

LUIZ SILVA LUZ

**CAPACIDADE DE COMBINAÇÃO ENTRE HÍBRIDOS COMERCIAIS E
LINHAGENS DE MILHO EM AMBIENTES CONTRASTANTES DE NITROGÊNIO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título *Doctor Scientiae*.

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

L979c
2024
Luz, Luiz Silva, 1993-
Capacidade de combinação entre híbridos comerciais e
linhagens de milho em ambientes contrastantes de nitrogênio /
Luiz Silva Luz. – Viçosa, MG, 2024.
1 tese eletrônica (42 f.): il.

Inclui apêndices.

Orientador: Rodrigo Oliveira de Lima.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Agronomia, 2024.

Referências bibliográficas: f. 34-38.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.518>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Milho - Melhoramento genético. 2. Plantas - Efeito do
nitrogênio. 3. Mapeamento cromossômico. I. Lima, Rodrigo
Oliveira de, 1982-. II. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em
Fitotecnia. III. Título.

CDD 22. ed. 633.152

LUIZ SILVA LUZ

**CAPACIDADE DE COMBINAÇÃO ENTRE HÍBRIDOS COMERCIAIS E
LINHAGENS DE MILHO EM AMBIENTES CONTRASTANTES DE NITROGÊNIO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de Doutor.

APROVADA: 17 de Maio de 2024



Documento assinado digitalmente

LUIZ SILVA LUZ

Data: 12/09/2024 13:45:59-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Luiz Silva Luz
(Autor)

Rodrigo Oliveira de Lima
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, por tudo que me concedeu e por estar presente em todos os momentos de minha vida.

Aos meus pais, José Ramiro e Elimária, meus irmãos Nara e Vítor e todos os familiares pelo apoio, incentivo e amor.

Aos colegas de trabalho da Inova Genética, pelo incentivo e apoio na conclusão dessa etapa.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), em especial ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade de realização do curso.

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

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) e Fundação Arthur Bernardes (Funarbe), pelo financiamento dos projetos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao orientador, Prof. Rodrigo Oliveira de Lima, pelo aprendizado, apoio, amizade e instruções na execução do trabalho.

Aos membros, Flaviane Ribeiro, Lisandra Moura, Hércio Duarte e Antônio Carlos Junior, pela participação na banca de defesa de tese.

À equipe do Programa Milho-UFV, estagiários, bolsistas de iniciação científica e pós-graduandos, pelo apoio, amizade e ajuda na execução do projeto, pois sem eles não seria possível a condução dos experimentos.

Aos funcionários da Unidade de Pesquisa, Ensino e Extensão de Coimbra, por toda dedicação e suporte na condução dos experimentos.

Aos amigos durante essa caminhada, pela valiosa amizade e apoio para realização desta etapa de minha vida. Muito obrigado.

BIOGRAFIA

Luiz Silva Luz, filho de José Ramiro da Luz e Elimária Silva da Luz, nasceu em Montalvânia - MG, em 14 de junho de 1993.

Em 2013, ingressou na Universidade Federal de Viçosa, onde se graduou em Agronomia, obtendo título em julho de 2017.

Em agosto de 2017, iniciou o curso de Mestrado em Fitotecnia, com área de concentração em genética e melhoramento de plantas, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa em março de 2019.

Em abril de 2019, iniciou o curso de Doutorado em Fitotecnia, com área de concentração em genética e melhoramento de plantas, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa em 17 de Maio de 2024.

RESUMO

Luz, Luiz Silva, Universidade Federal de Viçosa, maio de 2024. **Capacidade de combinação entre híbridos comerciais e linhagens de milho em ambientes contrastantes de nitrogênio.** Orientador: Rodrigo Oliveira de Lima.

No melhoramento genético de milho, o desempenho das progênes é utilizado para identificação de linhagens superiores. Através da capacidade de combinação (CC) entre os genitores, pode-se determinar o potencial de indivíduos para possíveis cruzamentos. O objetivo deste trabalho foi estimar a capacidade de combinação geral (CGC) e específica (CEC) entre híbridos comerciais e linhagens de milho em diferentes condições de nitrogênio (N). Para isso, avaliaram-se 60 combinações híbridas (CH) provenientes de cruzamentos realizados segundo o delineamento de North Carolina II entre dez híbridos comerciais e seis linhagens, e dez populações de base genética ampla. Os experimentos foram realizados na Estação Experimental de Coimbra, MG, safras 2017/2018 e 2018/2019. O delineamento experimental utilizado foi alfa-látice 10x7, com três repetições em dois ambientes contrastantes de N. Cada parcela constituiu-se de duas linhas de cinco metros, espaçadas em 0,80m. Todos os tratos culturais foram realizados de acordo com a recomendação para cultura do milho na região, exceto a adubação nitrogenada de cobertura, que não foi realizada em um dos ambientes. Os caracteres analisados foram florescimento masculino (FM dias) e feminino (FF dias), altura de planta (AP cm) e espiga (AE cm) e produtividade de grãos (PG kg ha⁻¹). Os dados foram submetidos a análises pelo método de North Carolina II. É recomendado realizar a seleção de estimativas de CGC e CEC positiva e de alta magnitude, para caracteres em que se deseja o aumento da média. Dessa forma, a linhagem VML090 se destacou em ambas as condições de N nas duas safras de estudo. Os Híbridos DKB390 e NS70 possuem alta frequência de alelos favoráveis para PG, sendo potenciais para extração de linhagens e formação de populações base em alto e baixo N.

Palavras-chave: Delineamento Genético; North Carolina II; Estresse.

ABSTRACT

Luz, Luiz Silva, Federal University of Viçosa, May 2024. **Combining ability between commercial hybrids and maize lines in contrasting nitrogen environments.** Advisor: Rodrigo Oliveira de Lima.

In maize breeding, progeny performance is used to identify superior lines. Combining ability (CC) between parents can determine the individual's potential for possible crosses. This study aimed to estimate the general combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA) between commercial hybrids and maize lines under different nitrogen (N) conditions. To this end, 60 hybrid combinations (HC) were evaluated from crosses obtained using the North Carolina II design between ten commercial hybrids and six lines, besides ten broad-based genetic populations. The experiments were conducted at the Coimbra Experimental Station in Minas Gerais during the 2017/2018 and 2018/2019 harvests. The experimental design was the 10x7 alpha-lattice with three replications and two contrasting N environments. Each plot had two five-meter lines, spaced 0.80m apart, and all the cultivation practices followed the recommendations for growing corn in the region, except for the N fertilization in one of the environments. The traits analyzed were male (FM days) and female (FF days) flowering, plant height (PH cm), ear height (EH cm), and grain yield (GY kg ha⁻¹). The data was analyzed using the North Carolina II method. It is recommended to select high-magnitude GCA and SCA estimates for traits in which an increase the average is desired. Thus, the VML090 lineage stood out in both N conditions and studied seasons. Hybrids DKB390 and NS70 have a high frequency of favorable alleles for GY, making them potential for extracting lines and forming base populations under high and low N.

Keywords: Genetic Design; North Carolina II; Stress.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características agronômicas dos dez híbridos comerciais de milho e seis linhagens tropicais utilizados como progenitores.....	18
Tabela 2. Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para os caracteres: dias para o florescimento masculino (FM, dias) e feminino (FF, dias), altura de planta (AP, cm) e espiga (AE, cm) e produtividade de grãos (PG, kg ha ⁻¹), avaliados em 60 combinações híbridas (CH) e dez populações de base genética ampla (VPA), com base na média dos ambientes alto e baixo N, nas safras de 2017/2018 e 2018/2019.	23
Tabela 3. Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para os caracteres: dias para o florescimento masculino (FM, dias) e feminino (FF, dias), altura de planta (AP, cm) e espiga (AE, cm) e produtividade de grãos (PG), avaliados em 60 combinações híbridas (CH) e dez populações de base genética ampla (VPA) no ambiente de baixo N, nas safras de 2017/2018 e 2018/2019	24
Tabela 4. Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para os caracteres: dias para o florescimento masculino (FM, dias) e feminino (FF, dias), altura de planta (AP, cm) e espiga (AE, cm) e produtividade de grãos (PG), avaliados em 60 combinações híbridas (CH) e dez populações de base genética ampla (VPA) no ambiente alto N, nas safras de 2017/2018 e 2018/2019	26
Tabela 5. Estimativas da razão CGC/CEC para os caracteres: FM, FF, AP, AE e PG nos ambientes de baixo e alto N, nas safras de 2017/2018 e 2018/2019	27
Tabela 6. Estimativas do efeito de CGC para os dez híbridos e seis linhagens utilizados como genitores dos caracteres significativos, em alto e baixo N, nas safras de 2017/2018 e 2018/2019	30
Tabela 7. Estimativas dos efeitos de CEC para o caractere PG das 60 combinações híbridas na safra de 2017/2018.....	32

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. JUSTIFICATIVA	11
3. OBJETIVOS	12
4. REVISÃO DE LITERATURA	13
4.1 IMPORTÂNCIA DO MILHO	13
4.2 IMPORTÂNCIA DO NITROGÊNIO	13
4.3 TIPOS DE CULTIVARES	15
4.4 CAPACIDADE DE COMBINAÇÃO	16
5. MATERIAL E MÉTODOS	18
5.1 MATERIAL GENÉTICO	18
5.2 EXECUÇÃO EXPERIMENTAL	19
5.3 CARACTERES AVALIADOS	19
5.4 ANÁLISES GENÉTICO-ESTATÍSTICAS	20
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
7. CONCLUSÃO	33
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
9. ANEXOS	39

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea Mays* L.) tem grande destaque no cenário agrícola mundial devido à grande importância econômica e social. Isso se deve às diversas formas de sua utilização, como alimentação humana e animal, entre vários outros fins na indústria (DUARTE; MATTOSO; GARCIA, 2006). O Brasil se destaca como o terceiro maior produtor dessa cultura, com cerca de 12% da produção mundial de milho e, o maior exportador (USDA, 2024). Estimativas da safra 2023/2024 apontam uma redução de produtividade em relação a safra passada, devido às instabilidades climáticas que ocorreu no país. A expectativa de produção de milho na safra 2023/2024 é de 115.858 milhões de toneladas, produzidos em uma área total de 20.862 milhões de hectares, 6,3% inferior ao ano passado (Conab, 2024)

O milho tem grande potencial produtivo e com isso, a remoção de nutrientes é muito maior, comparada a outras culturas produtoras de grãos. O nutriente demandado em maior quantidade pela cultura é o nitrogênio (N), seguido pelo potássio (K). Para se produzir 9 mil kg ha⁻¹ de grãos, a cultura do milho absorve cerca de 185 kg ha⁻¹ de N, 132 kg ha⁻¹ de K (Coelho, 2006). A eficiência no uso de nutrientes pelas plantas pode reduzir os custos com fertilizantes, diminuir as taxas de perdas de nutrientes e melhorar a produtividade. Componentes genéticos e fisiológicos são responsáveis pela habilidade das plantas em absorver e utilizar os nutrientes (BALIGAR; FAGERIA; HE, 2001).

Fertilizantes nitrogenados são utilizados em grandes quantidades na agricultura. O N é o nutriente mais caro para a maioria das culturas agrícolas e, no caso do milho, pode representar até 25% do custo de produção (KIST; SANTOS; BELING, 2016). Esse nutriente faz parte de vários compostos nas plantas, tais como: aminoácidos, ácidos nucléicos e clorofila. Além disso, ele está envolvido nas principais reações bioquímicas da planta o que o torna um dos elementos absorvidos em maiores quantidades (CANTARELLA, 2007). O ritmo de absorção desse nutriente é variável ao longo do ciclo da cultura. Nos estádios iniciais da planta, as necessidades de N correspondem a 10% ou menos em relação ao total absorvido. Isso pode ser associado ao pequeno crescimento das raízes, a qual possuem pouca capacidade de extrair nitrogênio do solo (BARROS; CALADO, 2014).

Estratégias de seleção para condições de estresse abióticos têm sido desenvolvidas pelos programas de melhoramento de milho. Diversos programas têm buscado a seleção de genótipos eficientes no uso de água e nutrientes, como nitrogênio e fósforo. O fato do melhoramento, na maioria dos programas de empresas privadas, ser realizado em condições normais de N, onde

não visa a seleção de cultivares eficientes, conseqüentemente, faz com que os cultivares atuais possuam baixa eficiência no uso deste nutriente. Porém, cultivares melhorados para maior tolerância a baixos níveis de nutrientes aplicados são a melhor chance para a melhoria na eficiência de utilização de nutrientes (BALIGAR; FAGERIA; HE, 2001). Dessa forma, possibilita reduzir o custo com adubação nitrogenada e reduz os impactos ambientais gerados com o uso excessivo desse tipo de fertilizante (MUNDIM; RODRIGUES; LIMA, 2018). Assim, a identificação de genótipos eficientes no uso de N pode levar à obtenção de híbridos eficientes no uso desse nutriente. Além disso, os mecanismos genéticos e fisiológicos, características das plantas e suas interações com fatores externos como umidade do solo, temperatura, luz, biologia e fertilidade do solo, também devem ser avaliados para melhorar a eficiência na utilização de nutrientes nas plantas.

Para o sucesso de um programa de melhoramento de milho, é de grande importância a definição adequada das populações de melhoramento. Atualmente, essas são formadas, preferencialmente, por materiais elite como populações biparentais ou sintéticos de linhagens elite (GUIMARÃES et al., 2018). Além dessas, a identificação de populações promissoras oriundas de híbridos comerciais é uma estratégia promissora para os programas de melhoramento. Uma vez que, os cultivares comerciais têm como vantagens possuir características fenotípicas desejáveis, serem adaptados e possuem alto potencial produtivo devido ao acúmulo de alelos favoráveis (OLIBONI et al., 2013). A Lei de Proteção de Cultivares Brasileira, permite o uso de cultivares comerciais (convencionais) como fonte de variabilidade para pesquisa e desenvolvimento de novos cultivares, que pode ser cruzada para formação de novas fontes de extração de linhagens (GUIMARÃES et al., 2018). A escolha dos genitores que formarão populações de melhoramento para a extração de linhagens superiores, através da capacidade geral de combinação, é uma estratégia amplamente utilizada pelos melhoristas (OLIBONI et al., 2013).

2. JUSTIFICATIVA

Não há trabalhos realizados com avaliações de linhagens cruzadas com híbridos comerciais para a formação de populações de melhoramento para condições de baixo N. Assim, o presente trabalho possibilita identificar híbridos como fontes de linhagens ou formação de populações base promissoras na eficiência do uso do N. Além disso, a identificação de linhagens para formação de novos híbridos ou para serem utilizadas como testadoras, é de extrema importância para o desenvolvimento de um programa de melhoramento direcionado ao estresse de N. O estudo da capacidade de combinação pode fornecer melhores informações sobre o controle genético das características de interesse. Além disso, pode auxiliar na seleção de genitores com potencial para formação de populações com base na capacidade geral de combinação (CGC) e direcionar possíveis cruzamentos futuros, com base nas informações de capacidade específica de combinação (CEC).

3. OBJETIVOS

Estimar as capacidades de combinação geral e específica entre híbridos comerciais e linhagens de milho em condições contrastantes de nitrogênio.

Identificar híbridos comerciais de milho com desejável capacidade de combinação para serem usados como população base no desenvolvimento de novas linhagens, tanto em condições normais quanto em situações de estresse de nitrogênio.

Identificar linhagens com potencial para uso como genitores de híbridos mais eficientes no uso de Nitrogênio.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Importância do milho

Devido à sua grande importância econômica, cultural e social, o milho ocupa um lugar de destaque na agricultura brasileira e mundial. Isso se deve ao fato de o cereal ser utilizado de diversas formas, tais como alimentação humana e animal, na produção de filmes plásticos, de embalagens biodegradáveis, etanol e diversos outros produtos. O grão de milho é composto predominantemente de carboidratos e proteínas. Portanto, ele é considerado um alimento energético para a dieta humana e animal (PAES, 2008). O milho é responsável por 85% de todo amido produzido no mundo, que é utilizado para diversos fins tanto na indústria alimentícia quanto na indústria não alimentícia (ZHANG et al., 2021). A principal utilização do amido dos grãos de milho é como fonte de energia na alimentação, além de mais de 3.500 formas de utilização dessa matéria-prima, tanto de forma direta quanto indireta, em vários outros produtos (GALVÃO; BORÉM; PIMENTEL, 2015). A crescente demanda por combustíveis e energia fez com que fontes renováveis ganhasse um papel importante socioeconômico, sendo o etanol um biocombustível de grande importância nesse cenário. Para produção de etanol de primeira geração, são utilizadas matérias-primas ricas em açúcares fermentescíveis, tais como milho, mandioca e cana-de-açúcar. O milho se destaca por apresentar altas produtividades, ciclo curto e baixo consumo energético. Com isso, o alto teor de amido dos grãos dessa cultura torna-o uma das principais alternativas para a produção de etanol (LOPES; SANTOS; BATISTOTE, 2022).

A adoção e o uso consciente de novas tecnologias proporcionou o aumento no rendimento de grãos de milho. A biotecnologia aplicada ao desenvolvimento de híbridos, a adoção de práticas modernas de manejo e a otimização dos recursos naturais estão atreladas a esse aumento. Os ganhos constantes de produtividade estão relacionados diretamente com o desenvolvimento de novos híbridos mais responsivos e ao uso adequado de práticas agronômicas de acordo com os diferentes ambientes.

4.2 Importância do nitrogênio

O ciclo do N no sistema solo-planta é complexo. Ele ingressa no sistema solo-planta através de deposições atmosféricas, adubações químicas ou orgânicas e fixação biológica. A

forma orgânica do nitrogênio representa a maior fração desse nutriente no solo e está presente em organismos vivos, na matéria orgânica em diferentes moléculas e com variados graus de recalcitrância. Entretanto, o ciclo do N pode ser afetado por diversas condições climáticas e é controlado por fatores físicos, químicos e biológicos (CANTARELLA, 2007). Além disso, ele pode ser perdido por meio de remoção pelas culturas entre outros variados mecanismos de perdas, como lixiviação e volatilização.

O N está entre os nutrientes mais utilizados na agricultura. Dessa forma, a produtividade das plantas cultivadas depende diretamente da utilização de grandes quantidades de fertilizantes nitrogenados. Essas, elevam os custos de produção e podem ocasionar contaminação ambiental (CANTARELLA, 2007). Estima-se que 25% do custo total de produção de milho advém do uso de fertilizantes nitrogenados (KIST; SANTOS; BELING, 2016). No caso do milho, o suprimento inadequado de N limita a produção. Porém, o aproveitamento de N pela cultura do milho decresce com a extrapolação das doses aplicadas. Conseqüentemente, há perda de amônia quando se aplica uma quantidade de N fora do recomendando. Ressalta-se que a resposta da cultura às doses de N depende de vários fatores como: histórico da área, tipo de solo, condições climáticas e do material genético utilizado (FERNANDES et al., 2005).

Culturas como o milho, em situações de produções elevadas, chegam a absorver até 350 kg ha⁻¹ de N. As exportações do N absorvido com a colheita chegam a ser de 50% ou mais nas gramíneas, graças ao acúmulo de proteínas nos grãos (CANTARELLA, 2007). Para fins comparativos, estudos feitos por Oliveira et al. (2019) mostraram uma produtividade média de 15 t ha⁻¹, 0,69 kg de N foram exportados para cada kg de grão colhido; para o fósforo esse índice foi de 0,91 kg kg⁻¹ e para o potássio foi de 0,29 kg kg⁻¹. Isso mostra que grande parte do N extraído pelas plantas são exportados para os grãos e está correlacionado diretamente com a produtividade, isso indica que maiores acúmulos de nutrientes nos grãos são resultados de produtividades superiores.

A eficiência no uso do nitrogênio (EUN) é o total de biomassa ou de grãos produzidos por unidade aplicada de N. Além disso, é uma integração da eficiência de absorção e de utilização (assimilação) deste. A EUN é complexa devido a múltiplas interações genéticas e fatores ambientais (XU; FAN; MILLER, 2012). Para que haja eficiência na absorção e utilização de N para a produção de grãos é necessário que os mecanismos de absorção, translocação, assimilação e redistribuição de N operem de forma eficaz (MOLL; KAMPRATH; JACKSON, 1982).

Abe et al. (2013) estudaram a performance de híbridos experimentais e comerciais sob condições de baixo e ótimo nível de aplicação de N. Constataram que os híbridos respondem de forma diferente e se diferem na capacidade de absorção e armazenamento, assim como acúmulo e produção de biomassa. Fernandes et al. (2005) constataram que diferentes doses de N influenciaram na massa do grão e na produtividade. Além disso, ao estudarem o efeito de diferentes doses de N e a EUN em seis cultivares de milho, os autores observaram que o aumento nas doses aplicadas faz com que a eficiência do uso desse nutriente diminua. DoVale et al. (2012) concluíram que, independente da disponibilidade de N, a eficiência na absorção é o componente mais importante na eficiência do uso de N. Além do mais, os efeitos genéticos aditivos têm maior importância para os caracteres associados à eficiência no uso de N. Rodrigues et al. (2017) observaram que há variabilidade genética para eficiência no uso deste em estudo com 64 linhagens de milho tropical. Os autores constataram uma redução na produtividade de grãos de aproximadamente 25% quando em condições de estresse desse nutriente. Por fim, identificaram alta correlação do número de grãos com a eficiência no uso de Nitrogênio.

4.3 Tipos de cultivares

Segundo levantamento da Embrapa, para a safra 2019/2020, dos 196 cultivares de milho disponíveis no mercado, 86,4% são híbridos simples, 5,8% híbridos triplos, 3,9% híbridos duplos, 2,6% híbridos intervarietais. Foram listadas 11 variedades e 28 híbridos onde a genética não foi informada pelas empresas. Para o produtor, a escolha do cultivar dentre todas essas opções disponíveis deve ser rigorosa e levar em conta as características apresentadas pelos cultivares. Essa escolha pode determinar o sucesso da lavoura. O potencial produtivo de uma cultivar geralmente é a característica principal e de maior interesse pelos produtores.

O método de melhoramento utilizado vai depender do tipo de cultivar a ser obtido. No milho, planta alógama com alto nível de heterose, o cultivar é denominado de variedade de polinização aberta (VPA) ou híbrido. Uma VPA é um conjunto de plantas em Equilíbrio de Hardy e Weinberg, que apresentam variabilidade, mas com características genéticas comuns. As sementes de variedades apresentam o menor custo e são muito utilizadas em regiões onde a utilização de híbridos são inviáveis devido às condições econômicas e sociais. Os híbridos de milho, que são cultivares obtidos através de processos de melhoramento, podem ter diferentes

denominações em função dos genitores envolvidos nessa formação. Os híbridos em geral apresentam vigor e alta produtividade superiores em relação às variedades (SOUZA, 2018).

No desenvolvimento de híbridos, principal tipo de cultivar utilizado comercialmente, explora-se a heterose resultante do cruzamento entre genitores contrastantes. O milho é uma das culturas em que a heterose é bastante utilizada para a formação e desenvolvimento desse tipo de cultivar (GUIMARÃES et al., 2018). Nesse processo de desenvolvimento, o melhorista, através da seleção de linhagens, obtém germoplasma que melhor atenda seus objetivos (FERREIRA; PATERNIANI; SANTOS, 2010). Os principais tipos de híbridos são: o híbrido simples (HS), desenvolvido a partir do cruzamento entre duas linhagens divergentes geneticamente; híbrido triplo (HT), que envolve o cruzamento de um híbrido simples com uma linhagem; e híbrido duplo (HD), formado a partir do cruzamento de dois HS.

O sucesso de um programa de melhoramento de milho, que visa o desenvolvimento de novos híbridos superiores, está diretamente ligado a obtenção de linhagens promissoras. Essas serão utilizadas como genitoras dos novos híbridos. Com isso, a identificação de populações para extração dessas linhagens elite faz parte do processo (LIMA; SOUZA; RAMALHO, 2000). Várias opções de populações podem ser utilizadas para a extração de linhagens em um programa de melhoramento. A escolha dessas populações como fontes de variabilidade é um fator determinante do potencial de melhoramento do programa. Diversos tipos de cultivares podem ser utilizados como fonte de linhagens, tais como: variedades de polinização aberta, variedades sintéticas formadas a partir do intercruzamento de linhagens elite do programa, populações biparentais e híbridos comerciais.

A utilização de híbridos comerciais como fonte de extração vem sendo comumente utilizada. Isso pode ser explicado pela vantagem de terem passado por um processo de melhoramento. Assim, os alelos favoráveis para as características de interesse foram fixados, além de terem sido testados em diferentes ambientes (AMORIM; SOUZA, 2005; GUIMARÃES et al., 2018). A Lei de Proteção de Cultivares Brasileira permite o uso de cultivares comerciais (convencionais) como fonte de variabilidade para pesquisa e desenvolvimento de novos genótipos. Esses podem ser cruzados para formação de novas fontes de extração de linhagens (GUIMARÃES et al., 2018).

4.4 Capacidade de combinação

Uma forma de identificar linhagens superiores em um programa de melhoramento é através do desempenho de suas progênies. Dessa forma, os genótipos superiores são

selecionados com base na habilidade de combinação com outros genitores. Essa capacidade de combinação depende da ação dos genes que controlam a característica a ser melhorada (NDUWUMUREMYI; TONGOONA; HABIMANA, 2013). Informações sobre a capacidade de combinação dos genótipos de um programa, auxilia os melhoristas a definir melhores estratégias para o melhoramento (MAKUMBI et al., 2011). Sprague & Tatum (1942) definiram as capacidades de combinação como: i) capacidade geral de combinação (CGC), que é utilizada para designar a performance média de um genitor através de suas combinações híbridas e; ii) a capacidade específica de combinação (CEC), como aqueles casos em que certas combinações apresentam desempenho melhor ou pior em relação ao desempenho médio esperado dos genitores. Do ponto de vista estatístico, a CGC é o efeito principal e está relacionado ao efeito aditivo dos genes. Já a CEC é o efeito de interação e está relacionado aos efeitos de dominância (FASAHAT, 2016).

Souza *et al.* (2010) utilizaram o estudo da capacidade de combinação em milho para identificar o controle genético de características agrônômicas na cultura. Características em que a variância da CEC predomina sobre a variância de CGC, prevalecem sobre elas os efeitos de dominância em relação aos efeitos aditivos. Para Fasahat (2016) quando os efeitos de CGC prevalecem sobre CEC, para aquela característica, a seleção precoce torna-se mais eficiente. Assim, os híbridos promissores podem ser preditos com base nos efeitos de CGC dos seus genitores. Uma vez que a CGC pode ser hereditária ela é transmitida à descendência.

O modelo de North Carolina II (NCII) proposto por Comstock e Robinson (1948) baseia-se na avaliação de populações provenientes de cruzamentos em que a mãe pode produzir progênies de mais de um pai. São os casos de plantas multiflorais, quando cada uma das n fêmeas de um conjunto são cruzados com cada um de m machos de outro conjunto. Assim, o resultado seria um conjunto de nm progênies. O modelo NCII tem como vantagem poder utilizar um maior número de genitores. Porém, gera um menor número de cruzamentos se comparados com os modelos de dialelos (FASAHAT, 2016).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Material Genético

Foram utilizados dois conjuntos de genótipos: dez híbridos comerciais de milho selecionados com base na eficiência no uso de N (ZUFFO, 2016) e seis linhagens elite de milho do Programa Milho, programa de melhoramento de milho da UFV. Os cruzamentos foram realizados de acordo com o delineamento North Carolina II, onde as linhagens (machos) foram cruzadas com os híbridos (fêmeas), na safra 2016/2017. As 60 combinações híbridas (CH) obtidas do cruzamento entre os híbridos e as linhagens foram utilizadas para avaliação e obtenção dos dados experimentais. Utilizou-se dez variedades de polinização aberta (VPA) como testemunhas. As VPA's são populações de milho de base genética ampla que estão em equilíbrio de Hady-Weinberg.

Tabela 1. Características agrônômicas dos dez híbridos comerciais de milho e seis linhagens tropicais utilizados como progenitores

Híbridos	Tipo	Textura do	Ciclo	Empresa
AG1051	Híbrido duplo	Dentado	SMP	Agroceres
BAL188	Híbrido triplo	Semidentado	SP	Balu
BG7049	Híbrido triplo	Semidentado	P	DuPont
BM3061	Híbrido triplo	Dentado	P	Biomatrix
BRS1060	Híbrido simples	Semidentado	SMP	EMBRAPA
DKB390	Híbrido simples	Semidentado	P	Dekalb
GNZ7201	Híbrido simples	Semidentado	P	Geneze
NS70	Híbrido simples	Semiduro	P	Nidera
SHS4070	Híbrido simples	Dentado	N	Santa Helena
XB8018	Híbrido duplo	Duro	P	Semeali
VML024	Linhagem	Duro	P	Programa Milho - UFV
VML048	Linhagem	Duro	P	Programa Milho - UFV
VML090	Linhagem	Dentado	P	Programa Milho - UFV
VML121	Linhagem	Duro	P	Programa Milho - UFV
VML144	Linhagem	Semidentado	P	Programa Milho - UFV
VML184	Linhagem	Dentado	P	Programa Milho - UFV

Fonte: Embrapa, 2018. Ciclo: SP – Superprecoce; P – Precoce; SMP – Semiprecoce; N – Normal.

5.2 Execução experimental

As 60 combinações híbridas juntamente com dez variedades de polinização aberta (VPA), utilizadas como testemunhas, foram avaliadas na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão de Coimbra (20°50'30"S, 42°48'30"W, altitude de 720 m), pertencente ao Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa, situada em Coimbra – MG, durante as safras de 2017/2018 e 2018/2019. Em cada safra foram realizados dois experimentos: um em condição de baixo N, onde não foi realizada a adubação nitrogenada de cobertura, e outro em alto N. Nesse, foram aplicados 550 kg ha⁻¹ de adubo nitrogenado em cobertura no estádio V6. Cada experimento foi realizado em delineamento de blocos incompletos (alfa látice-10x7) com três repetições. Cada parcela foi constituída de duas linhas de cinco metros de comprimento, espaçadas entre elas em 0,80 m, com área útil de 8,0 m². Nas duas safras, a semeadura foi realizada na segunda quinzena de novembro. Aproximadamente 25 dias após o plantio, realizou-se um desbaste a fim de obter 20 plantas por linha, para obter uma população de plantas aproximada de 50 mil plantas ha⁻¹.

No baixo N, a adubação usada foi: 196 kg ha⁻¹ de MAP (mono-amônio-fosfato, que contém 50% de P₂O₅ e 10% de N), no sulco de plantio, e 100 kg ha⁻¹ de KCl (cloreto de potássio, que contém 60% de K₂O) em cobertura no estádio de V6. Em alto N, foi realizada uma aplicação de 400 kg ha⁻¹ de formulado N-P-K, 8-28-16 no plantio, e uma adubação nitrogenada de cobertura de 550 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio, em estádio V6, aproximadamente 30 dias após plantio. Os demais tratos culturais foram realizados de acordo com as recomendações técnicas para a cultura do milho na região (GALVÃO *et al.*, 2015).

5.3 Caracteres avaliados

Os caracteres agrônômicos e de arquitetura de planta avaliados nos experimentos foram: altura de planta (AP, cm) e altura de espiga (AE, cm), que é a distância do nível do solo até a lígula da folha bandeira e do nível do solo até a inserção da espiga superior, respectivamente; dias até florescimento masculino (FM, dias) e florescimento feminino (FF, dias), quando 50% das plantas da parcela apresentarem pelo menos 2/3 do pendão liberando pólen e apresentarem um cm estilo-estigma visíveis, respectivamente; produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹), colheita manual de todas as espigas das parcelas separadamente, debulhadas em debulhador elétrico e os grãos pesados e mensurados a umidade. Os dados de PG expressos em quilograma por hectare com a umidade corrigida para 14,5%.

5.4 Análises Genético-Estatísticas

Após a coleta e tabulação dos dados fenotípicos, realizou-se teste de homogeneidade das variâncias residuais. Posteriormente, foi realizadas análises individuais para cada condição de N e em cada safra e, também, análise conjunta para as duas condições de N, em cada safra de realização do experimento. O delineamento utilizado foi o de North Carolina II (Comstock; Robinson, 1948). Os efeitos das combinações híbridas foram considerados aleatórios, e os efeitos de testemunhas, níveis de N e safras foram considerados como fixos.

Os componentes de variância foram estimados com o emprego da metodologia de máxima verossimilhança restrita (REML; PATTERSON; THOMPSON, 1971), e os efeitos de CGC e CEC foram estimados e preditos usando a metodologia do melhor preditor não-viesado (BLUP). Assim, um modelo misto foi implementado no pacote do “ASReml – R” (BUTLER et al., 2018), e os dados foram analisados com base nos seguintes modelos:

Análise individual de cada condição de N:

$Y_{ij} = \mu + m_i + f_j + m: f_{ij} + \varepsilon_{ij}$, em que: Y_{ij} : valor médio do híbrido ij ($i, j = 1, 2, \dots, p$); μ : constante; m_i, f_j : efeitos dos grupos de macho e fêmea do i-ésimo ou j-ésimo genitor respectivamente; $m: f_{ij}$: efeito da interação entre machos e fêmeas para os cruzamentos entre os genitores de ordem i e j; ε_{ij} : erro experimental médio.

Análise conjunta das duas condições de N em cada safra:

$Y_{ijk} = \mu + l_k + m_i + f_j + m: f_{ij} + (lm)_{ik} + (lf)_{jk} + (lm: f)_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$, em que: Y_{ijk} : valor médio do híbrido ij ($i, j = 1, 2, \dots, p$); μ : constante; l_k : efeito da condição de N k; m_i, f_j : efeitos de machos e fêmeas do i-ésimo ou j-ésimo genitor, respectivamente; $m: f_{ij}$: efeito da interação machos com fêmeas para os cruzamentos entre os genitores de ordem i e j; $(lm)_{ik}, (lf)_{jk}$: efeitos da interação entre efeitos dos machos e fêmeas de ordem i e j, respectivamente, com as condições de N k; $(lm: f)_{ijk}$: efeito da interação entre a interação machos e fêmeas entre os pais i e j e a condição de N k; ε_{ijk} : erro experimental médio.

Análise conjunta dos dois anos para cada condição de N separadamente:

$Y_{ijk} = \mu + a_k + m_i + f_j + m: f_{ij} + (lm)_{ik} + (lf)_{jk} + (lm: f)_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$, em que: Y_{ijk} : valor médio do híbrido ij ($i, j = 1, 2, \dots, p$); μ : constante; a_k : efeito de ano k; m_i, f_j : efeitos de machos e fêmeas do i-ésimo ou j-ésimo genitor, respectivamente; $m: f_{ij}$: efeito da interação machos com fêmeas para os cruzamentos entre os genitores de ordem i e j; $(am)_{ik}, (af)_{jk}$: efeitos da interação

entre efeitos dos machos e fêmeas de ordem i e j , respectivamente, com o ano k ; $(am:f)_{ijk}$: efeito da interação entre a interação machos e fêmeas entre os pais i e j e o ano k ; ϵ_{ij} : erro experimental médio.

A estimativa de parâmetros genéticos pode ser feita pelo método da razão máxima de verossimilhança. Esse método utiliza informações fenotípicas e genéticas dos indivíduos de uma população. A razão de máxima verossimilhança restrita, estima os componentes de variância através de uma transformação linear das observações, que remove os efeitos fixos do modelo e estima os efeitos aleatórios (MALIK; MICHOEL, 2022).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise conjunta dos ambientes contrastantes de N (Tabela 2), na safra de 2017/2018, houve diferença significativa ($P < 0,05$) para CGC para FM, AP e AE, no grupo dos híbridos. Para as linhagens, houve significância ($P < 0,05$) para todos os caracteres em estudo. Houve significância também para a interação entre CGC com os ambientes, apenas para o caractere FF dos híbridos. Para as linhagens, essa interação CGC e ambiente foi significativa ($P < 0,05$) em FF, FM e PG. A CEC foi significativa para os caracteres FM, AP e AE, ou seja, para esses caracteres houve diferença entre as combinações híbridas avaliadas. A interação entre CEC e os ambientes foi significativa ($P < 0,05$) apenas para PG. Isso significa que a seleção das CH's deve ser feita dentro de cada ambiente separadamente. Segundo Sakran et al. (2022), o acesso à capacidade de combinação dos genitores, pode fornecer informações que infere sobre a natureza da ação gênica que controla um caractere em estudo, além de identificar genitores potenciais para cruzamentos. Os autores estudaram genótipos de arroz em diferentes condições hídricas e observaram diferentes performances, tanto para CGC quanto para CEC, sob essas diferentes condições. Dessa forma, os autores inferiram sobre a importância de se identificar genótipos adaptados, quando se trata de estudos em diferentes condições.

Na safra 2018/2019, houve efeito de CGC ($P < 0,05$) para o grupo de híbridos, nos caracteres: FF, FM, AP e AE. No grupo das linhagens, houve diferença significativa ($P < 0,05$) para CGC para todos caracteres avaliados. A CEC foi significativa ($P < 0,05$) para todos os caracteres, exceto para FF. Houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre os híbridos, para interação entre CGC e ambientes em FF apenas. Já para as linhagens, a interação foi significativa ($P < 0,05$) para FM e PG. Para a interação ambiente com CEC, houve diferença significativa ($P < 0,05$) para AE e PG.

Tabela 2. Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para os caracteres: dias para o florescimento masculino (FM, dias) e feminino (FF, dias), altura de planta (AP, cm) e espiga (AE, cm) e produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹), avaliados em 60 combinações híbridas (CH) e dez populações de base genética ampla (VPA), com base na média dos ambientes alto e baixo N, nas safras de 2017/2018 e 2018/2019.

Parâmetros	FM (dias) ^{1/}	FF (dias)	AP (cm)	AE (cm)	PG (kg ha ⁻¹)
Saфра 2017/2018					
$\hat{\sigma}_{CGC\ Hib.}^2$	1,58	1,20*	43,59*	60,76*	1,94x10 ⁵
$\hat{\sigma}_{CGC\ Linh.}^2$	3,89*	4,38*	114,49*	83,70*	361.828*
$\hat{\sigma}_{CGC \times N\ Hib.}^2$	7,70x10 ^{-7*}	0,02	9,99x10 ⁻¹	3,66	1,18x10 ⁵
$\hat{\sigma}_{CGC \times N\ Linh.}^2$	0,26*	0,45*	12,23	1,66	0,12*
$\hat{\sigma}_{bloco}^2$	2,42x10 ⁻⁷	5,56x10 ⁻⁷	6,49x10 ^{-5*}	6,88x10 ⁻⁶	1,27x10 ⁻¹
$\hat{\sigma}_{CEC}^2$	0,16	0,41*	19,34*	12,62*	1,20x10 ⁵
$\hat{\sigma}_{bloco \times N}^2$	0,06	0,08*	6,80	1,95	1,27x10 ⁻¹
$\hat{\sigma}_{CEC \times N}^2$	0,29	0,02	6,35	0,98	182.436*
$\hat{\sigma}^2$	2,38	2,05	83,61	67,99	1,25x10 ⁶
Méd. CH	66	67	222,99	123,01	7.431
Méd. VPA	69	70	208,14	114,55	4.816
Méd. Geral	67	68	215,56	118,78	6.124
CV%	2,29	2,10	4,24	6,94	18,28
Saфра 2018/2019					
$\hat{\sigma}_{CGC\ Hib.}^2$	1,72*	1,40*	32,61*	59,48*	105.557
$\hat{\sigma}_{CGC\ Linh.}^2$	4,41*	4,91*	154,97*	86,69*	246.538*
$\hat{\sigma}_{CGC \times N\ Hib.}^2$	3,04x10 ^{-7*}	0,006	3,73	0,83	37.463
$\hat{\sigma}_{CGC \times N\ Linh.}^2$	0,06	0,09*	1,15	1,63	0,21*
$\hat{\sigma}_{bloco}^2$	1,49x10 ^{-6*}	2,01e ^{-7*}	5,67x10 ^{-5*}	3,49x10 ^{-6*}	0,81
$\hat{\sigma}_{CEC}^2$	0,10	0,13*	8,89*	6,15*	102.823*
$\hat{\sigma}_{bloco \times N}^2$	0,81*	0,10*	16,87*	11,71*	342.419*
$\hat{\sigma}_{CEC \times N}^2$	0,16	0,04	0,98	1,77x10 ^{-5*}	0,35*
$\hat{\sigma}^2$	3,01	1,99	123,06	81,71	2093.797
Méd. CH	68	67	222,99	118,12	6.388
Méd. VPA	71	70	208,14	111,44	3.907
Méd. Geral	70	68	215,56	114,78	5.147
CV%	2,49	2,06	5,15	7,88	28,11

^{1/}* - significativo à 5% pelo teste da razão de verossimilhança.

Nas análises estatísticas de cada ambiente, em cada safra de estudo, no ambiente baixo N, pode-se observar que na safra 2017/2018 a média de PG das CH's foi de 7.463 kg ha⁻¹, e das VPA's foi de 4.826 kg ha⁻¹. O CV% variou de 2,12% (FM) à 17,97% (PG) (Tabela 3**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Segundo a classificação de Fritsche-Neto (2012), o experimento apresentou uma precisão experimental intermediária. Houve diferença significativa ($P < 0,05$) para CGC no grupo dos híbridos em todos os caracteres, exceto PG. Isso

indica que para esse grupo, o comportamento dos genótipos quanto a produtividade de grãos não se diferencia nessas condições. Já para o grupo das linhagens, todos os caracteres foram significativos ($P < 0,05$). Houve diferença significativa ($P < 0,05$) também para CEC, apenas nos caracteres AP e PG. Nesse caso, houve comportamento diferente entre as combinações híbridas estudadas, apenas para esses caracteres.

Na safra de 2018/2019, houve uma redução na média de PG possivelmente devido ao regime de chuvas ocorrido no ano, gerando um estresse hídrico. As médias foram de 5.867 kg ha⁻¹ e 3.363 kg ha⁻¹ para as CH's e VPA's, respectivamente. O CV% variou de 1,60 (FF) à 17,29% (PG), também considerado intermediário (Tabela 3). Analisando a CGC dos dois grupos de genitores, tanto para os híbridos quanto para as linhagens de milho, todos os caracteres apresentaram diferença significativa ($P < 0,05$). Isso mostra que, para essas condições, houve diferença entre os genitores em se tratando de efeitos genéticos aditivos. Para CEC houve diferença significativa apenas para AP e PG, assim como na safra anterior.

Tabela 3. Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para os caracteres: dias para o florescimento masculino (FM, dias) e feminino (FF, dias), altura de planta (AP, cm) e espiga (AE, cm) e produtividade de grãos (PG), avaliados em 60 combinações híbridas (CH) e dez populações de base genética ampla (VPA) no ambiente de baixo N, nas safras de 2017/2018 e 2018/2019

Parâmetros	FM (dias) ^{1/}	FF (dias)	AP (cm)	AE (cm)	PG (kg ha ⁻¹)
Safra 2017/2018					
$\hat{\sigma}_{CGC\ Hib.}^2$	1,77*	1,55*	28,46*	48,01*	2.5417
$\hat{\sigma}_{CGC\ Linh.}^2$	5,18*	5,57*	164,78*	106,89*	162.118*
$\hat{\sigma}_{CEC}^2$	0,29	0,21	27,60*	7,02	28.4252*
$\hat{\sigma}_{bloco}^2$	2,58x10 ⁻⁷	2,12x10 ⁻⁷	9,58x10 ⁻⁶	7,44x10 ⁻⁶	0,12
$\hat{\sigma}^2$	2,55	2,10	94,70	73,52	121.963
Méd. CH	66	67	222,85	122,98	7.463
Méd. VPA	69	70	208,21	114,61	4.826
Méd. Geral	67	68	215,53	118,79	6.144
CV%	2,37	2,12	4,52	7,22	17,97
Safra 2018/2019					
$\hat{\sigma}_{CGC\ Hib.}^2$	1,22*	1,57*	41,93*	59,19*	14.0632,8*
$\hat{\sigma}_{CGC\ Linh.}^2$	5,71*	5,65*	251,98*	99,71*	122.382,7*
$\hat{\sigma}_{CEC}^2$	0,42*	5,74x10 ⁻⁸	14,26	2,27	133.941,30
$\hat{\sigma}_{bloco}^2$	2,60x10 ⁻¹	1,61x10 ⁻¹	26,61	15,70	147.738,70
$\hat{\sigma}^2$	1,29	1,21	92,58	59,31	637.072
Méd. CH	69	67	211,17	115,16	5.867
Méd. VPA	73	70	204,33	112,93	3.363
Méd. Geral	71	68	207,75	114,05	4.615
CV%	1,60	1,60	4,63	6,75	17,29

^{1/}* - significativo à 5% de probabilidade pelo teste da razão de verossimilhança.

Shehzad e Yousaf (2019) realizaram um estudo em que se utilizou seis linhagens de milho, onde quatro delas foram cruzadas com dois testadores e assim obtiveram-se as estimativas de capacidades de combinação, para os caracteres avaliados. Para os autores, a ocorrência de efeitos significativos entre os genitores em estudo indica a possibilidade de um ganho genético substancial através da seleção dos genitores superiores.

Em se tratando de condições normais de N, na safra de 2017/2018, podemos observar que para essas condições houve um incremento na média de PG das CH's e VPA's de aproximadamente 30% em relação ao ambiente BN na mesma safra (Tabela 4). As médias para esse caractere foi de 10.456 kg ha⁻¹ e 6.842 kg ha⁻¹ para CH's e VPA's, respectivamente. O CV% nessas condições variou de 2,02 (FM) à 13,19% (PG), indicando boa precisão experimental, já que se trata de uma melhor condição ambiental para o desenvolvimento das plantas. Analisando as capacidades de combinações, tanto para o grupo de híbridos quanto para o de linhagens, todos os caracteres apresentam diferença significativa ($P < 0,05$) para CGC, assim como também as CH's para CEC. Isso mostra que nessas condições há diferenças no comportamento dos genitores assim como também das combinações híbridas resultantes do cruzamento desses genitores, para todos os caracteres em estudo.

Na safra de 2018/2019, as médias para PG foram de 8.273 kg ha⁻¹ e 5.265 kg ha⁻¹ para as CH's e VPA's, respectivamente. Houve um incremento também de aproximadamente 30% em relação ao ambiente BN. Porém, houve uma redução de aproximadamente 20% em relação as mesmas condições de N da safra anterior, devido ao estresse hídrico ocasionado pelo regime de chuvas dessa safra. Com isso, o CV% variou de 1,66 (FM) à 17,80% (PG). Houve diferença significativa ($P < 0,05$) para todos os caracteres em estudo, tanto para o grupo de genitores híbridos como para as linhagens, em se tratando de CGC. Nenhum dos caracteres apresentaram diferença significativa ($P < 0,05$) para CEC.

Os resultados corroboram os resultados encontrados por Souza et al. (2010), que estudaram a inter-relação entre nitrogênio (N) e fósforo (P) na capacidade de combinação de oito cultivares comerciais milho, obtendo 28 combinações híbridas. Os autores notaram uma redução de aproximadamente 25% na média da produtividade de grãos, quando em condições normais de P, alterando as condições de N. Os autores também evidenciaram que os CV's% foram superiores nos ambientes de estresse. Foi observado que CGC e CEC não apresentaram efeito significativo para PG em condições ideais de P e baixo N, do estudo. Não houve diferença entre os genótipos estudados tanto para os efeitos gênicos aditivos, como para os não aditivos.

Os autores infeririam que nenhum ganho será esperado para esse caractere caso haja alguma estratégia de melhoramento neste ambiente.

Tabela 4. Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos para os caracteres: dias para o florescimento masculino (FM, dias) e feminino (FF, dias), altura de planta (AP, cm) e espiga (AE, cm) e produtividade de grãos (PG), avaliados em 60 combinações híbridas (CH) e dez populações de base genética ampla (VPA) no ambiente alto N, nas safras de 2017/2018 e 2018/2019

Parâmetros	FM (dias) ^{1/}	FF (dias)	AP (cm)	AE (cm)	PG (kg ha ⁻¹)
Saфра 2017/2018					
$\hat{\sigma}_{CGC\ Hib.}^2$	1,33*	0,91*	64,43*	79,95*	760.639*
$\hat{\sigma}_{CGC\ Linh.}^2$	3,20*	3,95*	78,32*	65,70*	386.240*
$\hat{\sigma}_{CEC}^2$	0,63*	0,72*	18,20*	17,87*	286.062*
$\hat{\sigma}_{bloco}^2$	0,18	0,25	21,96	4,55	4,48x10 ⁻¹
$\hat{\sigma}^2$	2,14	1,88	63,74	61,88	1,30x10 ⁶
Méd. CH	66	66	225,31	124,35	10.456
Méd. VPA	70	70	212,52	121,24	6.842
Méd. Geral	68	68	218,92	122,80	8.649
CV%	2,15	2,02	3,65	6,41	13,19
Saфра 2018/2019					
$\hat{\sigma}_{CGC\ Hib.}^2$	2,19*	1,59*	27,41*	53,48*	975.045*
$\hat{\sigma}_{CGC\ Linh.}^2$	3,50*	5,73*	73,43*	79,74*	475.985*
$\hat{\sigma}_{CEC}^2$	0,44	0,18	5,97x10 ⁻⁵	11,52	1,60x10 ⁵
$\hat{\sigma}_{bloco}^2$	0,04	0,17	7,62x10 ¹	1,82x10 ¹	5,72x10 ⁵
$\hat{\sigma}^2$	2,85	1,29	1,37x10 ²	6,42x10 ¹	1,45x10 ⁶
Méd. CH	68	67	226,18	130,01	8.273
Méd. VPA	72	70	221,60	126,81	5.265
Méd. Geral	70	68	223,89	128,41	6.769
CV	2,41	1,66	5,23	6,24	17,80

^{1/}* - significativo à 5% pelo teste da razão de verossimilhança.

Shehzad e Yousaf (2019) utilizaram a razão entre CGC/CEC, em que se divide o valor obtido da estimativa da variância de CGC pelo valor obtido da estimativa da variância de CEC, para inferirem sobre a ação gênica envolvida no controle de um caractere em estudo. Dessa forma, os autores utilizaram a razão menor que um, para indicar a predominância de efeitos não aditivos no controle genético de um caractere. Eles observaram que para os caracteres tamanho de espiga e produtividade, a razão CGC/CEC foi menor que um, logo há a predominância de efeitos não aditivos no controle desses caracteres.

Ao realizarmos a razão CGC/CEC, pode-se observar que apenas para o caractere PG dos híbridos e linhagens no ambiente de baixo N na safra de 2017/2018 e das linhagens em

2018/2019, a razão foi menor que um (Tabela 5). Nesse caso, a razão indica que há predominância de efeitos não aditivos no controle desse caractere, nessas condições. Para todas as outras condições de PG e para todos os outros caracteres, pode-se observar razão maior que um, que está relacionada à predominância de efeitos aditivos sobre os efeitos não aditivos no controle genéticos dos caracteres.

Tabela 5. Estimativas da razão CGC/CEC para os caracteres: FM, FF, AP, AE e PG nos ambientes de baixo e alto N, nas safras de 2017/2018 e 2018/2019

Caracteres	2017/2018		2018/2019	
	BN	AN	BN	AN
	Híbridos			
FM	6,10	2,11	2,90	4,98
FF	7,38	1,26	-	8,83
AP	1,03	3,54	1,76	-
AE	6,84	4,47	26,07	4,64
PG	0,09	2,66	1,05	6,09
	Linhagens			
FM	17,86	5,08	13,59	7,95
FF	7,38	5,48	-	31,83
AP	5,97	4,30	17,67	-
AE	15,22	3,68	43,91	6,92
PG	0,57	1,35	0,91	2,97

Karim et al. (2018) estudaram a capacidade de combinação de sete linhagens de milho, obtendo 21 combinações híbridas. Foram avaliados FF, FM, AP, AE e PG em dois anos de experimentos. Para este estudo houve diferença significativa tanto para CGC quanto CEC para todos os caracteres observados. Em todos os caracteres, a razão CGC/CEC foi superior a um. Isso indica que para todos os caracteres avaliados pelos autores, houve predominância de efeitos aditivos no controle genéticos das mesmas. Resultados observados também por Malik et al. (2004) e Osuman et al. (2022).

Sobre as estimativas dos efeitos de CGC e CEC, analisou-se apenas aqueles caracteres em que houve diferença significativa apresentada anteriormente. Para os caracteres FF, FM, AP e AE, efeitos negativos e de maior magnitude são os de maior interesse para selecionar médias

mais baixas, que para esses caracteres são as de interesse. Nesses casos, o interesse do melhoramento são genótipos mais precoces e com baixa estatura. Pode se observar que para florescimento (FF e FM), a linhagem VML090 se destacou nas duas safras de experimentos, pois apresentou estimativa de CGC negativa e de maior magnitude entre as linhagens, para ambos os caracteres. Isso indica que esse genótipo possui alta frequência de alelos favoráveis que podem ser passados para seus descendentes, para reduzir a quantidade de dias para o florescimento dos mesmos. Da mesma forma, para AP e AE, as linhagens VML090 e VML121 foram as que se destacaram nas duas safras de experimento.

Em se tratando do grupo de híbridos, para florescimento, destacou-se os híbridos BAL188, DKB390 e GNZ7201, esses são os que possuem maior frequência de alelos favoráveis para precocidade, ideais para a utilização na formação de uma população composta, ou até mesmo como fontes, para dar origem a novas linhagens precoces. Para AP e AE, os híbridos que se destacaram foram: BAL188, BRS1060 e GNZ7201. Estes possuem efeitos de CGC negativos e de maior magnitude, comparados aos outros híbridos do grupo.

Para PG em baixo N, na safra de 2017/2018, apenas o grupo de linhagens apresentou diferença significativa para CGC. A linhagem VML090 se sobressaiu em relação a todas as outras do grupo, nas duas safras de estudo, destacando o potencial dessa linhagem como genitor e testador, para a obtenção de híbridos superiores. A linhagem VML184 apresentou estimativa de CGC positiva e de alta magnitude, o que é requerido para esse tipo de caractere, em que se deseja aumentar a média. Essa linhagem se destacou apenas na safra de 2017/2018, apresentando em 2018/2019 uma estimativa negativa. O que possivelmente pode indicar que em condições de estresse hídrico, devido ao regime de chuvas da safra 2018/2019, VML184 não contribua com alelos favoráveis para a produtividade de grãos. Para o grupo de híbridos, analisando-se apenas a safra de 2018/2019 em que a CGC foi significativa ($P < 0,05$), NS70, DKB390 e SHS4070 foram os que apresentaram as maiores estimativas positivas. São híbridos que possuem alta frequência de alelos favoráveis para PG e indicados para o uso na formação de novas populações base para extração de linhagens.

Para Shehzad e Yousaf (2019), a seleção de efeitos positivos ou negativos das capacidades de combinações, depende da estratégia de melhoramento do caractere estudado. Nesse estudo, os autores selecionaram efeitos negativos para os caracteres de florescimento, a fim de selecionar genótipos mais precoces. O oposto, seleção de efeitos de alta magnitude e positivos, foram feitos para a seleção de produtividade, em busca de genótipos favoráveis para esse caractere.

No ambiente com alto N, para os caracteres FF e FM, as linhagens VML090, VML121 e VML024 foram as que apresentaram efeitos de CGC negativos e de maior magnitude, em relação as outras linhagens do grupo, em ambas as safras de estudo. Já os híbridos BAL188 e GNZ7201 foram os destaques do grupo, para os caracteres FF e FM, nas duas safras de estudo. Para essa condição de ambiente, as linhagens podem ser selecionadas como genitoras de híbridos mais precoces e os híbridos são indicados para a formação de populações base com mesmo intuito. Para AP e AE, a linhagem VML090 se destacou em 2017/2018 e 2018/2019, enquanto VML024 e VML144 destacaram-se apenas na safra de 2018/2019. Os híbridos destaques para esses caracteres foram BAL188, BRS1060 e GNZ7201, tanto em 2017/2018 quanto em 2018/2019. Pode-se observar que para PG nesse ambiente, o comportamento das linhagens foi o mesmo do ambiente de baixo N, onde VML090 se destacou nas duas safras de estudo, e a VML184 apresentou uma boa estimativa apenas na safra de 2017/2018, ocorrendo o oposto em 2018/2019, como citado anteriormente, possivelmente devido ao estresse hídrico sofrido em 2018/2019.

Já para o grupo de híbridos, DKB390, NS70 e AG1051 apresentaram boa estimativa de CGC em ambas as safras para o caractere PG. Na safra de 2017/2018, o híbrido BM3061 também apresentou uma boa estimativa para esse caractere, assim como os híbridos citados anteriormente, porém apresentou uma estimativa negativa e de baixa magnitude em 2018/2019. O contrário ocorreu com GNZ7201, que apresentou uma boa estimativa de CGC em 2018/2019 e no ano anterior sua estimativa foi negativa e de alta magnitude. Essas diferenças de comportamento de um mesmo genótipo em ambientes e safras distintas, podem ser explicadas pela diferença da expressão gênica de um indivíduo quando submetido a diferentes ambientes (Tabela 6).

Tabela 6. Estimativas do efeito de CGC para os dez híbridos e seis linhagens utilizados como genitores dos caracteres significativos, em alto e baixo N, nas safras de 2017/2018 e 2018/2019

Genitores	2017/2018					2018/2019				
	FF	FM	AP	AE	PG	FF	FM	AP	AE	PG
	BN									
VML024	-0,63	0,73	-8,14	-2,04	-496,72	-0,90	-0,76	-4,76	2,83	52,18
VML048	0,83	-1,08	-2,45	-2,26	44,63	0,67	0,25	1,08	-3,67	-19,82
VML090	-2,54	-2,79	-7,30	-6,34	428,12	-1,92	-1,99	-4,62	-3,67	414,85
VML121	-0,38	-0,17	-0,50	-3,53	-129,15	-0,63	-0,79	-3,49	-4,01	1,29
VML144	0,62	1,11	-1,92	-4,30	-188,79	0,88	1,12	0,15	-1,88	-237,17
VML184	2,11	2,20	20,32	18,45	341,92	1,91	2,18	11,63	10,41	-211,33
AG1051	1,26	0,57	2,98	6,33	-	0,93	0,45	2,66	7,22	382,85
BAL188	-2,20	-1,88	-4,97	-9,54	-	-2,07	-2,19	-3,30	-8,08	-378,35
BG7049	1,07	0,75	-0,61	-1,88	-	0,42	0,49	-1,14	-1,21	-248,34
BM3061	0,36	0,50	5,92	5,01	-	0,62	-0,07	6,81	0,54	-10,03
BRS1060	-0,24	-0,11	-6,58	-9,75	-	0,27	0,20	-11,68	-9,02	-165,37
DKB390	-1,48	-1,22	3,49	1,43	-	-0,61	-0,58	0,70	1,83	173,75
GNZ7201	-0,95	-0,86	-5,09	-4,80	-	-1,02	-0,75	-4,17	-6,83	-91,85
NS70	1,24	1,53	-0,83	0,36	-	1,26	2,28	4,37	6,03	374,67
SHS4070	0,47	-0,68	5,27	7,84	-	-0,02	-0,50	6,24	9,51	128,73
XB8018	0,47	1,41	0,42	5,00	-	0,24	0,67	-0,50	0,03	-166,06
	AN									
VML024	-1,40	-1,03	-7,07	0,99	-365,82	-1,11	-0,24	-5,03	-0,56	-65,72
VML048	0,32	-0,21	0,56	-0,04	-117,92	0,75	-0,03	1,13	1,01	-79,87
VML090	-1,32	-1,70	-8,33	-8,49	652,18	-2,23	-1,74	-4,71	-8,28	995,39
VML121	-0,93	-0,78	1,81	-3,66	-633,48	-1,01	-0,46	0,36	-2,75	84,53
VML144	1,15	1,30	0,23	-2,83	64,33	1,39	0,32	-1,48	-6,12	-638,89
VML184	2,19	2,42	12,81	14,03	400,71	2,21	2,16	9,73	16,70	-295,44
AG1051	1,04	0,38	10,88	13,61	292,49	1,39	0,37	3,95	8,89	317,39
BAL188	-2,03	-1,61	-9,62	-12,84	-734,82	-2,52	-1,84	-1,95	-10,38	72,20
BG7049	0,90	0,88	-0,91	-0,52	293,58	1,27	1,02	0,53	-0,45	-1703,53
BM3061	-0,31	-0,06	4,18	1,08	782,79	-0,02	0,04	-2,07	-1,43	-3,11
BRS1060	0,06	0,06	-11,05	-11,94	-330,54	-0,05	-0,01	-8,11	-10,11	-553,28
DKB390	-0,41	-0,25	6,40	5,00	934,04	-1,43	-0,65	2,63	2,84	1156,64
GNZ7201	-1,27	-1,00	-5,20	-5,05	-995,89	-1,39	-1,24	-4,07	-5,52	566,09
NS70	0,74	0,98	0,39	0,51	574,46	1,26	2,27	3,92	6,83	650,56
SHS4070	0,47	-0,10	6,42	9,51	-217,13	0,94	-0,05	4,31	6,91	-338,64
XB8018	0,82	0,73	-1,50	0,64	-599,00	0,56	0,09	0,86	2,42	-164,32

Os efeitos estimados de CEC estão relacionados a medidas dos efeitos gênicos não-aditivos no controle dos caracteres e representa um efeito na expressão da combinação híbrida que é adicional aos efeitos de CGC (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012). Quanto maior a magnitude do efeito de CEC de uma CH, possivelmente maior será a divergência genética entre

seus genitores (RODOVALHO et al., 2011). Da mesma forma, procura-se selecionar estimativas positivas para aqueles caracteres que se deseja prover um aumento de média e, efeitos negativos para aqueles em que a seleção é realizada na diminuição da média. No presente estudo, tratou-se de CH's provindas de um cruzamento em que um genitor foi uma linhagem endogâmica e outro genitor um híbrido comercial de milho. Com isso, o efeito de CEC encontrado pode nos fornecer informações para a seleção de um ou mais híbridos que podem ser utilizados para a extração de novas linhagens que, posteriormente, quando cruzadas com as linhagens selecionadas nesse estudo, possivelmente fornecerão novos híbridos superiores. Devido à capacidade específica de combinação, de divergência genética entre a população em que foi extraída a nova linhagem e a linhagem já testada e selecionada no estudo.

Analisou-se a estimativa do efeito de CEC da produtividade de grãos, em baixo N, na safra 2017/2018, caractere de maior importância do estudo e que apresentou diferença significativa ($P < 0,05$) (Tabela 7). Podemos destacar as combinações híbridas provenientes dos cruzamentos entre os genitores BG7049xVML121; BG7049xVML090; DKB390xVML184 e DKB390xVML048, foram as que apresentaram estimativas de CEC positivas e de maior magnitude. Isso significa a possibilidade de extração de linhagens desses híbridos comerciais, que posteriormente terão boa combinação com as respectivas linhagens do programa, darão origem a híbridos superiores para produtividade em condições de baixo N.

As estimativas do efeito de CEC no ambiente de alto N, foi significativa ($P < 0,05$) para todos os caracteres estudados, apenas na safra 2017/2018 (Tabela 7). Para essa condição de ambiente nesse ano, destacou-se o cruzamento entre os genitores DKB390xVML184; GNZ7201xVML144 e NS70xVML121 para PG. O cruzamento entre GNZ7201xVML048 se destaca pelo fato de apresentar estimativas negativas para todos os caracteres que se deseja reduzir a média (FF, FM, AP e AE) e estimativa positiva para aquele caractere (PG) que se deseja aumentar a média. É recomendado selecionar CH's que possuam efeitos de CEC favorável e com pelo menos um dos genitores com boa estimativa de CGC.

Tabela 7. Estimativas dos efeitos de CEC para o caractere PG das 60 combinações híbridas na safra de 2017/2018.

Hibrido/Linhagem	VML024	VML048	VML090	VML121	VML144	VML184	VML024	VML048	VML090	VML121	VML144	VML184
	Alto N						Baixo N					
AG1051	114,25	237,16	132,58	0,00	-440,99	67,55	98,08	-272,70	319,60	0,00	-819,24	329,04
BAL188	-722,40	-201,67	3,17	228,44	523,18	-108,45	-73,02	320,29	147,30	-69,72	111,60	-287,90
BG7049	158,15	-71,51	176,29	-251,44	-6,52	105,98	-233,94	-61,91	626,67	722,69	-178,69	46,28
BM3061	318,80	-358,71	-12,21	89,04	-80,29	339,21	-190,51	167,28	-70,98	-476,92	-24,93	40,23
BRS1060	-322,20	-114,58	208,35	-171,50	127,32	147,68	469,84	-512,79	257,42	-251,48	-110,25	169,19
DKB390	-27,20	245,97	-472,48	79,15	-199,47	727,04	-313,15	509,25	124,79	120,33	381,62	605,91
GNZ7201	-268,40	246,74	110,35	-538,66	544,50	-470,91	184,64	-276,32	14,115	-139,15	-58,06	-890,90
NS70	0,00	-100,67	-79,74	422,27	135,98	-160,72	-495,55	97,52	-177,21	302,27	-32,03	217,07
SHS4070	175,35	197,87	54,62	-94,04	-62,66	-353,21	-135,63	47,79	-127,34	-289,68	260,59	370,54
XB8018	305,07	-167,16	-228,33	-228,33	-493,82	-353,21	-181,64	59,83	-363,83	-144,78	138,36	0,00

7. CONCLUSÃO

A linhagem VML090 possui alta frequência de alelos favoráveis, tanto em condições de baixo quanto em alto N, para todos os caracteres em estudo.

O híbrido DKB390 e NS70 tem potencial para extração de linhagens superiores, devido sua alta frequência de alelos favoráveis para precocidade e produtividade de grãos em baixo e alto N.

O híbrido BG7049 tem potencial para extração de linhagens que possivelmente proverá híbridos superiores quando cruzadas com a linhagem VML090, devido a alta magnitude de CEC da CH provida do cruzamento de ambos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABE, Ayodeji *et al.* Performance of tropical maize hybrids under conditions of low and optimum levels of nitrogen fertilizer application - Grain yield, biomass production and nitrogen accumulation. **Maydica**, [s. l.], v. 58, n. 2, p. 141–150, 2013.

AMORIM, Edson Perito; SOUZA, João Cândido. HÍBRIDOS DE MILHO INTER E INTRAPOPULACIONAIS OBTIDOS A PARTIR DE POPULAÇÕES S0 DE HÍBRIDOS SIMPLES COMERCIAIS. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 3, p. 561–567, 2005.

BALIGAR, V. C.; N. K. FAGERIA, N. K.; HE, Z. L. Nutrient Use Efficiency in Plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, [s. l.], v. 32, n. 7–8, p. 921–950, 2001.

BARROS, José F. C.; CALADO, José G. **A Cultura do Milho**. Évora: Departamento de Fitotecnia, 2014.

BUTLER, D. G. *et al.* **ASReml-R Reference Manual Version 4**. Hemel Hempsted, HP1 1ES, UK: VSN International Ltd, 2018.

CANTARELLA, Heitor. Nitrogênio. *In*: NOVAIS, Roberto Ferreira *et al.* (org.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2007. p. 1017.

COELHO, Antônio Marcos. Nutrição e adubação do milho. **Circular Técnica 78**, Sete Lagoas, MG, p. 10, 2006.

COMSTOCK, R E; ROBINSON, H F. The Components of Genetic Variance in Populations of Biparental Progenies and Their Use in Estimating the Average Degree of Dominance. **International Biometric Society**, [s. l.], v. 4, n. 4, p. 254–266, 1948.

CONAB. **ACOMPANHAMENTO SAFRA BRASILEIRA**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 30 abr. 2024.

CRUZ, Cosme Damião; REGAZZI, Adair José; CARNEIRO, Pedro Crescêncio Souza; **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**. 4. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2012.

DOVALE, Júlio César *et al.* Efeitos gênicos de caracteres associados à eficiência no uso de nitrogênio em milho. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, [s. l.], v. 47, n. 3, p. 385–392, 2012.

DUARTE, Jason de Oliveira; MATTOSO, Marcos Joaquim; GARCIA, João Carlos. **Importância Socioeconômica**. [S. l.], 2006. Disponível em:

http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_8_168200511157.html. Acesso em: 15 fev. 2019.

EMBRAPA. Sementes de Milho no Brasil – A Dominância dos Transgênicos Sementes de Milho no Brasil – A Dominância dos Transgênicos. **Documentos 223**, [s. l.], p. 13, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo/publicacoes>.

FASAHAT, Parviz. Principles and Utilization of Combining Ability in Plant Breeding. **Biometrics & Biostatistics International Journal**, [s. l.], v. 4, n. 1, 2016.

FERNANDES, Flávia Carvalho Silva *et al.* Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [s. l.], v. 4, n. 2, p. 195–2004, 2005.

FERREIRA, Eliel Alves; PATERNIANI, Maria Elisa Ayres Guidetti Zagatto; DA COSTA SANTOS, Fernanda Motta. Potencial de híbridos comerciais de milho para obtenção de linhagens em programas de melhoramento. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [s. l.], v. 40, n. 3, p. 304–311, 2010.

GALVÃO, João Carlos Cardoso; BORÉM, Aluízio; PIMENTEL, Marco Aurélio. **Milho do Plantio à Colheita**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2015.

GUIMARÃES, Lauro José Moreira *et al.* Desenvolvimento de Linhagens. In: BORÉM, Aluízio; DELIMA, Rodrigo Oliveira (org.). **Melhoramento de Milho**. Viçosa: Ed. UFV, 2018. v. 1, p. 396.

IMRAN MALIK, Saad *et al.* General and Specific Combining Ability Studies in Maize Diallel Crosses. [s. l.], Disponível em: <http://www.ijab.org>. Acesso em: 28 out. 2023.

KARIM, Anms *et al.* Combining ability and heterosis study in maize (*Zea mays* L.) Hybrids at different environments in Bangladesh. **Article in Bangladesh Journal of Agricultural Research**, [s. l.], 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/324093323>. Acesso em: 28 out. 2023.

KIST, Benno Bernardo; SANTOS, Cleiton Evandro dos; BELING, Romar Rudolfo. **Anuário Brasileiro do milho 2016**. Santa Cruz do Sul: [s. n.], 2016.

LIMA, Max Wendel Paula; SOUZA, Elaine Aparecida; RAMALHO, Magno Antonio Patto. PROCEDIMENTO PARA ESCOLHA DE POPULAÇÕES DE MILHO PROMISSORAS PARA EXTRAÇÃO DE LINHAGENS. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 153–158, 2000.

LOPES, Luiz Fernando; SANTOS, Maria do Socorro Mascarenhas; BATISTOTE, Margareth. A PRODUTIVIDADE DE MILHO NO BRASIL E AVALIAÇÃO DO

TRATAMENTO GRANULOMÉTRICO PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL. **DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 107–116, 2022. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/desafios/article/view/11103>. Acesso em: 6 maio 2023.

MAKUMBI, Dan *et al.* Combining ability, heterosis and genetic diversity in tropical maize (*Zea mays* L.) under stress and non-stress conditions. **Euphytica**, [s. l.], v. 180, n. 2, p. 143–162, 2011.

MALIK, Muhammad Ammar; MICHOEL, Tom. Restricted maximum-likelihood method for learning latent variance components in gene expression data with known and unknown confounders. **G3 Genes|Genomes|Genetics**, [s. l.], v. 12, n. 2, 2022. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1093/g3journal/jkab410>. Acesso em: 13 mar. 2024.

MOLL, R H; KAMPRATH, E J; JACKSON, W A. Analysis and Interpretation of Factors Which Contribute to Efficiency of Nitrogen Utilization1. **Agronomy Journal**, [s. l.], v. 74, n. 3, p. 562, 1982. Disponível em: <https://www.agronomy.org/publications/aj/abstracts/74/3/AJ0740030562>.

MUNDIM, Gabriel Borges; RODRIGUES, Mateus Cupertino; DELIMA, Rodrigo Oliveira. Melhoramento para Estresse Abióticos. *In*: DELIMA, Rodrigo Oliveira; BORÉM, Aluázio (org.). **Melhoramento de Milho**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2018. p. 396.

NDUWUMUREMYI, Athanase; TONGOONA, Pangirayi; HABIMANA, Slyvestre. MATING DESIGNS: HELPFUL TOOL FOR QUANTITATIVE PLANT BREEDING ANALYSIS. **Journal of Plant Breeding and Genetics**, [s. l.], v. 01, n. 03, 2013. Disponível em: <http://www.escijournals.net/JPBG>.

OLIBONI, Rodrigo *et al.* Análise dialélica na avaliação do potencial de híbridos de milho para a geração de populações- base para obtenção de linhagens. **Semina: Ciências Agrárias**, [s. l.], v. 34, n. 1, p. 7–18, 2013.

OLIVEIRA, Thaísa Fernanda *et al.* EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE MACRONUTRIENTES EM LAVOURAS DE MILHO DE ALTA PRODUTIVIDADE. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 837–854, 2019. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/6092>. Acesso em: 6 maio 2023.

OSUMAN, Alimatu Sadia *et al.* Combining Ability and Heterotic Patterns of Tropical Early-Maturing Maize Inbred Lines under Individual and Combined Heat and Drought Environments. **Plants**, [s. l.], v. 11, n. 10, 2022.

PAES. Aspectos Físicos, Químicos e Tecnológicos do Grão de Milho. *In:* , 2008, Sete Lagoas, MG. **A Cultura do Milho**. Sete Lagoas, MG: Embrapa, 2008. p. 47–60.

RODOVALHO, Marcos de Araújo *et al.* COMPARAÇÃO DE TESTADORES EM FAMÍLIAS S 2 OBTIDAS DO HÍBRIDO SIMPLES DE MILHO-PIPOCA IAC-112 COMPARISON OF TESTERS IN S 2 FAMILIES OBTAINED FROM THE POPCORN SINGLE HYBRID “IAC-112”. **Biosci. J.**, [s. l.], v. 28, n. 2, p. 145–154, 2011.

RODRIGUES, M. C. *et al.* Genotypic variation and relationships among nitrogen-use efficiency and agronomic traits in tropical maize inbred lines. **Genetics and Molecular Research**, [s. l.], v. 16, n. 3, 2017.

SAKRAN, Raghda M. *et al.* Molecular Genetic Diversity and Combining Ability for Some Physiological and Agronomic Traits in Rice under Well-Watered and Water-Deficit Conditions. **Plants**, [s. l.], v. 11, n. 5, p. 702, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/5/702/html>. Acesso em: 13 maio 2023.

SHEHZAD, Amar; YOUSAF, Muhammad Irfan. GENETIC ANALYSIS AND COMBINING ABILITY STUDIES FOR MORPHO-PHENOLOGICAL AND GRAIN YIELD TRAITS IN SPRING MAIZE (ZEA MAYS L.). **International Journal of Biology and Biotechnology**, [s. l.], 2019. Disponível em: <https://sites.google.com/site/tnaustat/plant-breeding-heterosis>.

SOUZA, João Cândido. Cultivares. *In:* BOREM, Aluizio; DELIMA, Rodrigo Oliveira (org.). **Melhoramento de Milho**. Viçosa: Ed. UFV, 2018. v. 1, p. 396.

SOUZA, Vagno De *et al.* Inter-relações de nitrogênio e fósforo na capacidade de combinação e. **Revista Ceres**, [s. l.], v. 57, n. 5, p. 633–641, 2010.

SPRAGUE, G F; TATUM, Loyd A. GENERAL VS. SPECIFIC COMBINING ABILITY IN SINGLE CROSSES OF CORN. **Journal Of The American Society Of Agronomy**, [s. l.], p. 923–932, 1942.

USDA. **World Agricultural Supply and Demand Estimates**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde>. Acesso em: 30 abr. 2024.

XU, Guohua; FAN, Xiaorong; MILLER, Anthony J. Plant Nitrogen Assimilation and Use Efficiency. **Annual Review of Plant Biology**, [s. l.], v. 63, n. 1, p. 153–182, 2012. Disponível em: <http://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-arplant-042811-105532>.

ZHANG, Runyang *et al.* Comprehensive utilization of corn starch processing by-products: A review. **Grain & Oil Science and Technology**, [s. l.], v. 4, n. 3, p. 89–107, 2021. Disponível em: Acesso em: 3 maio 2023.

ZUFFO, Leandro Tonello. **Avaliação de híbridos comerciais de milho para caracteres agronômicos e eficiência na utilização de nitrogênio**. 2016. 32 f. - Universidade Federal de Viçosa, [s. l.], 2016.

9. ANEXOS

Anexo 1. Estimativas dos efeitos de CEC para os caracteres FF, FM, AP e AE, das 60 combinações híbridas em alto N, na safra de 2017/2018

Comb. Híbridas	FF	FM	AP	AE
AG1051xVML024	0,16	-0,02	2,33	-0,47
AG1051xVML048	-0,26	-0,08	0,58	0,07
AG1051xVML144	-0,49	-0,52	0,52	-0,77
AG1051xVML121	0,00	0,00	0,00	0,00
AG1051xVML184	0,27	0,35	1,16	4,44
AG1051xVML090	0,82	0,56	-1,53	-0,22
BAL188xVML024	0,08	0,01	-0,72	-2,76
BAL188xVML048	-0,57	-0,77	-4,79	-3,81
BAL188xVML144	-1,15	-1,43	1,77	1,82
BAL188xVML121	-0,13	0,04	-1,49	-0,91
BAL188xVML184	1,04	1,00	1,54	1,58
BAL188xVML090	-0,22	-0,14	0,99	1,20
BG7049xVML024	-0,12	-0,16	2,56	3,50
BG7049xVML048	0,27	0,08	0,74	-2,93
BG7049xVML144	-0,11	-0,08	-1,52	-0,12
BG7049xVML121	0,73	0,93	-0,76	1,36
BG7049xVML184	0,16	0,13	-1,08	2,28
BG7049xVML090	-0,50	-0,19	-0,20	-4,21
BM3061xVML024	-0,29	-0,10	-1,81	-0,09
BM3061xVML048	0,70	1,33	3,10	4,46
BM3061xVML144	0,41	0,43	1,79	-0,48
BM3061xVML121	-0,84	-0,97	-0,23	-1,95
BM3061xVML184	-0,05	-0,19	-2,01	-1,86
BM3061xVML090	-0,08	-0,54	0,34	0,16
BRS1060xVML024	0,28	0,22	-1,93	-1,23
BRS1060xVML048	0,17	0,09	-5,82	-2,30
BRS1060xVML144	-0,20	-0,13	-2,54	-2,67
BRS1060xVML121	-0,11	-0,07	1,69	3,06
BRS1060xVML184	-0,12	-0,08	5,11	4,05
BRS1060xVML090	0,01	0,02	0,37	-3,58
DKB390xVML024	-0,35	-0,21	-3,07	-1,29
DKB390xVML048	-0,86	-0,98	1,63	-2,00
DKB390xVML144	0,51	0,54	0,99	1,51
DKB390xVML121	-0,18	-0,21	-0,29	-1,12
DKB390xVML184	0,01	-0,06	3,82	1,42
DKB390xVML090	0,67	0,72	-1,28	2,60
GNZ7201xVML024	-0,23	-0,43	-0,64	0,28
GNZ7201xVML048	-0,63	-0,48	-1,37	-0,88
GNZ7201xVML144	0,90	0,42	0,65	1,73
GNZ7201xVML121	-0,44	-0,22	-1,16	0,13
GNZ7201xVML184	-0,18	-0,29	-1,79	-5,17

Anexo 1. Continuação...

GNZ7201xVML090	-0,02	0,21	2,84	2,77
NS70xVML024	0,00	0,00	0,00	0,00
NS70xVML048	0,33	0,64	-1,35	-1,32
NS70xVML144	0,28	0,29	0,39	3,78
NS70xVML121	0,44	0,46	0,72	-0,32
NS70xVML184	-0,92	-1,06	1,81	-0,70
NS70xVML090	0,21	0,44	-1,47	-1,33
SHS4070xVML024	-0,16	0,11	2,14	1,71
SHS4070xVML048	0,32	-0,66	5,84	5,48
SHS4070xVML144	0,01	0,43	2,93	0,09
SHS4070xVML121	0,12	-0,13	0,72	-0,65
SHS4070xVML184	0,23	0,65	-5,57	-2,22
SHS4070xVML090	-0,29	-0,47	-4,25	-2,29
XB8018xVML024	0,36	0,39	-0,51	0,62
XB8018xVML048	0,60	0,78	1,56	3,21
XB8018xVML144	0,08	0,29	-4,92	-5,65
XB8018xVML121	0,22	0,04	1,22	-0,60
XB8018xVML090	-0,86	-0,92	2,23	2,56

Anexo 2. Estimativas dos efeitos de CEC dos caracteres FF, AP e PG, para 60 combinações híbridas em baixo N, nas safras de 2017/2018 e 2018/2019

Comb. Híbridas	2017/2018	2018/2019
	AP	FF
AG1051xVML024	4,36	0,12
AG1051xVML048	-0,66	0,34
AG1051xVML144	-2,74	-0,22
AG1051xVML121	0,00	0,32
AG1051xVML184	2,05	-0,24
AG1051xVML090	-0,11	-0,01
BAL188xVML024	3,13	-0,42
BAL188xVML048	-2,24	0,23
BAL188xVML144	-4,24	0,09
BAL188xVML121	-0,32	-0,18
BAL188xVML184	-4,28	0,01
BAL188xVML090	3,13	-0,43
BG7049xVML024	-1,94	0,92
BG7049xVML048	-1,21	-0,59
BG7049xVML144	-0,99	-0,39
BG7049xVML121	1,77	-0,14
BG7049xVML184	1,00	0,453
BG7049xVML090	0,78	-0,10
BM3061xVML024	2,44	0,16
BM3061xVML048	2,47	-0,99
BM3061xVML144	0,20	0,02
BM3061xVML121	-7,54	0,22
BM3061xVML184	2,15	0,79
BM3061xVML090	6,02	0,01
BRS1060xVML024	3,26	0,15
BRS1060xVML048	-5,85	0,64
BRS1060xVML144	-4,39	-0,10
BRS1060xVML121	-1,04	-0,58
BRS1060xVML184	4,29	-0,42
BRS1060xVML090	-2,65	0,39
DKB390xVML024	-2,14	-0,53
DKB390xVML048	3,29	0,47
DKB390xVML144	3,86	0,29
DKB390xVML121	0,01	-0,38
DKB390xVML184	0,37	-0,16
DKB390xVML090	-2,00	0,10
GNZ7201xVML024	-1,90	0,00
GNZ7201xVML048	-1,60	0,04
GNZ7201xVML144	-1,10	0,11
GNZ7201xVML121	-1,30	-0,17
GNZ7201xVML184	-0,10	-0,16
GNZ7201xVML090	1,20	-0,17
NS70xVML024	-3,00	0,00

Anexo 2. Continuação...

NS70xVML048	-2,40	0,15
NS70xVML144	5,18	0,51
NS70xVML121	3,35	0,056
NS70xVML184	1,96	-0,33
NS70xVML090	-5,90	0,037
SHS4070xVML024	-1,00	-0,21
SHS4070xVML048	4,06	0,312
SHS4070xVML144	5,25	-0,15
SHS4070xVML121	0,76	0,295
SHS4070xVML184	-4,00	0,211
SHS4070xVML090	0,06	-0,47
XB8018xVML024	-4,60	-0,26
XB8018xVML048	3,76	-0,55
XB8018xVML144	-1,30	-0,10
XB8018xVML121	4,24	0,52
XB8018xVML090	-1,70	0,47
