amigo e irmão que a vida me deu, obrigada por tudo, conte comigo para o que precisar. Ao grupo de estudos GEMS, minha eterna gratidão por todos os ensinamentos e por ter contribuído tanto para minha formação. Agradeço ao meu orientador, Gustavo Hugo e sua esposa, Tâmara. Ao meu coorientador, Jairo Cordeiro. Aos integrantes do grupo, por todos esses anos de troca de conhecimentos e crescimento profissional. De maneira especial: Mário, João e Henrique, meu quarteto. Emanuel, Eloisa, Prissila, Évany, Camila e João Pedro, foi incrível dividir essa jornada com vocês. As meninas da pós graduação, que contribuíram demais em minha vida: Carla, Jaci e Barbara. Por último, mas não menos importante, minha coorientadora Nartênia Susane. Sou imensamente grata por toda ajuda na vida pessoal e profissional. Ao Departamento de Engenharia Agrônômica e A Universidade Federal de Sergipe (UFS)/ Campus do Sertão, minha eterna gratidão.

SUMÁRIO

Resumo	5
Abstract	6
1. Introdução	7
2. Material e métodos	8
2.1 Localização e caracterização do clima	8
2.2 Material genético e delineamento experimental	8
2.3 Condução experimental	10
2.4 Variáveis agronômicas avaliadas	10
2.5 Análises estatísticas	11
2.6 Descrição dos cenários	11
2.6.1 Cenários de alto desempenho (ideótipos de maior exigência)	11
3. Resultados e discussões	16
3.1 Análise de Variância	16
3.2 Análise de componentes principais e contribuições das variáveis	19
3.3 Análise fatorial após rotação Varimax	21
3.4 Ganho genético por características	23
3.5 Índice MGIDI na seleção de genótipos	26
3.6 Visão de pontos fortes e fracos dos selecionados	31
3.7 Ranking dos melhores genótipos selecionados	37
4. Conclusões	39
5. Referências bibliográficas	40

ARTIGO

ÍNDICE -MGIDI E EAN: ANÁLISE DE MÚLTIPLOS CENÁRIOS PARA SELEÇÃO DE PROGÊNIES DE MEIOS-IRMÃOS DE MILHO NO SEMIÁRIDO

Periódico a ser submetido na Revista Crop Breeding and Applied Biotechnology (CBAB)

Resumo

O milho é uma cultura de elevada exigência nutricional, principalmente do nitrogênio. A deficiência desse elemento pode restringir o desenvolvimento vegetal. O objetivo deste estudo foi avaliar múltiplos cenários visando à identificação de genótipos de milho superiores quanto à eficiência no uso do nitrogênio para a região Semiárida, utilizando o índice de seleção MGIDI. Foram avaliados 35 genótipos de milho, com espaçamento de 0,20 x 0,70 m. O experimento foi conduzido no município de Nossa Senhora da Glória, na safra de 2024. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados com parcelas subdivididas com três repetições, no qual os níveis de nitrogênio (alto e baixo) foram distribuídos às parcelas principais e as progênes de meios-irmãos às subparcelas. Os dados foram submetidos à análise de variância e, posteriormente, ao índice de seleção MGIDI (Índice Multivariado de Distância Genótipo-Ideótipos). Foram considerados 3 cenários de seleção, que resultaram em ganhos distintos entre os caracteres. Entre eles, os cenários Mandacaru e Cacto apresentaram maior eficiência na identificação de genótipos superiores. Entre os genótipos avaliados, G50, G1, G22, G26, G42, G4, G34 e G16 apresentaram maior proximidade ao ideótipo e desempenho agrônômico superior, configurando-se como candidatos prioritários para ensaios ampliados e etapas subsequentes de melhoramento genético voltados a EAN.

Palavras-chave: análise fatorial; EAN; ganho genético; melhoramento genético; *Zea mays* L.

Abstract

Corn is a crop with high nutritional requirements, especially for nitrogen. A deficiency of this element can restrict plant development. The objective of this study was to evaluate multiple scenarios to identify superior corn genotypes in terms of nitrogen use efficiency for the Semi-arid region, using the MGIDI selection index. Thirty-five corn genotypes were evaluated, with a spacing of 0.20 x 0.70 m. The experiment was conducted in the municipality of Nossa Senhora da Glória, during the 2024 growing season. A randomized block design with split plots and three replications was used, in which nitrogen levels (high and low) were distributed to the main plots and half-sib progenies to the subplots. The data were subjected to analysis of variance and, subsequently, to the MGIDI selection index (Multivariate Genotype-Ideotype Distance Index). Three selection scenarios were considered, resulting in distinct gains among the traits. Among them, the Mandacaru and Cacto scenarios showed greater efficiency in identifying superior genotypes. Among the genotypes evaluated, G50, G1, G22, G26, G42, G4, G34, and G16 showed greater proximity to the ideotype and superior agronomic performance, making them priority candidates for expanded trials and subsequent stages of genetic improvement focused on EAN.

Keywords: factor analysis; EAN; genetic gain; genetic improvement; *Zea mays* L.

1. Introdução

Essencial para a segurança alimentar global e para o planejamento de sistemas agrícolas, a produtividade do milho (*Zea mays* L.) assume papel estratégico especialmente em regiões marcadas pela instabilidade ambiental, como o semiárido (Feitosa et al., 2025; Wu *et al.*, 2024). No cenário mundial, o Brasil se consolidou como o segundo maior exportador de milho, registrando uma produção de 298,41 milhões de toneladas de grãos na safra 2024, ocupando a segunda posição como o cereal mais produzido no país (CONAB, 2025).

O milho é uma cultura extremamente sensível a condições climáticas adversas, especialmente em regiões Semiáridas. A cultura apresenta elevada demanda hídrica e necessita, em média, de cerca de 500 mm de água ao longo do seu ciclo, sendo particularmente suscetível ao estresse hídrico durante o período crítico entre o florescimento e o enchimento de grãos (Bergamaschi e Matzenauer, 2014).

O nitrogênio é essencial para o desempenho do milho por compor moléculas-chave como clorofila, proteínas e enzimas (Taiz *et al.*, 2017). Contudo, sua disponibilidade é limitada em solos do Semiárido devido à baixa fertilidade e à restrição hídrica, o que dificulta a assimilação do nutriente (Fageria e Baligar, 2005). Dessa forma, a identificação de genótipos com maior eficiência no uso de nitrogênio torna-se estratégica para sustentar a produtividade em ambientes limitantes

A Eficiência Agronômica do Nitrogênio (EAN) é um parâmetro fundamental, pois genótipos mais eficientes tendem a manter desempenho satisfatório mesmo sob condições de restrição nutricional e hídrica (Fischer, Johnson e Edmeades, 1982). Estudos recentes demonstram que genótipos eficientes em ambientes limitantes apresentam maior aproveitamento do N absorvido e conseguem manter crescimento, fotossíntese e formação de grãos mesmo sob estresse (Jales *et al.*, 2021).

No melhoramento genético, a seleção simultânea de múltiplas características agronômicas é fundamental para a identificação de genótipos superiores (Cruz, 2006). Nesse sentido, índices de seleção, têm se destacado, especialmente o MGIDI (Multi-Trait Genotype-Ideotype Distance Index), proposto por Olivoto e Nardino (2020). Esse índice permite selecionar genótipos mais próximo do ideótipo por meio de uma abordagem multivariada robusta baseada na análise fatorial. Essa estratégia reduz a redundância entre caracteres correlacionados e melhora a precisão na seleção de genótipos superiores (Hair *et al.*, 2009; Rocha *et al.*, 2018).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar múltiplos cenários visando à identificação de genótipos de milho superiores quanto à eficiência no uso do nitrogênio para a região Semiárida, utilizando o índice de seleção MGIDI.

2. Material e métodos

2.1 Localização e caracterização do clima

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Sergipe, situada no município de Nossa Senhora da Glória (10°13'06"S 37°25'13" O e 291 m), Sergipe, no ano de 2024. O clima predominante da região é do tipo ‘tr**neb’, com precipitação anual variando entre 506 e 1301 mm (Novais e Machado, 2023).

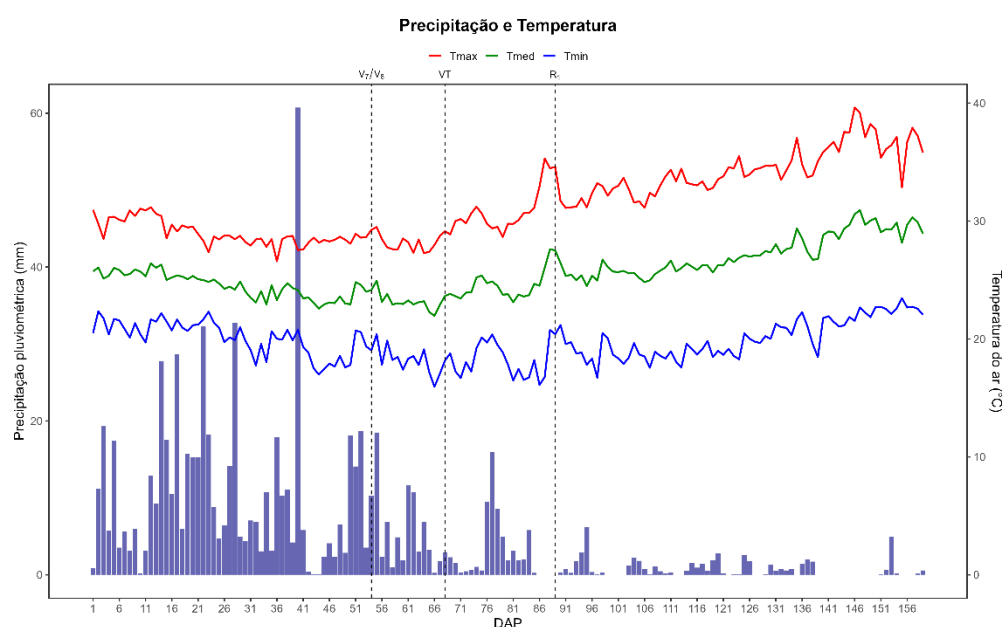


Figura 1. Precipitação pluviométrica mensal, temperatura máxima, média e mínima do ar no ano de 2025 na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Sergipe/Campus do Sertão.

2.2 Material genético e delineamento experimental

As progênes de meios-irmãos avaliadas foram provenientes de uma variedade de polinização aberta (PopTol2), caracterizada por tolerância a seca. Para a realização do cruzamento, os genótipos parentais foram semeados em duas épocas, com o intervalo de cinco dias entre as semeaduras para sincronização de pólen na safra de 2023. O campo foi implantado a uma distância de 200 metros de outras áreas com plantio de milho, a fim de evitar contaminação por pólen externo. Utilizou-se espaçamento de 0,8 m entre linhas e 0,2 m entre plantas, com linhas de 10 m. Foram utilizados 35 genótipos

de milho, 34 são provenientes de meios-irmãos (PMI) e uma cultivar comercial, variedade de polinização aberta.

Tabela 1. Identificação dos genótipos genéticos utilizados em campo para o experimento

Código	Genótipo	Classe genética
G1	CRUZETA	VAR
G2	POPTOL2 - PMI03-SubP2	PMI
G3	POPTOL2 - PMI04-SubP3	PMI
G4	POPTOL2 - PMI05-SubP4	PMI
G5	POPTOL2 - PMI06-SubP5	PMI
G6	POPTOL2 - PMI08-SubP6	PMI
G8	POPTOL2 - PMI12-SubP8	PMI
G19	POPTOL2 - PMI59-SubP19	PMI
G20	POPTOL2 - PMI60-SubP20	PMI
G21	POPTOL2 - PMI62-SubP21	PMI
G22	POPTOL2 - PMI65-SubP22	PMI
G23	POPTOL2 - PMI66-SubP23	PMI
G24	POPTOL2 - PMI67-SubP24	PMI
G25	POPTOL2 - PMI72-SubP25	PMI
G26	POPTOL2 - PMI73-SubP26	PMI
G27	POPTOL2 - PMI75-SubP27	PMI
G28	POPTOL2 - PMI76-SubP28	PMI
G29	POPTOL2 - PMI79-SubP29	PMI
G31	POPTOL2 - PMI85-SubP31	PMI
G32	POPTOL2 - PMI93-SubP32	PMI
G34	POPTOL2 - PMI107-SubP34	PMI
G37	POPTOL2 - PMI114-SubP37	PMI
G40	POPTOL2 - PMI129-SubP40	PMI
G41	POPTOL2 - PMI148-SubP41	PMI
G42	POPTOL2 - PMI154-SubP42	PMI
G44	POPTOL2 - PMI158-SubP44	PMI
G47	POPTOL2 - PMI178-SubP47	PMI
G48	POPTOL2 - PMI206-SubP48	PMI
G50	POPTOL2 - PMI240-SubP50	PMI

PMI = Progenie de meios-irmãos; Sub = Subpopulação; VAR = Variedade

2.3 Condução experimental

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados com parcelas subdivididas, contendo três repetições. Na adubação de fundação, foram utilizados de acordo com as recomendações, 181,8 kg ha⁻¹ de MAP, 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 100 kg ha⁻¹ de KCl. As recomendações de adubação seguiram os resultados da análise de solo e as exigências nutricionais da cultura do milho para o estado de Sergipe, conforme

metodologia descrita por Sobral *et al.* (2007). Os demais tratos culturais foram realizados conforme as necessidades da cultura ao longo do ciclo até a colheita.

Os níveis de nitrogênio constituíram as parcelas com alto nitrogênio: 140 kg ha de nitrogênio, sendo 60% da dose no primeiro parcelamento e 40% no segundo. E baixo nitrogênio sem adubação nitrogenada de cobertura. Já as subparcelas, são compostas das progênes de meios-irmãos composta por duas fileiras de 3,0 m semeadas por 30 sementes, numa densidade de plantio de 5 sementes por metro linear e 71.428 plantas ha⁻¹. O espaçamento entre as plantas foi de 0,20 m e entre as fileiras 0,70 m.

2.4 Variáveis agronômicas avaliadas

Tabela 2. Variáveis avaliadas juntamente com denominações e unidades de medida.

Abreviatura	Variável	Unidade
<i>Características morfológicas</i>		
AP	Altura de planta ²	m
AE	Altura de espiga ²	m
<i>Características fenológicas</i>		
FM	Florescimento masculino ¹	Dias
FF	Florescimento feminino ¹	Dias
<i>Características pós-colheita</i>		
NFG	Número de fileiras de grão por espiga ²	Unidade
NGF	Número de grãos por fileira ²	Unidade
CE	Comprimento de espiga ²	cm
DE	Diâmetro de espiga ²	cm
PG	Produtividade de grãos a 13% de umidade	kg ha ⁻¹
EUN	Eficiência do nitrogênio	

2.5 Análises estatísticas

Para verificar as pressuposições dos dados coletados, realizou-se a análise de variância (ANAVA) com nível de significância de 5%, utilizando o pacote Easynova no software Rstudio.

Na etapa de seleção de genótipos superiores com múltiplas características, aplicou-se uma intensidade de seleção de 20% no MGIDI, de acordo com o que foi proposto por Olivoto e Nardino, (2021). O uso do índice MGIDI requer, primeiramente, a padronização das variáveis analisadas para uma escala de 0 a 100. Em seguida, aplica-se a análise fatorial para identificar padrões de correlação e simplificar a dimensionalidade dos dados. Com a estrutura definida, estabelece-se um ideótipo que

reúna as características de interesse. O passo final consiste em calcular a distância entre cada genótipo e esse modelo ideal, aplicando-se a equação de Olivoto e Nardino (2020):

$$MGIDI_i = \sqrt{\sum (F_{ij} - F_j)^2}$$

Em que:

MGIDI_i: Índice MGIDI no i-ésimo genótipo;

F_{ij}: pontuação do i-ésimo genótipo no j-ésimo fator (i = 1, 2, ..., g; j = 1, 2, ..., f), sendo g e f o número de genótipos e fatores, respectivamente;

F_j: o j-ésimo pontuação do ideótipo.

O genótipo com menor MGIDI é o mais próximo do ideótipo e, conseqüentemente, apresentará os valores desejados para todas as características analisadas.

2.6 Descrição dos cenários

Os três cenários, denominados Cacto, Semiárido e Mandacaru, foram elaborados com base na definição de ideótipos contrastantes, compostos por combinações específicas de características desejáveis e indesejáveis, permitindo simular diferentes estratégias de seleção para eficiência no uso de nitrogênio (EUN) em milho cultivado no Semiárido.

2.6.1 Cenários de alto desempenho (ideótipos de maior exigência)

i) Cenário Cacto:

Representa plantas altamente produtivas, com espigas grandes e pesadas, elevado número de grãos, alta produtividade e ciclo precoce. É um ideótipo que combina produtividade elevada, precocidade e menor estatura de planta, favorecendo a adaptação a ambientes semiáridos com restrição de nitrogênio.

ii) Cenário Semiárido:

Caracteriza plantas de maior porte, com alta produtividade de grãos, maior número de espigas e de ciclo precoce. Esse ideótipo expressa vigor vegetativo aliado ao desempenho produtivo, refletindo genótipos responsivos ao nitrogênio sob condições de estresse moderado.

iii) Cenário Mandacaru:

Busca maximizar todas as características avaliadas, incluindo produtividade, precocidade e maior altura da planta e da espiga. Representa um ideótipo de alto

potencial produtivo e elevada eficiência no uso do nitrogênio, correspondendo ao cenário mais exigente para seleção.

Tabela 2. Caracterização dos cenários (+ e -) para variáveis agronômicas no milho cultivado em sequeiro.

Cacto													
Ideótipo	Características avaliadas												
	PRE	NEP	PE	NFE	NGF	CE	DE	PGT	AP	AE	FM	FF	PG
Desejável	máx.	máx.	máx.	máx.	máx.	má x.	má x.	máx.	min.	min.	min.	min.	máx.
Indesejável	min.	min.	min.	min.	min.	min	min	min.	máx.	máx.	máx.	máx.	min.
Semiárido													
Ideótipo	Características avaliadas												
	PRE	NEP	PE	NFE	NGF	CE	DE	PGT	AP	AE	FM	FF	PG
Desejável	máx.	máx.	máx.	máx.	máx.	má x.	má x.	máx.	máx.	máx.	min.	min.	máx.
Indesejável	min.	min.	min.	min.	min.	min	min	min.	min.	min.	máx.	máx.	min.
Mandacaru													
Ideótipo	Características avaliadas												
	PRE	NEP	PE	NFE	NGF	CE	DE	PGT	AP	AE	FM	FF	PG
Desejável	máx.	máx.	máx.	min.	min.	min	min	min.	máx.	máx.	máx.	máx.	máx.
Indesejável	min.	min.	min.	máx.	máx.	má x.	má x.	máx.	min.	min.	min.	min.	min..

PRE = posição relativa da espiga; NEP = Número de espiga na parcela; PE = Peso da espiga; NFE = Número de fileiras por espigas; NGF = Número de grãos por fileira; CE = Comprimento da espiga; DE = Diâmetro da espiga; PGT = Peso de grãos total; AP = Altura da planta; AE = Altura da espiga; FM = Florescimento masculino em dias; FF = Florescimento feminino em dias e PG = Produtividade de grãos.

3. Resultados e discussões

3.1 Análise de Variância

A análise de variância (ANAVA) revelou efeitos significativos ($p < 0,01$ ou $p < 0,001$) para altura da planta e da espiga, florescimento masculino e feminino, comprimento e número de grãos por fileira, número de fileiras por espigas, peso de grãos total, peso de espiga, posição relativa da espiga e, crucialmente, para produtividade de grãos (Tabela 3). Esses resultados indicam a existência de variabilidade genética entre as progênes avaliadas, permitindo a seleção efetiva para essas características, conforme discutido por Cruz (2006).

Por outro lado, para a característica eficiência agrônômica do nitrogênio (EAN), a ANAVA indicou que o efeito de tratamentos foi não significativo. Isso sugeri que não foi possível detectar variabilidade genética entre as progênes de meios-irmãos, o que implica na seleção direta para esta característica seria ineficaz. Observou-se que o coeficiente de variação (CV) elevado, de 35,49%, valor considerado estatisticamente muito alto para experimentos de campo, especialmente para características fisiológicas e agrônômicas (Pimentel-Gomes, 2023). Assim, a ausência de efeito significativo para EAN não deve ser interpretada como ausência de variação genética, mas como uma limitação experimental que compromete a sensibilidade da análise.

Tabela 3. Análise de variância resumida para as características avaliadas em progênieiros meios-irmãos no experimento em sequeiro na safra de 2024.

FV	GL	QM										
		AP	AE	FM	FF	CE	DE	NGF	NFE	PGT	PRE	PG
Blocos	2	0,38 ^{ns}	0,05 ^{ns}	17,96*	18,18 ^{ns}	7,51 ^{ns}	0,21 ^{ns}	119,56 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,64*	0,0085	3598203,08*
Nutriente (a)	1	13,22*	7,30**	297,50*	742,92*	676,15	4,14 ^{ns}	8701,18*	51,11	90,85**	0,17060 *	514325158,6**
Resíduo a	2	0,02	0,02	0,63	2,63	10,19	0,47	61,38	1,92	0,03	0,0021	164787,59
Genótipos (b)	34	0,06*	0,06**	9,73***	14,55***	5,07*	0,50 ^{ns}	38,34**	2,03 ^{ns}	0,33***	0,0057**	1891926,58***
Interação (axb)	34	0,03 ^{ns}	0,02 ^{ns}	1,75 ^{ns}	4,90 ^{ns}	3,41 ^{ns}	0,28 ^{ns}	38,91**	1,45 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,0021	698508,51 ^{ns}
Resíduo b	13 6	0,03	0,02	3,34	5,42	2,89	0,34	18,72	1,50	0,11	0,0021	636883,65
Cv a (%)		8,96	16,29	1,17	2,37	19,82	16,35	22,53	10,09	10,05	8,541	10,05
Cv b (%)		10,19	15,36	2,82	3,41	10,56	14,02	12,44	8,90	19,77	8,503	19,77
Média		1,91	1,03	67,49	68,24	16,10	4,20	34,77	13,73	1,70	0,5365	16,96

FV	GL	QM										
		EAN										
Tratamento	34	57,55 ^{ns}										
Bloco	2	7,45 ^{ns}										
Resíduo	68	45,39										
Cv (%)		35,49										
Média		14,25										

QM = quadrado médio; FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; AP = altura da planta; AE = altura da espiga; FM= florescimento masculino; FF = florescimento feminino; CE = comprimento da espiga; DE = diâmetro da espiga; NGF = número de grãos por fileira; NFE = número de fileiras por espigas; PGT = peso de grãos total; PRE = posição relativa da espiga; PG = produtividade de grãos; EAN= eficiência agronômica do nitrogênio; CV = coeficiente de variação; *, **, *** = significativo a 5%, 1% e 0,001% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; ^{ns} = não significativo pelo teste F.

Os coeficientes de variação (CV) obtidos na ANAVA apresentaram amplitude de 1,17% a 35,49%, indicando alta heterogeneidade e variabilidade dos dados conforme a classificação de Gomes (1985), que categoriza índices acima de 20% como altos ou muito altos. Essa oscilação reflete diferentes níveis de precisão experimental, parâmetro que, segundo Fritsche-Neto *et al.* (2012), é crucial para mitigar erros e assegurar a confiabilidade estatística em estudos de melhoramento genético de plantas.

3.2 Análise fatorial após rotação Varimax

A análise fatorial com rotação Varimax resultou na retenção de dois fatores principais, com autovalores de 8,61 e 1,21, os quais explicaram conjuntamente 75,70% da variância total dos dados (Tabela 5). Alves, Minuzzi e Caron (2021) destacam que a variância acumulada deve ser pelo menos de 70%, portanto, há confiabilidade nos resultados obtidos.

Tabela 5. Análise de cargas fatoriais após rotação Varimax e comunalidades para os múltiplos cenários.

Variáveis	Fator		Comunalidade	h ²
	Rendimento	Fenográ		
	o	o		
NEP	-0,91	0,02	0,83	0,76
PE	-0,89	-0,39	0,94	0,84
NFE	-0,38	-0,58	0,48	0,37
NGF	-0,59	-0,65	0,77	0,73
CE	-0,54	-0,68	0,75	0,64
DE	0,06	-0,63	0,40	0,22
PGT	-0,89	-0,39	0,95	0,84
AP	0,67	0,66	0,89	0,84
AE	0,69	0,63	0,88	0,83
FM	-0,35	-0,73	0,65	0,65
FF	-0,33	-0,85	0,83	0,73
PG	-0,49	-0,80	0,88	0,90
PRE	-0,59	-0,48	0,58	0,66
Média da comunalidade			0,76	
Autovalores	8,61	1,21		
Variância (%)	66,40	9,30		
Variância acumulada (%)	66,40	75,70		

AP = altura da planta; AE = altura da espiga; FM= florescimento masculino; FF = florescimento feminino; CE = comprimento da espiga; DE = diâmetro da espiga; NGF = número de grãos por fileira; NFE = número de fileiras por espigas; PGT = peso de grãos total; PRE = posição relativa da espiga; PG = produtividade de grãos; EAN= eficiência agrônômica do nitrogênio

As cargas fatoriais indicaram que o Fator 1 (FA1) está fortemente associado a características relacionadas ao desempenho produtivo (Tabela 6). As maiores

magnitudes foram observadas para peso da espiga (PE, -0,89), peso total de grãos (PGT, -0,89), número de espigas por planta (NEP, -0,91), posição relativa da espiga (PRE, -0,59), número de grãos por fileira (NGF, -0,59), produtividade de grãos (PG, -0,49) e comprimento da espiga (CE, -0,54). Assim, esse fator representa essencialmente o componente de rendimento das progênies. Como as principais variáveis associadas à produtividade apresentaram cargas negativas, genótipos com menores escores fatoriais no FA1 tendem a apresentar maior desempenho produtivo.

O Fator 2 (FA2) explicou 9,30% da variância total e foi denominado “Fenogão”, por estar associado a variáveis ligadas ao ciclo de desenvolvimento da cultura (Tabela 5). As maiores cargas fatoriais foram para florescimento feminino (FF-0,85) e florescimento masculino (FM-0,73), indicando forte relação com aspectos a precocidade e a duração do ciclo reprodutivo. A variável Produtividade de Grãos apresentou elevada carga nesse fator (PG-0,80), sugerindo interação entre precocidade e desempenho produtivo.

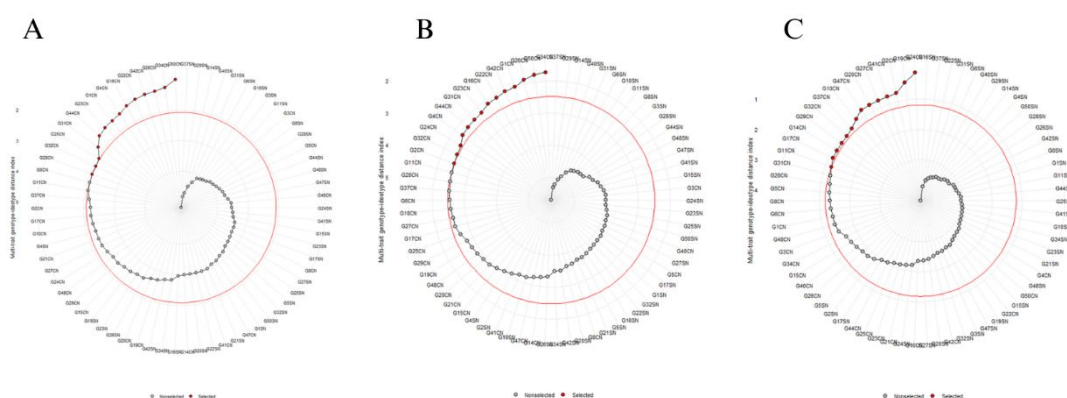
A média das comunalidades foi de 0,76, indicando que os dois fatores extraídos explicaram, em média, 76% da variância de cada variável original. De acordo com Matos e Rodrigues (2019), valores de comunalidade superiores a 0,50 são considerados satisfatórios, pois indicam que a variável está bem representada na estrutura fatorial.

A herdabilidade das características avaliadas nos genótipos selecionados variou entre 0,22 e 0,90, o que indica que parcela significativa da variação observada é controlada por fatores genéticos, em vez de fatores ambientais (Tabela 5). Conforme Rodrigues *et al.* (2011), a herdabilidade é um parâmetro fundamental para o sucesso da seleção, uma vez que reflete a confiabilidade do valor fenotípico como preditor do valor genético ou reprodutivo do indivíduo.

3.3 Seleção de genótipos por meio do índice MGIDI

Com base no índice MGIDI, os genótipos selecionados representam aqueles com o melhor índice e mais próximos ao ideótipo. A superioridade dos genótipos selecionados nos diferentes cenários valida a eficiência do índice em filtrar materiais de alto desempenho (Figura 1).

Figura 1. Seleção de genótipos de milho por meio do MGIDI em sequeiro;



A) Cacto; B) semiárido e C) Mandacaru. Os pontos vermelhos representam os genótipos selecionados com base na menor distância em relação ao ideótipo desejado. A linha vermelha refere-se à intensidade de seleção de 20%.

No cenário A, foram selecionados os genótipos G50CN, G34CN, G26CN, G22CN, G4CN, G42CN, G16CN, G25CN, G32CN, G28CN, G6CN, G23CN, G44CN e G1CN, os quais apresentaram a melhor combinação de características desejáveis para esse ambiente. No cenário B, destacaram-se os genótipos G34CN, G50CN, G26CN, G1CN, G42CN, G22CN, G16CN, G23CN, G31CN, G44CN, G4CN, G24CN, G32CN e G2CN, evidenciando consistência no desempenho superior, atributo desejável em programas de melhoramento genético. No cenário C, os genótipos superiores foram G24CN, G19CN, G2CN, G41CN, G27CN, G20CN, G47CN, G10CN, G37CN, G32CN, G29CN, G14CN, G17CN e G11CN. (Figura 1)

Estudos utilizando o índice MGIDI foram realizados em culturas como cevada (Pour-Aboughadareh *et al.*, 2021), guar (*Cymopsis tetragonoloba*) (Benakanahalli *et*

al., 2021), trigo (Lima *et al.*, 2022) e milho (Yue *et al.*, 2022). Esses resultados demonstram que a seleção baseada no MGIDI permite identificar conjuntos distintos de genótipos superiores, em função dos critérios estabelecidos em cada cenário. A presença de genótipos específicos em determinados contextos indica adaptação particular, sinalizando que diversos ideótipos podem ser requeridos para otimizar a eficiência agrônômica em ambientes distintos. Análise de ranking MGIDI dos melhores genótipos.

3.4 Análise de ranking MGIDI dos melhores genótipos

A análise dos gráficos de ranking mostra uma distribuição não uniforme da diversidade. Em todos os cenários, observa-se que os materiais com os menores altos valores de MGIDI se encontra no top 14, destacando-se significativamente dos demais (Figura 2).

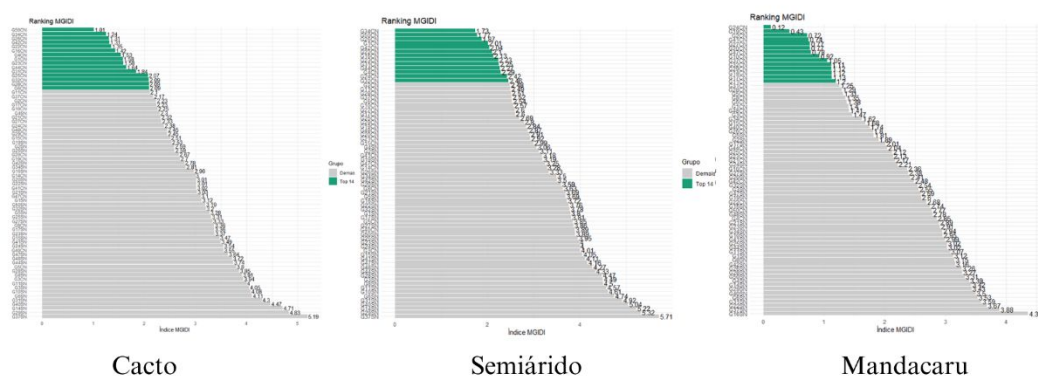


Figura 2. Ranking dos genótipos de milho com base no índice MGIDI. Os valores indicam a proximidade de cada genótipo em relação ao ideótipo desejado, sendo considerados superiores aqueles com menores contribuições ao índice.

No cenário Cacto, o genótipo G50CN apresentou o menor valor de MGIDI (1,01), seguido por G34CN e G26CN, indicando que esses genótipos reúnem características desejáveis para esse cenário específico. Tendência semelhante é observada no Semiárido, onde novamente G34CN, G50CN e G26CN aparecem entre os mais promissores. Além de apresentarem os menores valores de MGIDI, esses materiais também demonstraram elevado potencial produtivo, com G34CN alcançando produtividade de 7417,48 kg ha⁻¹. A repetição desses genótipos em diferentes cenários sugere ampla adaptação, aspecto essencial para programas de melhoramento voltados para regiões Semiáridas (Cruz, 2006).

No cenário Mandacaru, os genótipos G24CN, G19CN e G2CN mostraram maior proximidade ao ideótipo, com produtividades variando de 5625,98 a 5807,66 kg ha⁻¹. A diversidade entre os genótipos selecionados indica que diferentes combinações de

características agronômicas são favorecidas, em concordância com a proposta do MGIDI, que busca selecionar genótipos equilibrados em múltiplas características (Olivoto e Nardino, 2020).

Os resultados evidenciam que genótipos como G34CN, G1CN, G50CN e G26CN apresentam grande consistência entre cenários, caracterizando ampla adaptação. Por outro lado, genótipos como G40SN, G1SN e G22SN destacam-se por adaptação específica. Dentre os genótipos selecionados, o G1(Cruzeta) apresenta base genética mais ampla, o que favorece maior adaptação em ambientes com elevada variabilidade espacial, condições típicas das regiões Semiáridas. Além disso, esse genótipo é cultivado em sistemas agrícolas de baixo insumo, o que reforça sua adaptação e capacidade de manter desempenho satisfatório mesmo sob condições de estresse nutricional ou hídrico (Carvalho *et al.*, 2016).

Pesquisas demonstram que genótipos sob baixa disponibilidade de nitrogênio apresentam características agronômicas específicas, como maior capacidade de absorção de nitrato, maior alocação de biomassa para raízes e maior conservação de carbono em tecidos vegetativos (Ciampitti e Vyn, 2013).

3.5 Visão de pontos fortes e fracos dos selecionados

A Figura 3 evidencia a decomposição dos pontos fortes e fracos dos genótipos selecionados em cada cenário, com base nas contribuições relativas dos fatores extraídos pela análise fatorial para o cálculo do índice MGIDI. Como o MGIDI fornece uma medida multivariada de desempenho, essa separação por fatores auxilia na identificação de quais grupos de características (fenológicas, morfofisiológicas ou produtivas) representam forças ou limitações de cada material (Olivoto e Nardino,



2021).

Figura 3. Pontos fracos e fortes dos genótipos selecionados mostrados na proporção de cada fator de múltiplas características em sequeiro (MGIDI) para os cenários: Cacto; Semiárido e Mandacaru.

No cenário Cacto, observa-se que o FA1 exerce influência predominante sobre a maioria dos genótipos, com contribuições consistentemente baixas para o MGIDI estão nos genótipos G34CN, G26CN, G1CN, G44CN, G25CN e G28CN. Essa menor contribuição indica que esses genótipos se aproximam mais do ideótipo para as características agrupadas no FA1, sugerindo que tais atributos foram determinantes para o desempenho superior observado nesse cenário. Em contraste, o FA2 apresenta comportamento mais heterogêneo, com a maior parte dos genótipos exibindo contribuições mais elevadas para este fator, o que indica influência reduzida de suas características na discriminação dos melhores genótipos pelo MGIDI. Entretanto, os genótipos G50CN e G4CN destacam-se por apresentarem as menores contribuições para FA2, evidenciando maior proximidade ao ideótipo e desempenho favorável para as características associadas a esse fator.

No cenário Semiárido, o FA1 demonstra um padrão de desempenho mais consistente, com contribuições reduzidas nos genótipos G34CN, G26CN, G1CN, G31CN, G32CN e G2CN. Esses genótipos aproximam-se mais do ideótipo e se destacam como os mais promissores para as condições avaliada. Quanto à contribuição de FA2 no cenário Semiárido, os genótipos G50CN, G22CN e G4CN apresentaram as menores contribuições, revelando elevado potencial para o melhoramento, especialmente no conjunto de características associadas a esse fator. Contribuições mais elevadas no FA2 indicam maior especificidade ou menor adequação às características desejáveis, enquanto contribuições reduzidas são desejáveis por refletirem maior proximidade do perfil ideal.

A contribuição do FA2 apresentou menor variabilidade entre os genótipos, porém alguns genótipos, como G44SN, G48SN, G47SN e G28SN, exibiram valores mais elevados para esse fator, indicando maior distância em relação ao ideótipo e, portanto, pontos fracos associados às características agrupadas em FA2.

No cenário Mandacaru, para o FA1, os genótipos G19CN, G41CN e G47CN obtiveram as menores contribuições, evidenciando ponto forte para as características fenológicas, com destaque para o G47CN, que se mostrou mais promissor para as características relacionadas nesse fator. Para o fator FA2, os genótipos G2CN, G37CN,

G32CN e o G11CN tiveram as menores contribuições do MGIDI, sinalizando bom desempenho para as características específicas agrupadas nesse fator.

3.6 Ganho genético por características

Na Tabela 6, observa-se o comportamento dos 3 cenários de seleção e os respectivos ganhos genéticos alcançado pelos genótipos selecionados por meio do índice MGIDI. De modo geral, os cenários apresentam padrões contrastantes, refletindo diferenças na capacidade de cada ideótipo representar condições de alta e baixa performance.

Tabela 6. Ganho genéticos por características para os três cenários avaliados.

Variável	Ganhos genéticos em %		
	Cenários		
	Cacto	Semiárido	Mandacaru
NEP	-3,66	-0,53	21,2
PE	11,44	15,9	42,3
NFE	0,5	17	0,75
NGF	7,12	8,84	7,37
CE	4,12	12,7	5,42
DE	0,24	2,73	0,16
PGT	11,65	0,51	44,7
AP	8,26	7,15	9,98
AE	9,82	5,1	14,2
FM	-1,13	0,24	0,9
FF	-2	-1,27	-1,63
PG	33,22	2,18	25,3
PRE	1,24	39,3	3,06

Os cenários Cacto, Semiárido e Mandacaru, os ganhos foram consistentes para características associadas à produtividade de grãos (PG), peso de espiga (PE) e peso de grãos total (PGT) (Tabela 6). A literatura destaca que ambientes semiáridos, caracterizados pela combinação de estresse hídrico, altas temperaturas e baixa fertilidade dos solos, impõem limitações fisiológicas significativas ao milho. Esses fatores reduzem a taxa fotossintética e a eficiência de absorção e assimilação de nitrogênio, nutriente essencial para a formação de grãos e para o desenvolvimento vegetativo (Devi *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2023).

Situações de estresse hídrico no período reprodutivo, especialmente no pendoamento, a redução é ainda mais expressiva, resultando falhas na polinização e,

consequentemente, no enchimento de grãos e no acúmulo de biomassa nas espigas (Li *et al.*, 2023).

O cenário Cacto apresentou ganhos expressivos em produtividade de grãos (PG: 33,22%), peso de espiga (PE: 11,44%), peso de grãos total (PGT: 11,65%), número de grãos por fileira (NGF: 7,12%), comprimento de espiga (CE: 4,12%), altura da planta (AP: 8,26%) e da espiga (AE: 9,82%) além de indicar tendência a precocidade (reduções em FM e FF) (Tabela 6). A associação de produtividade elevada com precocidade é amplamente recomendada para ambientes semiáridos, pois genótipos mais precoces reduzem o risco de coincidência com períodos críticos de seca (Berchembrock *et al.*, 2021). Este cenário representa genótipos equilibrados e com boa adaptação estrutural ao estresse.

O cenário Semiárido também apresentou ganhos favoráveis para peso de espiga (PE: 15,90%), comprimento de diâmetro (CE: 12,70%), número de grãos por fileira (NGF: 8,84%) e número de fileiras por espiga (NFE: 17,00%), além de aumento expressivo na posição relativa da espiga (PRE: 39,30%). No entanto, os incrementos em altura de planta (AP: 7,15%) e de espiga (AE: 5,10%) indicam tendência a genótipos de maior porte, o que, segundo pode ser uma limitação em sistemas agrícolas que priorizam arquitetura mais compacta.

O cenário Mandacaru destacou-se como o mais promissor, apresentando os maiores ganhos entre todos os cenários para as principais características de interesse: PGT (44,70%), PE (42,30%), PG (25,30%), além de ganhos expressivos para NGF (7,37%), CE (5,42%), AP (9,98%) e AE (14,20%). Essa combinação reflete um ideótipo equilibrado, com elevado rendimento e boa conformação morfológica, o que o torna ideal para programas de melhoramento que visam porte forrageiro.

De modo geral, os cenários Cacto, Semiárido e Mandacaru demonstraram maior capacidade de discriminar e selecionar genótipos superiores. Entre eles, o Mandacaru se destaca como o cenário mais equilibrado, combinando altos ganhos em produtividade, precocidade moderada e arquitetura favorável, características essenciais para o desenvolvimento de genótipos adaptados e de alto desempenho em ambientes semiáridos. A análise conjunta de todos os cenários maximiza a eficiência da seleção

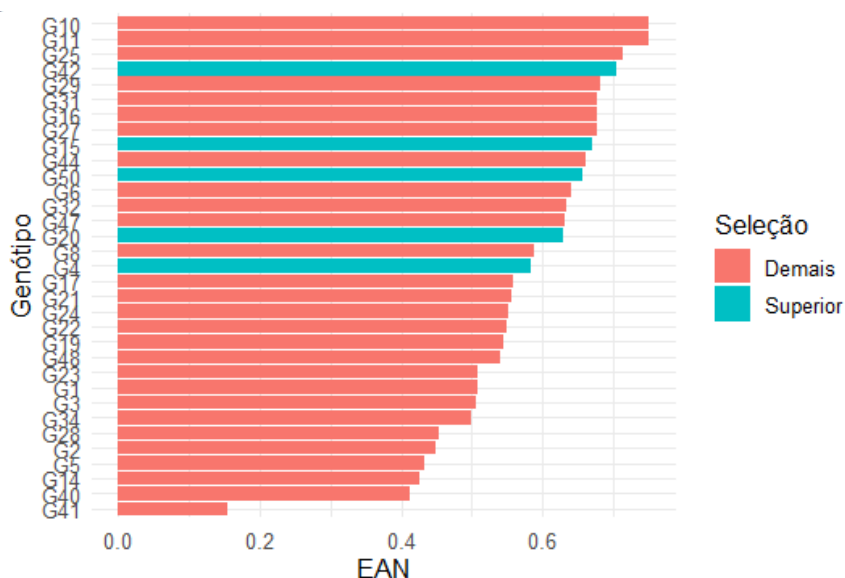
por meio do índice MGIDI (Olivoto e Lúcio, 2020), permitindo identificar genótipos com maior desempenho produtivo.

Segundo Guimarães (2023), o ganho genético está diretamente relacionado com a variabilidade disponível e da intensidade de seleção, sendo maior em populações com maior amplitude fenotípica. A utilização de parâmetros genéticos, conforme destacado por Hamawaki *et al.* (2012), é essencial direcionar o programa de melhoramento de forma mais eficiente para orientar estratégias seletivas e prever os avanços esperados em ciclos subsequentes.

3.7 Eficiência no uso de nitrogênio (EAN)

A análise da eficiência no uso de nitrogênio revelou diferenças significativas entre os genótipos, especialmente para aqueles considerados superiores, que exibiram os maiores valores de EAN de acordo com a distância euclidiana. A distância euclidiana está expressa de forma reescalada no eixo EAN, onde o comprimento das barras reflete o quão próximo cada genótipo está do ideótipo, sendo os materiais em azul os que apresentam a menor distância multivariada (Figura 4).

Figura 4. Genótipos selecionados pelo índice MGIDI para EAN



Os genótipos G42, G15, G50, G20 e G4 foram os genótipos superiores em relação a EAN, apresentando 0,70; 0,67; 0,65; 0,63 e 0,58 respectivamente. O desempenho desses materiais, especialmente do G42 reforça o potencial produtivo. O trabalho de Santos

(2024), reforça a confiabilidade e eficiência do índice para selecionar materiais promissores para a região semiárida.

4. Conclusões

Os cenários Mandacaru e Cacto foram os mais eficientes na identificação de genótipos superiores para condições do semiárido.

Mandacaru foi o mais consistente para ganhos agronômicos, enquanto Cacto apresentou desempenho produtivo associado à precocidade, atuando como cenário complementar.

Os genótipos G50, G1, G22, G26, G42, G4, G34 e G16 mostraram maior proximidade ao ideótipo e são candidatos prioritários ao melhoramento.

Os materiais selecionados demonstraram eficiência no uso de nitrogênio, com potencial para garantir a estabilidade produtiva em diferentes ambientes, consolidando-se como genótipos promissores para o cultivo em região semiárida.

5. Referências bibliográficas

Alvarenga IS, Tritsch I e Scopel E (2023) Trajetória da resiliência Agrícola em uma perspectiva de baixo carbono e de transição agroecológica.

Alves MP, Minuzzi RB e Caron ML (2021) Identificação de estiagens e estimativas de produtividade de milho para o município de Campos Novos, Santa Catarina. **Revista Brasileira de Climatologia**, 28: 101-117.

Aragão NSC, Santos BN, Barreto MSR, Santos HRA, Cordeiro-Junior JJF e Oliveira GHF (2025) Selection of maize genotype using multi-trait index and ideotype design for semi-arid regions. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 25(3): 51262532.

Berchembrock MC, Storck L, Souza FRS e Schuch LOB (2021) Efeitos genéticos e ganho de seleção para caracteres agronômicos em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, 20: e1257.

Bergamaschi H, Matzenauer R (2014) O milho e o clima. **Porto Alegre: Emater/RS-Ascar**, 84: 85.

Benakanahalli NK, Sridhara S, Ramesh N, Olivoto T, Sreekantappa G, Tamam N, Abdelbacki AMM, Elansary HO, Abdelmohsen AM2021 Uma estrutura para identificação de genótipos estáveis com base nos índices MTSI e MGDII: Um exemplo em guar (*Cymopsis tetragonoloba* L.). *Agronomia* 11:1221

Carvalho ID, Ferreira PV, Silva AB, Teixeira JS, Oliveira FS, Carvalho AP e Santos PR (2016) Análise produtiva de genótipos de milho verde consorciados com feijão. **Horticultura brasileira**, 34(4): 593-599.

Ciampitti IA e Vyn TJ (2013) Grain nitrogen source changes over time in maize: a review. **Crop Science**, 53(2): 366–377.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) (2025) 8º levantamento da safra de grãos 2025. Brasília, DF. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/gaos/boletim-da-safra-de-graos>.

Cruz, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: Editora UFV, 2012. 2 v.

Devi MJ, Reddy VR e Timlin D (2022) Drought-induced responses in maize under different vapor pressure deficit conditions. **Plants**, 11(20): 2771.

Embrapa (2008) Tecnologias de produção de milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo.

Fageria NK e Baligar VC (2005) Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in agronomy**, 88: 97-185.

Fageria NK, Baligar VC e Li YC (2008) The role of nutrient efficient plants in improving crop yields in the twenty first century. **Journal of Plant Nutrition**, 31(6): 1121–1157

Feitosa DA, Ferreira KP, Aragão NS, Santos BN, Oliveira JDS, Silva RDJ, Santos JFS, Brito MEB, Junior JJFC, De Oliveira GHF (2025) Performance of maize hybrids grown in a semi-arid region under rainfed and wastewater irrigation systems. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* **29**, e281710. 10.1590/1807-

Fritsche-Neto R, Silva AR, Miranda GV e Borém A (2012) Parâmetros genéticos e seleção em milho. In: Borém A e Miranda GV (Org.) Melhoramento de milho. Viçosa: Editora UFV. p. 289–322.

Hair JF, Black WC, Babin BJ, Anderson RE e Tatham RL (2009) Análise multivariada de dados. 6. ed. Porto Alegre: Bookman.

Hamawaki OT, Sousa LB, Romanato FN, Nogueira APO, Júnior CDS e Polizel AC (2012) Genetic parameters and variability in soybean genotypes. **Comunicata Scientiae**, 3(2): 76–83.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2025) Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA). Rio de Janeiro: IBGE.

Köppen W (1936) Das geographische System der Klimate. Berlin: Gebrüder Borntraeger.

Li Y, Zhang P, Sheng W, Zhang Z, Rose RJ e Song Y (2023) Securing maize reproductive success under drought stress by harnessing CO₂ fertilization for greater productivity. **Frontiers in Plant Science**, 14: 1221095.

Matos, Daniel Abud Seabra; RODRIGUES, Erica Castilho. **Análise fatorial**. Brasília: Enap, 2019. 74 p. (Coleção Metodologias de Pesquisa)

Munns R e Tester M (2008) Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, 59(1): 651–681.

Novais GT e Machado LA (2023) Os climas do Brasil: segundo a classificação climática de Novais. **Revista Brasileira de Climatologia**, 32: 1-39.

Olivoto T e Nardino M (2020) MGIDI: A novel multi-trait index for genotype selection in plant breeding. **BioRxiv**, 2020.07. 23.217778.

Olivoto T e Nardino M (2021) MGIDI: Toward an effective multivariate selection in biological experiments. **Bioinformatics**, 37(10): 1383-1389.

Olivoto T, Nardino M 2021 MGIDI: towards an effective multivariate selection in biological experiments. **Bioinformatics** 10.

Pallant J (2007) SPSS survival manual: a step-by-step guide to data analysis using SPSS for Windows. 3. ed. England: Open University Press.

Pimentel- gomes, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451 p.

Pour-Aboughadareh A, Sanjani S, Nikkhah-Chamanabad H, Mehrvar MR, Asadi A, Amini A 2021 Identificação de genótipos de cevada tolerantes ao sal utilizando índice de múltiplos caracteres e desempenho de rendimento nos estágios iniciais de crescimento e maturação. *Boletim do Centro Nacional de Pesquisa* 45:2-16

Ranum P, Peña-Rosas JP e Garcia-Casal MN (2014) Global maize production, utilization, and consumption. **Annals of the new York academy of sciences**, 1312(1): 105-112.

Rocha JRDASDC, Machado JC e Carneiro PCS (2018) Multitrait index based on factor analysis and ideotype-design: proposal and application on elephant grass breeding for bioenergy. **GCB Bioenergy**, 10: 52–60.

Santos, Henrique Rocha Azevedo. Seleção de genótipos de milho por meio do índice MGIDI para cultivo em região semiárida. 2025. 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) – Universidade Federal de Sergipe, Nossa Senhora da Glória, 2025.

Secretaria de Estado da Agricultura, do Desenvolvimento Agrário e da Pesca (Seagri) (2024) Sergipe conquista topo do ranking brasileiro com maior produtividade de grãos na safra 2024. Disponível em: <https://seagri.se.gov.br/sergipe-conquista-topo-do-ranking-brasileiro-com-maior-produtividade-de-graos-na-safra-2024/>.

Sobral LF, Cunha TJF, Araújo LE, Gama SB e Dias PM (2007) Recomendação de adubação e calagem para o estado de Sergipe. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros.

Taiz L, Zeiger E, Møller IM e Murphy A (2017) Fisiologia e desenvolvimento vegetal. **Artmed Editora**.

Yan W e Tinker NA (2006) Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. **Canadian journal of plant science**, 86(3): 623-645.

Yue H, Wei J, Xie J, Chen S, Peng H, Cao H, Bu J, Jiang X2022 Um estudo sobre a análise da interação genótipo-ambiente para características agronômicas de genótipos de milho na região de Huang-Huai-Hai, na China. *Phyton* 91:e017308