



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE GURUPI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

DANILO ALVES PORTO DA SILVA LOPES

**ANÁLISE DIALELICA DE LINHAGENS DE MILHO-DOCE EM *TOPCROSSES*
COM TESTADORES DE MILHO COMUM E MILHO-DOCE**

Gurupi, TO

2024

Danilo Alves Porto da Silva Lopes

**Análise dialéctica de linhagens de milho-doce em *topcrosses* com testadores de milho
comum e milho-doce**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em
Produção Vegetal da Universidade Federal do Tocantins
(UFT), como requisito à obtenção do grau de Doutor em
Produção Vegetal.

Orientador: Dr. Ildon Rodrigues do Nascimento

Gurupi, TO

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- L864a Lopes, Danilo Alves Porto da Silva.
 Análise dialética de linhagens de milho-doce em topcrosses com
 testadores de milho comum e milho-doce. / Danilo Alves Porto da Silva
 Lopes. – Gurupi, TO, 2024.
 79 f.
- Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus
 Universitário de Gurupi - Curso de Pós-Graduação (Doutorado) em Produção
 Vegetal, 2024.
 Orientador: Ildon Rodrigues do Nascimento
1. Capacidade combinatória. 2. Dialeto. 3. Pós-colheita. 4. Zea mays. I.
 Título

CDD 635

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da
UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

DANILO ALVES PORTO DA SILVA LOPES

ANÁLISE DIALELICA DE LINHAGENS DE MILHO-DOCE EM *TOPCROSSES* COM
TESTADORES DE MILHO COMUM E MILHO-DOCE

Tese apresentada à (UFT) – Universidade Federal do Tocantins – Campus universitário de Gurupi, Curso de Doutorado em Produção Vegetal, foi avaliado para a obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela banca examinadora.

Data de aprovação ___/___/___

Banca examinadora:

Prof. Dr. Ildon Rodrigues do Nascimento
Orientador
Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Noé Mitterhofer Eiterer Ponce De Leon Da Costa
Examinador
Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dra. Francielly Quitéria Guimarães Alves
Examinadora
Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae)

Prof. Dr. Luziano Lopes da Silva
Examinador
Universidade Federal do Tocantins

Pesquisador Dr.
Inocência Junior de Oliveira
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

À minha família, por todo o apoio concedido a mim. Mãe, seu cuidado e dedicação foi que me deram a esperança para seguir. Pai, seu auxílio significou segurança e certeza de que nunca estive sozinho nessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS por ter me concedido paciência, sabedoria, saúde e forças durante essa caminhada.

A minha mãe, Marisa Porto da Silva Lopes e ao meu Pai Joel Alves Lopes, pelo amor, criação, incentivo e apoio incondicional nas horas mais difíceis, sem vocês eu não teria me tornado a pessoa que sou hoje e não teria chegado aonde cheguei.

À minha namorada Ana Beatriz Carvalho Silva, pela compreensão, companheirismo, incentivo, sugestões e apoio nos momentos mais difíceis.

A todas as pessoas que Deus colocou ao longo da minha caminhada acadêmica, pela ajuda e gentileza em todos os momentos necessários.

Ao professor Ildon Rodrigues do Nascimento pela paciência em me passar seus ensinamentos durante esse período de orientação e amizade.

Ao Professor Dsc. Luziano Lopes da Silva pelo respeito, amizade, companheirismo e por aceitar o convite para fazer parte dessa banca examinadora.

À Professora Dsc. Francielly Quitéria Guimarães Alves, por ter acompanhado de perto esta trajetória, e ter aceitado o convite em fazer parte da banca examinadora.

Ao Professor Dsc. Noé Mitterhofer Eiterer Ponce De Leon Da Costa pelo respeito, companheirismo e por aceitar o convite para fazer parte dessa banca examinadora, e contribuir para o trabalho.

Ao Pesquisador Dsc. Inocêncio Junior de Oliveira por aceitar o convite para fazer parte dessa banca examinadora, e contribuir para o trabalho.

Ao pesquisador Prof.º Dr. Marcos Ventura Faria (UNICENTRO) por todo o apoio no fornecimento de materiais e demais contribuições durante essa pesquisa.

À Universidade Federal do Tocantins (UFT), e ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Câmpus Universitário de Gurupi, pela oportunidade de realização do curso de Doutorado.

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudos, sem a qual não seria possível a conclusão deste doutorado.

À UFT pelas instalações, aos auxiliares de laboratórios, de campo e todos os demais colaboradores.

Ao grupo de pesquisa NeoTROP (Núcleo de Estudos em Olericultura Tropical) pela força e toda a ajuda e que colaboraram bastante para a conclusão dessa dissertação e em especial ao meu orientador professor Dsc. Ildon Rodrigues do Nascimento, por desde a graduação ter

sido paciente para comigo passar os seus ensinamentos e ter colaborado de forma direta para fomentar a minha formação humana e profissional, vi em sua imagem a figura de um irmão mais velho ou até mesmo um pai. A todos os professores da PPG-PV Campos de Gurupi.

A todos os componentes da banca examinadora.

O meu muito obrigado a todos!

RESUMO

Dentre os fatores que interferem no desempenho e conseqüentemente nos caracteres quantitativos e qualitativos está a escolha dos genitores. Para isso, a realização de estudos genéticos, como análise dialélica é ferramenta imprescindível. O objetivo do estudo foi avaliar a eficiência da análise dialélica de linhagens de milho-doce em *topcrosses* com testadores de milho comum e milho-doce, considerando tanto características agronômicas quanto aspectos pós-colheita em condições de cerrado. Para isso foram instalados dois experimentos. No primeiro experimento avaliou-se o desempenho de híbridos como testadores da capacidade combinatória de linhagens de milho-doce para condições de cerrado para características agronômicas. No segundo experimento avaliou-se o efeito testador de híbridos como testadores da capacidade combinatória de linhagens de milho-doce para condições de cerrado para características pós-colheita. O testador AG 1051 é apresenta melhores médias de CGC para caracteres agronômicos, enquanto o testador FT 2015 apresenta melhores médias de CGC para caracteres pós-colheita. Os testadores utilizados foram capazes de discriminar a variabilidade entre as progênies. Foram identificadas progênies promissoras para a produtividade de espigas e teores de sólidos solúveis (°brix).

Palavras-chaves: Capacidade combinatória. Dialélico. Pós-colheita. Produtividade. *Zea mays* L.

ABSTRACT

Among the factors that affect performance and consequently quantitative and qualitative characteristics is the choice of parents. To achieve this, carrying out genetic studies is an essential tool. Therefore, diallel analysis identifies those most capable of transmitting desirable characters to offspring and the most promising indices. The aim of the work was to evaluate the diallel analysis of sweet corn lines in topcrosses with common corn and sweet corn testers. For this, two experiments were installed. In the first experiment, the performance of hybrids was evaluated as tests of the combinatorial capacity of sweet corn lines for savannah conditions for agronomic characteristics. In the second experiment, the testing effect of hybrids was evaluated as tests of the combinatorial capacity of sweet corn lines for savannah conditions for post-harvest characteristics. The AG 1051 tester has the best CGC averages for agronomic traits, while the FT 2015 tester has the best CGC averages for post-harvest traits. The testers used were able to discriminate the variability between the progenies. Promising progenies were identified for ear yield and soluble solids content (°brix).

Key-words: Combinatorial capacity. Diallel. Post-harvest. Productivity. *Zea mays* L.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

CAPÍTULO I

- Figura 1 - Temperatura média, umidade relativa média e precipitação média do local de cultivo durante o período de realização dos experimentos. UFT campus de Gurupi, 2019, 2020.....29
- Figura 2 - Estimativas da capacidade geral (g_i e g_j) e específica (s_{ij}) de combinação para peso médio de espiga comerciais sem palha (Pesp) em híbridos de um *topcross* de dois testadores com linhagens elite de milho-doce. Gurupi-TO, 2019, 2020.....35
- Figura 3 - Estimativas da capacidade geral (g_i e g_j) e específica (s_{ij}) de combinação para produtividade médio de espiga comerciais sem palha (PRODSP) em híbridos de um *topcross* de dois testadores com linhagens elite de milho-doce. Gurupi-TO, 2019, 2020.....38
- Figura 4 - Estimativas da capacidade geral (g_i e g_j) e específica (s_{ij}) de combinação para comprimento médio de espiga comerciais sem palha (COMPS) em híbridos de milho-verde e milho-doce. Gurupi-TO, 2019, 2020.....41
- Figura 5 - Estimativas da capacidade geral (g_i e g_j) e específica (s_{ij}) de combinação para diâmetro médio de espiga comerciais sem palha (DIAMSP) em híbridos de milho-verde e milho-doce. Gurupi-TO, 2019, 2020.....44

CAPÍTULO II

- Figura 1 - Estimativas da capacidade geral (g_i e g_j) e específica (s_{ij}) de combinação para °brix cru de espigas comerciais sem palha em híbridos F_1 's de milho-verde e milho-doce. Gurupi-TO, 2019, 2020.....57
- Figura 2 - Estimativas da capacidade geral (g_i e g_j) e específica (s_{ij}) de combinação para °brix cozido de espigas comerciais sem palha em híbridos F_1 's de milho-verde e milho-doce. Gurupi-TO, 2019, 2020.....60

Figura 3 - Estimativas da capacidade geral (g_i e g_j) e específica (s_{ij}) de combinação para pH cru de espigas comerciais sem palha em híbridos F_1 's de milho-verde e milho-doce. Gurupi-TO, 2019, 2020.....63

Figura 4 - Estimativas da capacidade geral (g_i e g_j) e específica (s_{ij}) de combinação para pH cozido de espigas comerciais sem palha em híbridos F_1 's de milho-verde e milho-doce. Gurupi-TO, 2019, 2020.....65

Figura 5 - Estimativas da capacidade geral (g_i e g_j) e específica (s_{ij}) de combinação para perda de peso de espigas comerciais sem palha em híbridos de milho-verde e milho-doce da primeira (gráfico superior) e segunda (gráfico inferior) época. Gurupi-TO, 2019, 2020.....67

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1 - Resumo da análise da variância das características peso médio de espigas comerciais sem palha (Pecsp em gramas), produtividade média de espigas comerciais sem palha (Prodsp em t ha⁻¹), comprimento e diâmetro médio de espigas comerciais sem palha (Compasp em cm e Diamsp em mm) de genótipos oriundos do cruzamento dialélico de linhagens de milho-doce com cultivares comerciais de milho-verde. UFT-Gurupi, 2019 e 2020 33

Tabela 2 - Médias para a característica peso médio (g) de espiga comerciais sem palha (Pecsp) em função dos genótipos. UFT-Gurupi, 2019, 2020..... 34

Tabela 3 - Médias para a característica produtividade média (t ha⁻¹) de espigas comerciais sem palha (PRODSP). UFT-Gurupi, 2019, 2020.....37

Tabela 4 - Médias para a característica comprimento (cm) médio de espiga comerciais sem palha (COMPSP). UFT-Gurupi, 2019, 2020.....40

Tabela 5 - Médias de diâmetro (mm) médio de espiga comerciais sem palha (Diamsp). UFT-Gurupi-TO, 2019, 2020.....43

CAPÍTULO II

Tabela 1 - Resumo da análise da variância das características teor de sólidos solúveis (°brix) cru e cozido e pH cru e cozido de genótipos oriundos do cruzamento dialélico de linhagens de milho-doce com cultivares comerciais de milho-verde. UFT-Gurupi, 2019 e 2020.....55

Tabela 2 - Médias para a característica °brix cru de espigas comerciais sem palha. UFT-Gurupi, 2019, 2020.....56

Tabela 3 - Médias para a característica teor de sólidos solúveis (°brix) cozido de espigas comerciais sem palha. UFT-Gurupi, 2019, 2020.....59

Tabela 4 - Médias para a característica pH cru de espigas comerciais sem palha. UFT-Gurupi, 2019, 2020.....62

Tabela 5 - Médias para a característica pH cozido de espigas comerciais sem palha. UFT-Gurupi, 2019, 2020.....	64
Tabela 6 - Resumo da análise da variância da perda de peso (%) de genótipos oriundos do cruzamento dialélico de linhagens de milho-doce com cultivares comerciais de milho-verde. UFT-Gurupi, 2019 e 2020.....	66

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 Importância e aspectos gerais da cultura do milho	17
2.2 Tipos de Milho	18
2.3 Análise dialéctica	20
CAPÍTULO I HÍBRIDOS COMO TESTADORES DA CAPACIDADE COMBINATÓRIA DE LINHAGENS DE MILHO-DOCE PARA CONDIÇÕES DE CERRADO	25
RESUMO	25
ABSTRACT	26
1 INTRODUÇÃO	27
2 MATERIAL E MÉTODOS	29
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4 CONCLUSÕES	46
REFERÊNCIAS	47
CAPÍTULO II EFEITO TESTADOR DE HÍBRIDOS DE MILHO-VERDE E MILHO- DOCE EM LINHAGENS DE MILHO-DOCE PARA CARACTERES DE PÓS- COLHEITA	49
RESUMO	49
ABSTRACT	50
1 INTRODUÇÃO	51
2 MATERIAL E MÉTODOS	53
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
4 CONCLUSÕES	69
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
REFERÊNCIAS	71
APÊNDICE	74

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea Mays* L.) é o cereal mais importante cultivado no mundo devido a sua diversidade de uso e potencial produtivo. Um dos fatores mais determinantes para a qualidade e produtividade dessa cultura é a escolha do genótipo a ser utilizado na obtenção das cultivares (SCHILS et al., 2020).

Os genótipos de milho podem ser classificados em híbridos ou variedades, sendo os híbridos subdivididos em simples, triplos ou duplos. Cada tipo tem finalidades distintas, como produção de grãos, silagem, milho-verde e milho-doce, além de cultivares específicas como milho pipoca e milho ceroso, destinadas a diferentes indústrias (PEREIRA FILHO e CRUZ, 2002).

Com base nas características do grão, existem cinco classes ou tipos de milho: dentado, duro, farináceo, pipoca e doce. A forma e o tamanho dos grãos, definidos pela estrutura do endosperma e o tamanho do gérmen, é a principal diferença entre os tipos de milho. Milhos duros diferem dos milhos farináceos e dentados na relação de endosperma vítreo: endosperma farináceo (GARCÍA et al., 2019).

Entre as classes de milho, o milho-doce e o milho-verde destacam-se como produtos hortícolas de alto valor agregado, com um grande potencial de mercado no Brasil, especialmente para consumo humano (ARTUZO et al., 2019). De acordo com Pereira Filho (2002), as cultivares desenvolvidas para a produção de milho-verde devem exibir as seguintes características: espigas longas e cilíndricas, bem empalhadas, sabugos claros, grãos uniformes, tipo dentado e de pericarpo macio, além de permanecerem mais tempo no campo no ponto de milho-verde. Entre a classe de milhos especiais, destacam-se o milho-verde juntamente com o milho-doce, sendo ambos considerados um produto hortícola. No entanto, a produção de milho-doce ainda é limitada, principalmente devido à falta de cultivares adaptadas às condições tropicais do país (PEREIRA FILHO e TEIXEIRA, 2016).

Quanto ao milho-doce, no Brasil, é considerado um tipo de milho especial, e sua produção é destinada a indústria e consumo humano. No entanto o seu cultivo ainda é inexpressível devido principalmente a inexistência de cultivares adaptadas sobretudo as condições tropicais do país. Tendo em vista essas informações, é cada vez mais necessário, arquitetar e construir, a partir de programas de melhoramento genético, cultivares destinadas ao consumo “*in natura*” (PEREIRA FILHO e TEIXEIRA, 2016).

Para a obtenção de híbridos ou genótipos superiores que se adaptem a diferentes condições ambientais cultiváveis, faz-se necessário a identificação de linhagens que se

complementam para expressar as características desejáveis, quando cruzadas possam para isso as mesmas devem ser avaliadas (PATERNIANI e CAMPOS, 2005).

Nesse caso, torna-se imprescindível na escolha dos genitores, a realização de estudos genéticos bem como na definição das técnicas de condução das populações segregantes. A análise da capacidade combinatória dos potenciais genitores permite identificar aqueles mais aptos para transmitir os caracteres desejáveis à descendência, bem como auxilia na escolha dos cruzamentos mais promissores para exploração comercial (BORÉM et al., 2017)

A capacidade geral de combinação (CGC) é estimada com base no desempenho médio de um genitor quando cruzado com outros e está associada à presença de efeitos aditivos dos alelos e às associações epistáticas do tipo aditiva. Por outro lado, a capacidade específica de combinação (CEC) refere-se a uma combinação particular entre dois genitores cujo desempenho está acima ou abaixo do esperado com base no desempenho médio de ambos e está associada aos efeitos de dominância e epistasia envolvendo dominância (GRIFFING, 1956; OMAR JUNIOR et al. 2017).

A Capacidade Combinatória calcula o potencial de um genótipo específico como genitor em uma variedade de combinações híbridas, além de ajudar o melhorista a selecionar genitores com elevado potencial genético (RIBEIRO, 2021).

O método *Topcross* permite a avaliação de um grupo de linhagens parcialmente endogâmicas em cruzamentos com um genitor em comum, denominado testador, e os híbridos *topcrosses* obtidos são avaliados em experimentos com repetições, com o intuito de avaliar o mérito relativo das progênes (BORÉM et al., 2017).

Este trabalho tem como objetivo estimar a capacidade combinatória de genótipos de milho-verde e milho-doce, com foco em características agrônômicas e pós-colheita, através do método de *topcrosses*.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Importância e aspectos gerais da cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) é originário da América, na região onde situa-se o México (América Central), é considerada uma das plantas cultivadas mais antigas e um dos vegetais mais estudados (SCHILS et al., 2020). Evidenciaram que o milho seja descendente do teosinte, uma gramínea com várias espigas sem sabugo, que ao cruzar naturalmente com o milho e produzir descendentes férteis (FORNASIERI FILHO, 2007).

Quanto a sua estrutura, a planta do milho é constituída por uma haste cilíndrica, com nós e entrenós compactos. Cada nó abaixo do solo produz raízes, e nós, no nível do solo ou imediatamente acima, podem produzir perfilhos e raízes-suporte (esporões). As folhas e as ramificações que podem permanecer no estado rudimentar ou desenvolver-se para formar as inflorescências femininas (espigas) são produzidas a partir dos nós acima do solo. Os colmos compactos terminam numa inflorescência masculina (FORNASIERI FILHO, 2007).

Apresenta um sistema radicular típico das gramíneas, do tipo fasciculado ou em ‘cabeleira’, atingindo uma profundidade de 1,5 a 3,0 metros, principalmente nas camadas superficiais do solo. A fertilização do óvulo dentro do ovário ocorre cerca de 12 a 36 horas após a polinização (FANCELI NETO e DOURADO NETO, 2000).

O crescimento do grão ocorre em torno de 60 dias após a fertilização, resultando em um aumento de volume do ovário em relação ao grão de aproximadamente 1400 vezes. O grão de milho provém de uma semente, característica comum entre as gramíneas. O endosperma e o embrião estão localizados no interior do grão. O endosperma representa 85% da massa do grão, enquanto o embrião contribui com aproximadamente 10% e o pericarpo com cerca de 5% (SILVA et al., 2021).

O ciclo do milho é dividido em duas fases: vegetativa (V) e reprodutiva (R), para facilitar o manejo e as pesquisas, além de estabelecer correlações entre fatores fisiológicos, climatológicos, fitogenéticos, entomológicos e fitotécnicos. Segundo Fornasieri Filho (2007), as subdivisões da fase vegetativa são numeradas como V1, V2, V3, e assim por diante, até Vn, onde 'n' representa o estágio da última folha antes do pendoamento. O primeiro e o último estágio são denominados VE (emergência) e VT (pendoamento). As seis subdivisões da fase reprodutiva são R1 (florescimento), R2 (grão bolha de água), R3 (grão leitoso), R4 (grão pastoso), R5 (grão farináceo) e R6 (maturidade fisiológica). Para o consumo de milho-verde,

recomenda-se a colheita no estágio R3, quando os grãos apresentam entre 70% e 80% de umidade.

Os maiores produtores mundiais de milho são: Estados Unidos (348,75 milhões de toneladas), China (277,20 milhões de toneladas) e Brasil com uma área plantada de milho estimada na safra 2022/23 de 22,26 milhões de hectares com produtividade de 5,93 toneladas por hectare. Os estados com as maiores áreas plantadas da cultura são: Mato Grosso, seguido pelo Paraná, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Goiás e Rio Grande do Sul (CONAB, 2023; BRASIL, 2024).

2.2 Tipos de Milho

As cultivares de milho podem ser subdivididas em dois tipos principais: híbridos e variedades, os híbridos podem ser simples, triplos ou duplos. O híbrido simples é o resultado do cruzamento entre duas linhagens puras e é indicado para sistemas de produção que utilizam alta tecnologia, pois possui o maior potencial produtivo, são também os mais caros. O híbrido triplo é obtido a partir do cruzamento entre uma linha pura e um híbrido simples e é indicado para média a alta tecnologia, enquanto o híbrido duplo é o resultado do cruzamento entre dois híbridos simples, sendo indicado para média tecnologia (LIMA e BORÉM, 2018).

Quanto aos grãos, o milho pode ser classificado em cinco tipos principais: dentado, duro, farináceo, pipoca e doce. A principal diferença entre esses tipos reside na forma e no tamanho dos grãos, que são definidos pela estrutura do endosperma e pelo tamanho do gérmen. Os milhos duros diferem dos milhos farináceos e dentados na relação entre o endosperma vítreo e o endosperma farináceo (ZHANG e XU, 2019).

Nos milhos dentados, o endosperma farináceo se concentra na região central do grão, entre a ponta e o extremo superior. Nas laterais dessa faixa e no verso do grão, encontra-se o endosperma vítreo. Já no milho duro, o endosperma vítreo forma um volume contínuo, resultando em grãos lisos, arredondados e de aparência dura e vítrea (LANDRY et al., 2004; XU et al., 2019; ZHANG e XU, 2019).

Nos grãos do tipo farináceo, existe a mesma indentação do milho dentado, porém o endosperma é completamente farináceo, resultando em uma aparência opaca. Os grãos de milho-pipoca possuem o pericarpo mais espesso, com o endosperma predominantemente vítreo, porém os grãos possuem menor tamanho e formato mais arredondado (DARRAH et al., 2019).

Já os grãos de milho-doce, quando secos, possuem aparência enrugada, isto porque os genes “*sugary*” ou “*brittle*” previnem a conversão dos açúcares em amido e o grão passa a

acumular fitoglicogênio, um polissacarídeo solúvel, tornando o milho-doce enrugado e translúcido quando seco (SPIES e HOSENEY, 1982; DARRAH et al., 2019).

O milho-doce é um tipo de milho específico para o consumo humano e que por ser colhido in natura, com alto teor de umidade nos grãos é considerado uma hortaliça (LUZ et al., 2014). O caráter doce no milho deve-se a presença de alelos mutantes que resulta no acúmulo de açúcares nos grãos. Os principais alelos mutantes são *shrunken-2* (*sh2*), *brittle* (*bt*), *brittle-2* (*bt2*), *sugary* (*su*) e *sugary enhancer* (*se*) que atuam na biossíntese de carboidratos no endosperma dos grãos, causando o acúmulo de polissacarídeos solúveis. A diferença entre esses alelos que são de caráter recessivo está na proporção de amido e tipo de açúcar presentes no endosperma, bem como nos cromossomos em que estão localizados (TRACY, 2001).

Esses genes tornam o milho-doce atrativo ao consumo e conseqüentemente, abrem oportunidades para o desenvolvimento de programas de melhoramento, devido ao alto nível de açúcares presentes na semente, acumulando mais açúcares do que o milho normal no endosperma dos grãos (KAUKIS e DAVIS, 1986). Devido ao alto teor de açúcares presente nos grãos, o milho-doce se torna atrativo ao consumo e abre oportunidades para o desenvolvimento de programas de melhoramento genético. No Brasil, a produção de milho-doce é voltada principalmente para a indústria de conservas, sendo plantado ao longo de todo o ano com o uso de irrigação e escalonamento da produção. No entanto, a pequena tradição de consumo e a falta de híbridos adaptados às condições tropicais limitam a exploração da cultura no país, em comparação aos países de clima temperado (LIMA e BORÉM, 2018).

O Brasil apresenta enorme potencial para a produção de milho-doce, contudo, a baixa disponibilidade de sementes torna seu cultivo restrito, pois existem poucos híbridos comerciais de milho-doce no mercado. Para proporcionar as condições necessárias para o aumento da produção no país, algumas empresas governamentais e privadas, vêm desenvolvendo programas de melhoramento, para produção de híbridos e cultivares de milho-doce mais adaptadas às condições tropicais (PEREIRA FILHO e BORGHI, 2022).

O melhoramento genético de cultivares de milho-doce no Brasil segue duas formas de ação, a principal é a introdução de alelos via retrocruzamento, ou seja, o caráter doce monogênico recessivo de uma fonte genética qualquer, é introduzido em uma população de endosperma amiláceo já utilizado comercialmente. Outra forma é submeter um germoplasma doce em um programa de seleção recorrente (PARENTONI et al., 1991).

Embora o Brasil apresente um enorme potencial para a produção de milho-doce, a baixa disponibilidade de sementes e a falta de híbridos adaptados às condições tropicais restringem o cultivo. Para enfrentar esses desafios e aumentar a produção, programas de melhoramento

genético, tanto governamentais quanto privados, têm se concentrado na introdução de alelos via retrocruzamento e na seleção recorrente de germoplasma adaptado. O uso de dialelos tem se destacado como uma ferramenta importante para avaliar a capacidade combinatória e o desempenho agrônomo de híbridos, oferecendo novas perspectivas para o cultivo de milho-doce em condições tropicais (PEREIRA FILHO e BORGHI, 2022; ARTUZO et al., 2019).

2.3 Análise dialélica

A análise dialélica é amplamente utilizada em várias espécies cultivadas, apresentando como vantagens a contribuição na escolha dos genitores e de populações segregantes, bem como o fornecimento de informações sobre o controle genético dos caracteres. A análise dialélica é utilizada para estimar a capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC) (CRUZ et al., 2012).

Os dialelos são simples de ser utilizados em milho, podendo fornecer informações importantes sobre o estudo de populações, como capacidade combinatória, variância genética e herdabilidade, além de permitirem a escolha dos genitores promissores com base principalmente nos conceitos de capacidade geral de combinação, capacidade específica de combinação e heterose (CHINTHIYA et al., 2019; KOLISNYK et al., 2020).

O cruzamento dialélico tem sido definido como o conjunto de todas as possibilidades de cruzamentos entre vários genótipos. A principal restrição aos cruzamentos dialélicos é devido ao número de genitores, dependendo da quantidade, o número de combinações híbridas a serem avaliadas se torna excessivo. As metodologias de análise dialélica tem por finalidade analisar o delineamento genético, provendo estimativas de parâmetros úteis na seleção e na compreensão dos efeitos genéticos envolvidos na determinação dos caracteres e se classificam como balanceados ou desbalanceados, completos, parciais, circulantes, entre outros (CRUZ e REGAZZI, 1997).

A proposta por Griffing (1956), permite obter as estimativas da capacidade geral de combinação, além de proporcionar informações sobre a concentração de genes predominantemente aditivos em seus efeitos e são de grande utilidade na indicação de genitores a serem utilizados em programas de melhoramento intrapopulacional.

No melhoramento de milho a hibridação possibilita a obtenção de genótipos superiores e uniformes, mediante a exploração máxima da heterose (TOPPA et al., 2012), o que é possível pela disposição dos órgãos reprodutivos na planta, facilitando a obtenção de linhagens e cruzamentos das mesmas (ANDORF et al., 2019). Para a obtenção de híbridos de milho há pelo menos quatro etapas indispensáveis, que são: a escolha das populações base; a obtenção de

linhagens; a avaliação da capacidade de combinação das linhagens e as sucessivas avaliações das combinações híbridas (BORÉM, 2017).

A capacidade geral de combinação (CGC) indica o desempenho de um genótipo específico em relação aos demais genitores envolvidos no dialelo e a capacidade específica de combinação (CEC) indica o comportamento de uma determinada combinação híbrida em relação à média esperada a partir da CGC dos genitores (BORÉM et al., 2017).

As informações da capacidade de combinação podem auxiliar no programa de melhoramento, permitindo o conhecimento do tipo de ação dos genes nas características de interesse, direcionando a toma de decisões no programa. Se a contribuição dos efeitos gênicos não aditivos for maior, indica a possibilidade da obtenção de combinações híbridas e, caso a contribuição de efeitos gênicos aditivos seja maior indica a possibilidade da seleção a partir da CGC dos genitores (CHINTHIYA et al., 2019; KOLISNYK et al., 2020).

Apesar de que a avaliação de progênies em esquema dialélico permita a obtenção de informações úteis, a avaliação de uma grande quantidade de linhagens de forma simultânea se torna inviável, devido à grande quantidade de combinações possíveis a serem avaliadas. Uma opção para avaliação de grande quantidade de linhagens constitui a metodologia denominada *topcross*, proposta por Davis (1927).

A metodologia propõe o cruzamento de um grupo de linhagens, usadas como mães, com um testador comum, considerado como pai, com intuito de obter meio irmãos, os quais serão avaliados na seguinte safra em esquema de dialelo parcial para a obtenção das informações genéticas como a capacidade combinatória (BORÉM et al., 2017).

A escolha do testador é um aspecto que pode definir o sucesso da seleção no *topcross*, tendo em conta que as linhagens podem ser selecionadas ou eliminadas indevidamente devido ao testador utilizado, que pode mascarar o efeito delas. Um testador é considerado bom quando tem a capacidade de discriminar claramente uma linhagem com poucas avaliações (LIMA e BORÉM, 2018).

O testador utilizado pode ser de base genética estreita ou ampla. A utilização de linhagem elite como testador tem mostrado eficiência na discriminação de linhagem de milho nas gerações iniciais de endogamia para características agrônômicas (POSSATTO JUNIOR et al., 2017; GABRIEL et al., 2018). A utilização de vários testadores pode melhorar a precisão na seleção das progênies (LIMA e BORÉM, 2018). Existem trabalhos que tem utilizado mais de um testador com intuito de evitar erros na seleção, eles verificaram que mais de um testador mostram eficiência na expressão da variabilidade (ROSA et al., 2021, 2022; RIBEIRO et al., 2020).

REFERÊNCIAS

- ANDORF, C. et al. Technological advances in maize breeding: past, present and future. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 132, n. 3, p. 817–849, 2019.
- ARTUZO, F. D. et al. O potencial produtivo brasileiro: uma análise histórica da produção de milho. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 2, p. 515–540, 2019.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de plantas**. 7. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2017.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. **Exportações Brasileiras MILHO**. 2024. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/relacoes-internacionais/documentos/Milho.pdf. Acesso em: 1 dez. 2024.
- CHINTHIYA, A. et al. Combining ability and association studies on different yield contributing traits for enhanced green cob yield in sweet corn (*Zea mays con var saccharata*). **Electronic Journal of Plant Breeding**, v. 10, n. 2, p. 500–511, 2019.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2022/23: decimo terceiro levantamento**. Brasília, DF: Conab, v. 5, n. 9, jun. 2023. 174 p. Disponível em: Conab - Safra Brasileira de Grãos. Acesso em: 21 AGO. 2024
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; SOUZA, P. C. C. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, v. 1, 2012, 508 p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. Análise dialélica. In.: CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; SOUZA, P. C. C. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**. Ed. UFV. Viçosa. 2a ed. p. 131–285, 1997.
- DARRAH, L. L.; MCMULLEN, M. D.; ZUBER, M. S. Breeding, Genetics and Seed Corn Production. In: Corn: **Chemistry and Technology**. 3. ed. Duxford, Reino Unido: Elsevier, 2019. p. 19–41.
- DAVIS, R. L. **Report of the plant breeder**. Puerto Rico Agricultural Experimental Station Annual Reporter, Puerto Rico, p.14-15, 1927.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Ecofisiologia e fenologia. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. p. 21-54.
- FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 2007. 576p.
- GABRIEL, A. et al. Desempenho agronomico e estabilidade de topcrosses de milho avaliados em Minas Gerais e Paraná. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 2, p. 303–316, 2018.
- GARCÍA, S. L.; CHUCK, C. H.; SERNA, S. O. S. Development and Structure of the Corn Kernel. In: Corn: **Chemistry and Technology**. 3. ed. Duxford, Reino Unido: Elsevier, 2019. p. 147–163
- GRIFFING, J. B. A generalized treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. **Heredity**, v. 10, n. 1, p. 31–50, 1956.

- KAUKIS, K.; DAVIS, D.W. **Sweet corn breeding**. In: BASSET, M.J. Breeding vegetable crops. Gainesville: Avi publishing company, p. 475-519, 1986.
- KOLISNYK, O. M. et al. Analysis of strategies for combining productivity with disease and pest resistance in the genotype of base breeding lines of maize in the system of diallele crosses. **Modern Phytomorphology**, v. 14, n. 1, p. 49–55, 2020.
- LANDRY, J.; DELHAYE, S.; DAMERVAL, C. Padrão de distribuição de proteína no endosperma farináceo e vítreo do grão de milho. **Cereal Chemistry**, v. 81, p. 153 – 158, 2004.
- LIMA, R. O.; BORÉM, A. **Melhoramento de Milho**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa UFV, 2018, 396p.
- LUZ, J. M. Q. et al. Produtividade de genótipos de milho-doce e milho-verde em função de intervalos de colheita. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n.2, p.163-167, 2014.
- OMAR JUNIOR, P. et al. Avaliação de linhagens S2 de milho em *topcrosses* com linhagem-elite testadora. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 2, p. 297-309, 2017.
- PARENTONI, S. N. et al. O. Avaliação da capacidade de combinação de dez linhagens de milho-doce. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 9, n. 2, p. 71-73, 1991.
- PATERNIANI, E.; CAMPOS, M. S. **Melhoramento do milho**. In: BORÉM, A. (Ed.). Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: Editora UFV, 2005, p. 491-552.
- PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C. Cultivares de milho para o consumo verde. Sete Lagoas: Embrapa CNPMS. **Circular técnica**, n. 15, 2002. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/milhoparaconsumoverde_000fgp4g99u02wyiv8020uvkp1bpy66y.pdf Acesso em 21 de Agosto de 2024.
- PEREIRA FILHO, I. A.; BORGHI, E. **Disponibilidade de cultivares de milho para o mercado de sementes do Brasil: safra 2021/2022**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2022, 16 p.
- PEREIRA FILHO, I. A.; TEIXEIRA, F. F. **O cultivo do milho-doce**. Brasília, DF: Embrapa, 2016, 298 p.
- POSSATTO JUNIOR, O. et al. Avaliação de linhagens S2 de milho em *topcrosses* com linhagem elite testadora. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 2, p. 297, 2017.
- RIBEIRO, F. O. et al. Avaliação de linhagens de milho com base no comportamento per se e em testcross com testadores de base genética ampla e estreita. **Anais do XI Simpósio Internacional de Genética e Melhoramento**, v. 1, n. 1, p. e132776, 2020.
- RIBEIRO, M. R. **Metodologias de identificação e capacidade combinatória de linhagens duplo-haploides de milho**. 2021. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2021.
- ROSA, J. C. et al. Combining ability and genetic divergence in the selection of testers regarding grain yield and forage potencial in maize *topcrosses*. **Revista Ciência Agronômica**, v. 52, n. 3, p. e20207174, 2021. GN1 Sistemas e Publicacoes Ltd. <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20210046>.
- ROSA, J. C. et al. Maize *topcrosses* for yield performance by additive main effects and multiplicative interaction analysis. **Ciência Rural**, v. 52, n. 9, p. e20210286, 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20210286>.

- TOPPA, E. V. B. et al. Análise comparativa dos métodos de obtenção de linhagens “Standard” e híbridos crípticos. **Revista Verde**, v. 7, n. 1, p. 29–32, 2012.
- TRACY, W. F. **Sweet corn**. In: HALLAUER, A. R. (Ed.). Specialty corns. Boca Raton: CRC Press, p. 155-197, 2001.
- SCHILS, R. L. M. et al. Disentangling genetic and non-genetic components of yield trends of Dutch forage crops in the Netherlands. **Field Crops Research**, v. 249, p. 1–12, 2020.
- SILVA, D. F. et al. Características morfológicas, melhoramento genético e densidade de plantio das culturas do sorgo e do milho: uma revisão. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 3, p. e12310313172, 2021.
- SPIES, R. D.; HOSENEY, R. C. Effect os sugars on starch flour end bread: a microscopic and chemical study. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 59, n. 2, p. 128-131, 1982.
- ZHANG, H.; XU, G. Physicochemical properties of vitreous and floury endosperm flours in maize. **Food Science & Nutrition**, v. 7, n. 8, p. 2605-2612, 2019. Doi: <http://dx.doi.org/10.1002/fsn3.1114>.
- XU, A. et al. Propriedades físico-químicas de amidos de endospermas vítreos e farináceos dos mesmos grãos de milho. **Food Chemistry**, v. 291, p. 149 – 156, 2019.

CAPÍTULO I

HÍBRIDOS COMO TESTADORES DA CAPACIDADE COMBINATÓRIA DE LINHAGENS DE MILHO-DOCE PARA CONDIÇÕES DE CERRADO

RESUMO

O Brasil como um dos maiores produtores de milho comum, tem potencial para ser grande produtor de milho-doce. A possibilidade de aumentar a área cultivada pode ser possível com o desenvolvimento de genótipos adaptados a áreas marginais, onde não é comum o cultivo de milho-doce. O trabalho teve por objetivo avaliar o efeito testador de genótipos de milho-verde em linhagens de milho-doce para características agronômicas. Foram originados ao total 34 F1's, sendo 24 oriundos de linhagens de milho-doce cruzadas com o híbrido AG-1051 e 10 F1's oriundos do cruzamento linhagens de milho-doce com o híbrido FT 2015. Dos 34 F1's, 18 híbridos experimentais (F1's) constituíram o dialelo parcial incompleto. Foram avaliadas as características: peso médio de espigas comerciais sem palha (g); produtividade média de espigas comerciais sem palha (kg ha^{-1}), comprimento (cm) e diâmetro médio de espigas comerciais sem palha (mm). Foi estimada a capacidade geral (CGC) e específica (CEC) para as características avaliadas. Os efeitos aditivos e não aditivos foram importantes na expressão fenotípica dos genitores e híbridos avaliados. As linhagens e L12, L9, L5 e L3 reúnem alelos favoráveis de CGC para diâmetro e comprimento de espigas. As linhagens e L47, L3 e L12 reúnem alelos favoráveis de CGC para peso médio e produtividade de espigas comerciais sem palhas. O testador AG-1051 possui melhor complementariedade com as linhagens testadas.

Palavras-chave: Dialelo. Seleção. *Zea mays* L.

HYBRIDS AS A TESTER OF THE COMBINATORY CAPACITY OF SWEET CORN LINES FOR CERRADO CONDITIONS

ABSTRACT

Brazil is one of the largest producers of common corn and has the potential to be a large producer of sweet corn. The possibility of increasing the cultivated area may be possible with the development of genotypes adapted to marginal areas, where sweet corn cultivation is not common. The aim of the work was to evaluate the tested effect of sweet corn genotypes on sweet corn lines for agronomic characteristics. A total of 34 F1's were originated, 24 coming from sweet corn lines crossed with the hybrid AG-1051 and 10 F1's coming from sweet corn lines with the hybrid FT 2015. Of the 34 F1's, 18 experimental hybrids (F1's) constituted the incomplete partial diallel. The following characteristics were evaluated: average weight of commercial ears without straw (grams); average productivity of commercial ears without straw (kg ha⁻¹), length (cm) and average diameter of commercial ears without straw (mm). The general (CGC) and specific (CEC) capacity was estimated for the classifications evaluated. Additive and non-additive effects were important in the phenotypic expression of the parents and hybrids evaluated. Lineages L12, L9, L5 and L3 bring together alleles developed from CGC for ear diameter and length. Lineages L47, L3 and L12 bring together CGC designed alleles for average weight and productivity of commercial ears without chaff. The AG-1051 tester has better complementarity with the tested strains.

Key-words: Diallel. Selection. *Zea mays* L.

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma das principais culturas agrícolas do mundo, com um impacto significativo tanto social quanto econômico devido ao seu papel na alimentação humana e animal.

Quando o objetivo é a produção de espigas, tradicionalmente existe uma variação na composição, tamanho e tipo dos grãos, que é definido geneticamente pelo tipo de grão e até o tamanho da espiga. Novas cultivares são desenvolvidas visando atender esses diferentes nichos de mercado, porém, quando se pretende buscar opções de milho-verde e milho-doce, são poucas as cultivares disponíveis no mercado (PEREIRA FILHO e TEIXEIRA, 2016).

Quanto a característica do grão, a principal diferença entre os tipos de milho é a forma e o tamanho dos grãos, definidos pela estrutura do endosperma e o tamanho do gérmen. No caso do milho-doce, os grãos quando secos, possuem aparência enrugada, isto porque os genes “*sugary*” ou “*brittle*” previnem a conversão dos açúcares em amido, tornando o grão enrugado e translúcido (USMAN et al. 2024). É cada vez mais necessário, a partir de programas de melhoramento genético, cultivares destinadas ao consumo “*in natura*” (SILVA et al. 2016), em especial, as que atendem os padrões de mercado para milho-doce e milho-verde.

Quando o objetivo é a hibridação, a capacidade combinatória permite identificar aqueles mais aptos para os caracteres desejáveis (CRUZ et al., 2014). Com base no desempenho médio de um genitor quando cruzado com outros é possível definir seu potencial genético e até fenotípico. Até mesmo os desvios observados advindo de combinações específicas é possível se identificar, quando se usa cruzamentos dialélicos.

Os cruzamentos dialélicos são amplamente empregados, pois oferecem informações genéticas que influenciam a capacidade combinatória dos genótipos (SOUZA et al., 2020; SUZUKAWA et al. 2018). Porém, sua praticidade é reduzida quando o número de linhagens é elevado. Nessa situação, uma alternativa é o uso do cruzamento *topcross*, pois permite que um genótipo de base genética ampla ou estreita seja usada como testador de linhagens ou genótipos superiores para um conjunto de caracteres de interesse (OMAR JUNIOR et al. 2017).

Diferentemente dos outros tipos de milho, no Brasil o cultivo de milho-doce predomina nas regiões de clima onde as temperaturas são mais amenas. Para produção de milho grão, muitas cultivares estão disponíveis, sendo limitado as opções de cultivares para produção de milho-verde também, quando se têm situações em que as temperaturas tendem a serem mais elevadas (PEREIRA FILHO e TEIXEIRA. 2016).

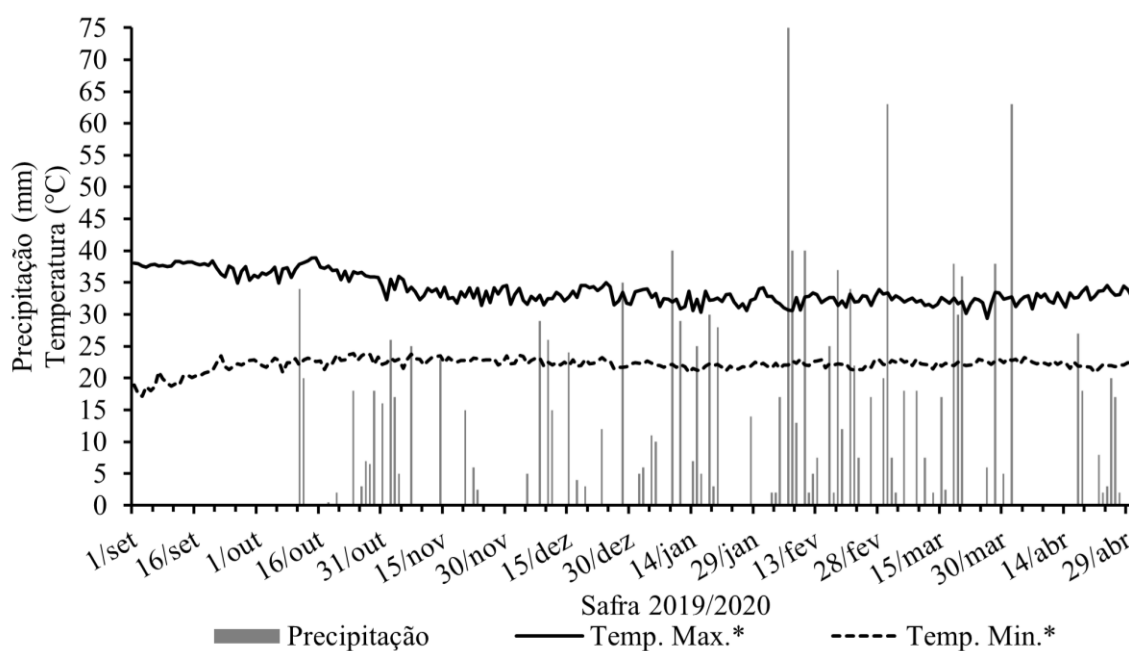
No estado do Tocantins, o cultivo de milho-verde é predominante em pequenas propriedades e projetos hidroagrícolas, com a cultivar AG 1051 sendo a mais utilizada. Há também uma carência de dados sobre o arranjo populacional ideal e as cultivares mais adaptadas às condições locais.

Este trabalho visa avaliar a eficácia de genótipos de milho-verde como testadores para linhagens de milho-doce, com o objetivo de identificar genitores promissores e híbridos adaptados às condições específicas do Cerrado e ao mercado local.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram conduzidos nos anos de 2019 (inicial 22/09/19) e 2020 (inicial 20/04/20), na Estação Experimental da Universidade Federal do Tocantins (UFT), no setor de Olericultura, Campus de Gurupi (11°43' de latitude Sul, 49°04' de longitude Oeste e altitude de 280 metros e solo do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (RIBEIRO et al. 1999). Pela classificação de Dubreuil (2018), o clima é do tipo B1WA'a' úmido com moderada deficiência hídrica e a temperatura média anual é de 29,5°C, com precipitação anual média de 1.804 mm, com um verão chuvoso e um inverno seco. As informações de temperatura, umidade e precipitação estão no Figura 1.

Figura 1 - Temperatura média, umidade relativa média e precipitação média do local de cultivo durante o período de realização dos experimentos. UFT campus de Gurupi, 2019, 2020



Fonte: Inmet, 2020.

Foi implantado um composto dialelo para gerar as combinações F1's. Foram utilizadas linhagens S₄ de milho-doce, sendo linhagens elites provenientes do programa de melhoramento genético de milho da Universidade Estadual do Centro Oeste do Paraná – UNICENTRO, Guarapuava - PR. Ademais, foram utilizados dois híbridos comerciais, que foram testemunhas (AG-1051 e FT 2015). O AG-1051 é um híbrido duplo de milho, convencional, pertencente a empresa de Sementes Agroceres, mais conhecido como “pamonheiro”, de dupla aptidão considerado perfeito para os mercados de milho-verde e pamonha. Já o híbrido FT 2015 é um

híbrido simples convencional de milho-doce da empresa Feltrin Sementes, que têm como características ampla adaptação, e baixo custo de sementes.

O plantio do experimento dialelo foi realizado de forma manual, no sistema de plantio direto. Com o objetivo de escalonar o plantio para que o grão de pólen do pendão das linhagens experimentais esteja viável, e o estilo estigma da espiga dos testadores esteja receptivo, o plantio do dialelo foi escalonado em blocos por datas de plantio.

Foi realizado o plantio de 1 bloco com os testadores, composto de 10 linhas de plantio de cada testador, com comprimento de 4 metros e espaçamento de 0,5 metros entre linhas. Após sete dias de plantado, foi realizado o plantio do segundo bloco com os testadores, com o mesmo layout do primeiro bloco, e o plantio das linhagens, sendo semeadas 1 linha de plantio com 10 sementes por metro e 0,5 metros entre linhas. Aos 14 dias pós plantio do primeiro bloco, foi realizado o plantio do terceiro bloco dos testadores. Os cruzamentos ocorreram de forma manual, em que as linhagens foram utilizadas como genitor masculino, enquanto os testadores foram utilizados como genitor feminino, sendo os órgãos reprodutivos destes, protegidos para evitar qualquer tipo de contaminação de pólen que não fosse do genitor selecionado.

Foram considerados híbridos F₁'s com quantidade suficiente de sementes para implantar dois experimentos em épocas diferentes, oriundos do composto dialélico objetivando viabilizar o cruzamento das linhagens com as testemunhas. Os genótipos de milho avaliados foram oriundos do cruzamento de linhagens de milho-doce com duas cultivares comerciais (AG-1051® e FT 2015®) que foram utilizadas no experimento como testemunhas. Os cruzamentos controlados para obtenção dos F₁'s foram realizados manualmente a campo.

Dessa forma, foram originados ao total 34 F₁'s, sendo 24 oriundos de linhagens de milho-doce cruzadas com o híbrido AG-1051 e 10 F₁'s oriundos do cruzamento de linhagens de milho-doce com o híbrido FT 2015. Dos 34 F₁'s, 18 híbridos experimentais (F₁'s) constituíram o dialelo parcial incompleto, sendo 9 híbridos experimentais oriundos do cruzamento entre as linhagens de milho-doce e o cultivar de milho-verde AG-1051® e 9 híbridos experimentais oriundos do cruzamento entre as linhagens de milho-doce e o cultivar de milho-doce FT 2015®.

Foi utilizado um esquema fatorial simples (2 x 34 + 2), totalizando 72 tratamentos (constituído de duas épocas, e de 34 híbridos experimentais mais 2 testemunhas comerciais de milho) em delineamento em blocos casualizados com três repetições. As parcelas foram constituídas por 4 linhas de semeadura com comprimento de 4 metros, em um espaçamento de 0,5 metros entre linhas totalizando em torno de 57 plantas m², sendo utilizado como parcela útil as duas linhas da fileira central.

Para o preparo do solo, optou-se pelo sistema de plantio direto, sendo realizada a dessecação e posteriormente realizado o plantio. Foi realizada a aplicação de calcário nas doses de $1,7 \text{ t ha}^{-1}$ na primeira época e $1,2 \text{ t ha}^{-1}$ na segunda época, conforme as recomendações de Ribeiro et al. (1999).

Como fonte de fósforo foi utilizado Fosfato Monoamônico (50 % de P_2O_5 , 10 % de N) na dose de 240 Kg ha^{-1} ; como fonte de potássio usou-se Cloreto de Potássio (60 % K_2O) na dose de 170 Kg ha^{-1} e Nitrogênio utilizou-se Ureia (45 % N) na dose de 350 kg ha^{-1} . Como fonte de micronutriente foi utilizado FTE Br12 na dose de 80 Kg ha^{-1} (4 % de S, 2 % de B, 1 % de Cu, 2 % de Mn, e 7 % de Zn). Todo o fósforo e os micronutrientes foram aplicados no plantio, juntamente com 20 % da dose recomendada do nitrogênio e do potássio, sendo o restante dos dois últimos divididos em três coberturas nos estádios V4, V6 e V8.

Antes do plantio a área foi dessecada com herbicida do grupo químico glifosato na dose 2 L ha^{-1} . A semeadura foi realizada de forma manual, respeitando as densidades por linha estabelecidas em cada espaçamento. Para garantia de estande, um número maior de sementes foi semeado e 10 dias após o plantio foi feito o desbaste.

O controle de plantas daninhas, pragas e doenças, foi realizado após monitoramento e tomada de decisão por nível de controle; foram utilizados os herbicidas atrazina grupo químico Triazina, na dosagem de $1,8 \text{ L ha}^{-1}$, juntamente com nicossulfurom do grupo químico Sulfoniluréia na dosagem de $1,2 \text{ L ha}^{-1}$. Foi feito o controle de pragas, sempre que necessário com os inseticidas: Lufenuron do grupo químico Benzoiluréia na dose $0,4 \text{ L ha}^{-1}$, Metomil do grupo químico Carbamato na dose de $1,2 \text{ L ha}^{-1}$ e Thiamethoxam + Lambda-Cialotrina na dose $0,4 \text{ L ha}^{-1}$ pertencentes aos grupos químicos Neonicotinóide e Piretróide, respectivamente. Para o controle de doenças foi aplicado $0,4 \text{ L ha}^{-1}$ do fungicida Picoxistrobina + Ciproconazol dos grupos químicos Estrobilurina e Triazol, respectivamente.

Já para irrigação foi utilizado o gotejamento com turno de rega estabelecido de acordo com as exigências da cultura e os estádios de desenvolvimento do milho (PEREIRA FILHO e TEIXEIRA, 2016).

A colheita do milho foi realizada de forma manual no estágio R4, foram colhidas 10 espigas de plantas selecionadas de forma aleatória das 2 fileiras centrais, descartando-se 50 cm de cada extremidade, as características avaliadas foram:

- Peso médio de espigas comerciais sem palha, em gramas com o auxílio de uma balança digital de precisão;
- Produtividade média de espigas comerciais sem palha, em t ha^{-1} , obtido através da extrapolação do peso médio de espiga comercial sem palha na área útil;

- Comprimento médio de espigas comerciais sem palha em centímetros, através de uma régua graduada;

- Diâmetro médio de espigas comerciais sem palha, em milímetros, através de um paquímetro digital.

A partir das análises de variâncias individuais de cada ano foi feita as análises conjuntas. Os dados médios das características agronômicas analisadas foram comparados pelo teste de Scott & Knott a 5 % de probabilidade. Já as combinações dos progenitores, foram estimadas as capacidades gerais (CGC) e específica (CEC) de combinação, utilizando-se o software computacional Genes (CRUZ, 2016).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observando o quadro do resumo da análise de variância (Tabela 1), pode se observar que houve efeito significativo para fonte de variação genótipos (G) em todas as características. Houve diferença para anos na característica comprimento médio de espigas sem palha.

Tabela 1 - Resumo da análise da variância das características peso médio de espigas comerciais sem palha (Pecsp em gramas), produtividade média de espigas comerciais sem palha (Prodsp em t ha⁻¹), comprimento e diâmetro médio de espigas comerciais sem palha (Comp sp em cm e Diamsp em mm) de genótipos oriundos do cruzamento dialélico de linhagens de milho-doce com cultivares comerciais de milho-verde. UFT-Gurupi, 2019 e 2020

FV	QM				
	GL	PC10ESP	PROD.SP	COMP.SP	DIAM.SP
Bloco Anos	4	361,6	3,95	0,483	6,828
Anos (A)	1	150,5	0,05	14,013**	3,942
Genótipos (G)	35	2620,5**	16,06**	4,668**	17,054*
Híbridos (H)	15	1922,1**	11,52**	5,425**	12,334
Testadores (T)	1	365,2	2,33	1,361	7,6
Dialelo (D)	17	3063,5**	18,11**	4,587**	16,738
CGC I	1	6072**	47,09**	0,301	97,34**
CGC II	8	3872**	186,30**	4,576**	15,87
CEC	8	1879**	74,54**	5,133**	7,53
A x G	35	1041,7**	6,44**	1,913	10,181
A x D	17	705,1**	4,45	1,660	9,469
A x T	1	74,0	0,46	1,469	6,795
A x E	15	1451,4**	8,83**	2,028	12,009
D versus T	1	580,5	4,51	2,656	22,93
D versus E	1	10437**	79,1**	0,065	113,30**
Resíduo	140	334,6	2,74	1,630	10,682

ns: Não significativo; ** *: Significativo a 1 e 5 % de probabilidade pelo teste F.
Fonte: Dados da pesquisa.

Houve efeito significativo também para a interação anos x genótipos (A x G), anos x híbridos experimentais (A x E), híbridos experimentais, híbridos do dialelo, capacidade geral de combinação do grupo I (CGCi), capacidade geral do grupo II (CGCii), capacidade específica de combinação (CEC) e na interação anos x híbridos do dialelo (A x D). Já para a interação anos x testadores (A x T), houve significância para produtividade média de espigas sem palha. Para o contraste dialelo vs híbridos experimentais, houve significância em todas as características.

Para o contraste dialelo vs testadores, houve efeito significativo para o diâmetro médio de espigas sem palha. Os híbridos F1(L21 x AG-1051), (L37 x AG-1051), (L3 x 2015) e (L47 x AG-1051) apresentaram os maiores pesos médios de espigas sem palha, sugerindo um elevado potencial produtivo desses cruzamentos, especialmente para mercados que valorizam espigas

de maior peso. Os resultados obtidos estão em concordância com os achados de Chiquito et al. (2021), que também observaram diferenças significativas entre combinações híbridas em análise dialélica para milho-verde. Essa consistência entre estudos reforça a variabilidade genética existente entre os parentais utilizados.

Tabela 2 - Médias para a característica peso médio (g) de espiga comerciais sem palha (Pecsp) em função dos genótipos. UFT-Gurupi, 2019, 2020

GENÓTIPOS	PECSP	MÉDIA	GENÓTIPOS	PECSP	MÉDIA
F ₁ (L21 x AG-1051)	209,6	A	F ₁ (L89 x AG-1051)	167,4	B
F ₁ (L37 x AG-1051)	203,7	A	F ₁ (L17 x FT 2015)	164,2	C
F ₁ (L3 x FT 2015)	190,5	A	F ₁ (L12 x FT 2015)	161,0	C
F ₁ (L47 x AG-1051)	190,4	A	F ₁ (L3 x AG-1051)	159,3	C
F ₁ (L60 x AG-1051)	185,6	B	F ₁ (L78 x AG-1051)	157,1	C
F ₁ (L110 x AG-1051)	185,0	B	F ₁ (L39 x AG-1051)	155,9	C
F ₁ (L13 x AG-1051)	181,9	B	F ₁ (L128 x AG-1051)	155,2	C
F ₁ (L12 x AG-1051)	181,2	B	F ₁ (L134 x AG-1051)	151,8	C
F ₁ (L47 x FT 2015)	181,0	B	F ₁ (L9 x AG-1051)	151,2	C
F ₁ (L x AG-1051)	180,2	B	F ₁ (L18 x AG-1051)	151,2	C
F ₁ (L33 x AG-1051)	179,1	B	F ₁ (L17 x AG-1051)	162,1	C
F ₁ (L119 x AG-1051)	177,8	B	F ₁ (L63 x AG-1051)	145,5	C
F ₁ (L38 x AG-1051)	174,6	B	F ₁ (L9 x FT 2015)	140,2	C
F ₁ (L112 x AG-1051)	172,5	B	F ₁ (L18 x FT 2015)	125,2	D
F ₁ (L111 x FT 2015)	172,2	B	F ₁ (L5 x FT 2015)	119,0	D
F ₁ (L138 x AG-1051)	170,8	B	F ₁ (L37 x FT 2015)	118,1	D
F ₁ (L33 x FT 2015)	170,3	B	(FT 2015)	161,3	C
F ₁ (L79 x AG-1051)	168,9	B	(AG-1051)	172,1	B

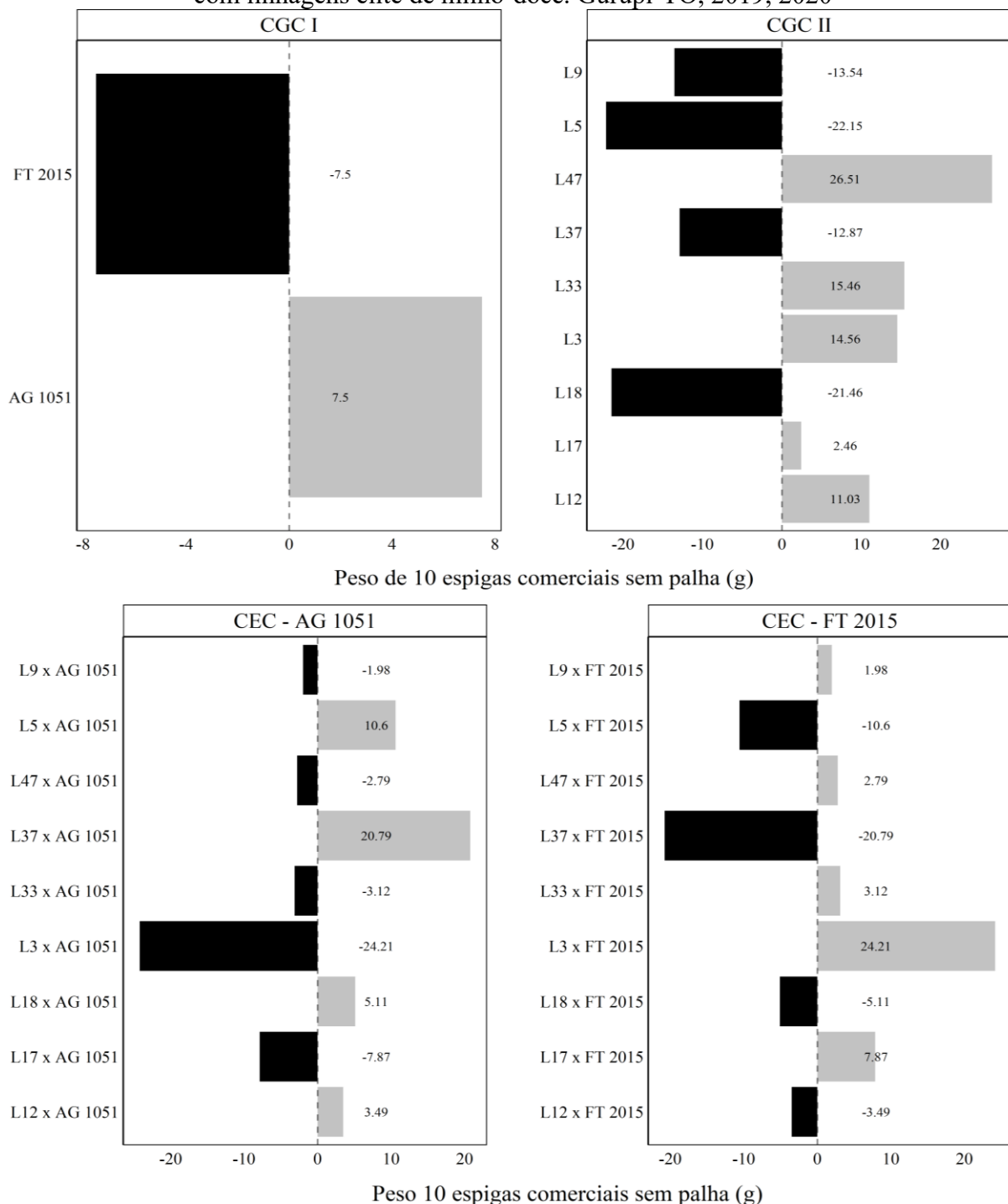
Médias seguidas por letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Skott-Knott (p = 0,05).

Fonte: Dados da pesquisa.

A significância dos desdobramentos indica a existência de variabilidade genética entre os genitores, o que sugere que esses genitores têm diferentes capacidades de combinação conforme relata Bolson et al. (2016), que também encontrou diferenças no comportamento dos genitores, identificando combinações gerais e específicas favoráveis para os caracteres avaliados. Isso é importante para o melhoramento genético, pois permite identificar quais combinações parentais produzem características desejáveis nos híbridos.

Os valores de estimativas da CGC dos testadores para a característica peso médio de espiga comercial sem palha variaram de -7,498 a 7,498, e para o grupo de linhagens, as estimativas variaram de -21,652 a 21,906 (Figura 2).

Figura 2 - Estimativas da capacidade geral (g_i e g_j) e específica (s_{ij}) de combinação para peso médio de espiga comerciais sem palha (Pesp) em híbridos de um topcross de dois testadores com linhagens elite de milho-doce. Gurupi-TO, 2019, 2020



Fonte: Dados da pesquisa.

Genitores com maiores valores de CGC indicam uma maior frequência de genes favoráveis para a característica de interesse, o que significa que os cruzamentos envolvendo

esses genitores tendem a produzir descendentes com melhores desempenhos. Por exemplo, o genitor AG-1051, com alta CGC, é especialmente promissor para aumentar o peso das espigas sem palha.

O desempenho *per se* médio dos testadores foi inferior ao obtido pelos híbridos oriundos do dialélo, o que evidencia a ocorrência de heterose nos *topcrosses*. Porém, a base genética pode ser um indicador que o desempenho dos *topcrosses* foi, em grande parte, devido ao efeito do testador e, nesse sentido, a avaliação *per se* mostrou-se, a priori, mais apropriada para determinar o ganho genético.

O efeito do genótipo testador sob esta característica é grande, requerendo cuidados adicionais na escolha de testadores. O genitor AG-1051 apresentou CGC positiva e efeito favorável para CEC, juntamente com a expressão fenotípica da média nos cruzamentos que participa, evidenciando a afirmação de melhor testador para este caráter.

Valores positivos da estimativa da CGC estão relacionado à maior frequência de genes favoráveis de natureza aditiva no sentido de aumentar a expressão favorável da característica (COLOMBO et al. 2018). Nesse sentido, os genitores L47, L3 L17 e L33 com estimativas da CGC de 21,9; 11,2; 9,1 e 3,5 de peso de espiga comerciais sem palha, respectivamente, são promissoras em programas de melhoramento, visando à seleção de novas linhagens e/ou à obtenção de híbridos com maiores pesos de espigas sem palhas.

As estimativas de CEC para a característica peso médio de espiga comercial sem palhas, variaram de -27,6 no cruzamento F_1 (AG-1051 x L3) a 27,6 no cruzamento F_1 (FT 2015 x L13) (Figura 2), sendo bem expressiva em relação à média e indicativa de que, além dos efeitos gênicos aditivos, os não-aditivos (dominância e/ou epistasia) também são importantes na expressão dessas características. Estimativas positivas de CEC foram observadas nos tratamentos F_1 (L3 x FT 2015), (L18 x AG-1051), (L5 x AG-1051), (L33 x FT 2015), (L37 x AG-1051), (L12 x FT 2015), (L47 x FT 2015), (L9 x AG-1051) e (L17 x FT 2015).

Com base na média das combinações híbridas de CEC e na estimativa de CGC, pode-se observar que os tratamentos F_1 (L47 x AG-1051), (L3 x AG-1051) e (L33 x AG-1051), tiveram resultados relevantes para a característica peso médio de espigas comerciais sem palha, e ambos os progenitores com CGC positiva. Para selecionar genótipos superiores, é necessário além de estimativas elevadas de CGC e CEC, médias de características de interesse também favoráveis, assim, o sucesso da seleção será positiva quando pelo menos um dos parentais tiverem estimativas favoráveis para a expressão da característica (CRUZ et al. 2016).

Para a característica produtividade média de espiga sem palha (Tabela 3), houve diferença entre os genótipos. As médias variaram de 9,4 t ha⁻¹ no híbrido F_1 (L37 x FT 2015) a

16,8 t ha⁻¹, com o híbrido F₁(L21 x AG-1051). Os híbridos F₁(L21 x AG-1051) e (L38 x AG-1051) se destacaram com as maiores produtividades de espigas sem palha, evidenciando o potencial de AG-1051 como genitor em cruzamentos para obtenção de híbridos de alto rendimento. Esses resultados confirmam a importância de selecionar parentais com alta CGC e CEC para maximizar o ganho genético.

Tabela 3 - Médias para a característica produtividade média (t ha⁻¹) de espigas comerciais sem palha (PRODSP). UFT-Gurupi, 2019, 2020

GENÓTIPOS	PRODSP	MÉDIA	GENÓTIPOS	PRODSP	MÉDIA
F ₁ (L21 x AG-1051)	16,8	A	F ₁ (L89 x AG-1051)	13,1	B
F ₁ (L37 x AG-1051)	16,3	A	F ₁ (L17 x FT 2015)	13,0	B
F ₁ (L47 x AG-1051)	15,2	A	F ₁ (L17 x AG-1051)	12,9	B
F ₁ (L60 x AG-1051)	14,8	A	F ₁ (L134 x AG-1051)	12,8	B
F ₁ (L110 x AG-1051)	14,8	A	F ₁ (L12 x FT 2015)	12,7	B
F ₁ (L13 x AG-1051)	14,6	A	F ₁ (L3 x AG-1051)	12,6	B
F ₁ (L47 x FT 2015)	14,5	A	F ₁ (L78 x AG-1051)	12,5	B
F ₁ (L39 x AG-1051)	14,4	A	F ₁ (L79 x AG-1051)	12,4	B
F ₁ (L33 x AG-1051)	14,3	A	F ₁ (L128 x AG-1051)	12,1	B
F ₁ (L119 x AG-1051)	14,2	A	F ₁ (L9 x AG-1051)	12,1	B
F ₁ (L3 x FT 2015)	14,2	A	F ₁ (L18 x AG-1051)	12,0	B
F ₁ (L38 x AG-1051)	14,0	A	F ₁ (L63 x AG-1051)	11,6	B
F ₁ (L111 x FT 2015)	13,8	A	F ₁ (L9 x FT 2015)	11,2	B
F ₁ (L138 x AG-1051)	13,7	A	F ₁ (L18 x FT 2015)	10,0	C
F ₁ (L112 x AG-1051)	13,7	A	F ₁ (L5 x FT 2015)	9,5	C
F ₁ (L33 x FT 2015)	13,6	A	F ₁ (L37 x FT 2015)	9,4	C
F ₁ (L5 x AG-1051)	13,5	A	AG-1051	13,8	A
F ₁ (L12 x AG-1051)	13,3	A	FT 2015	12,9	B

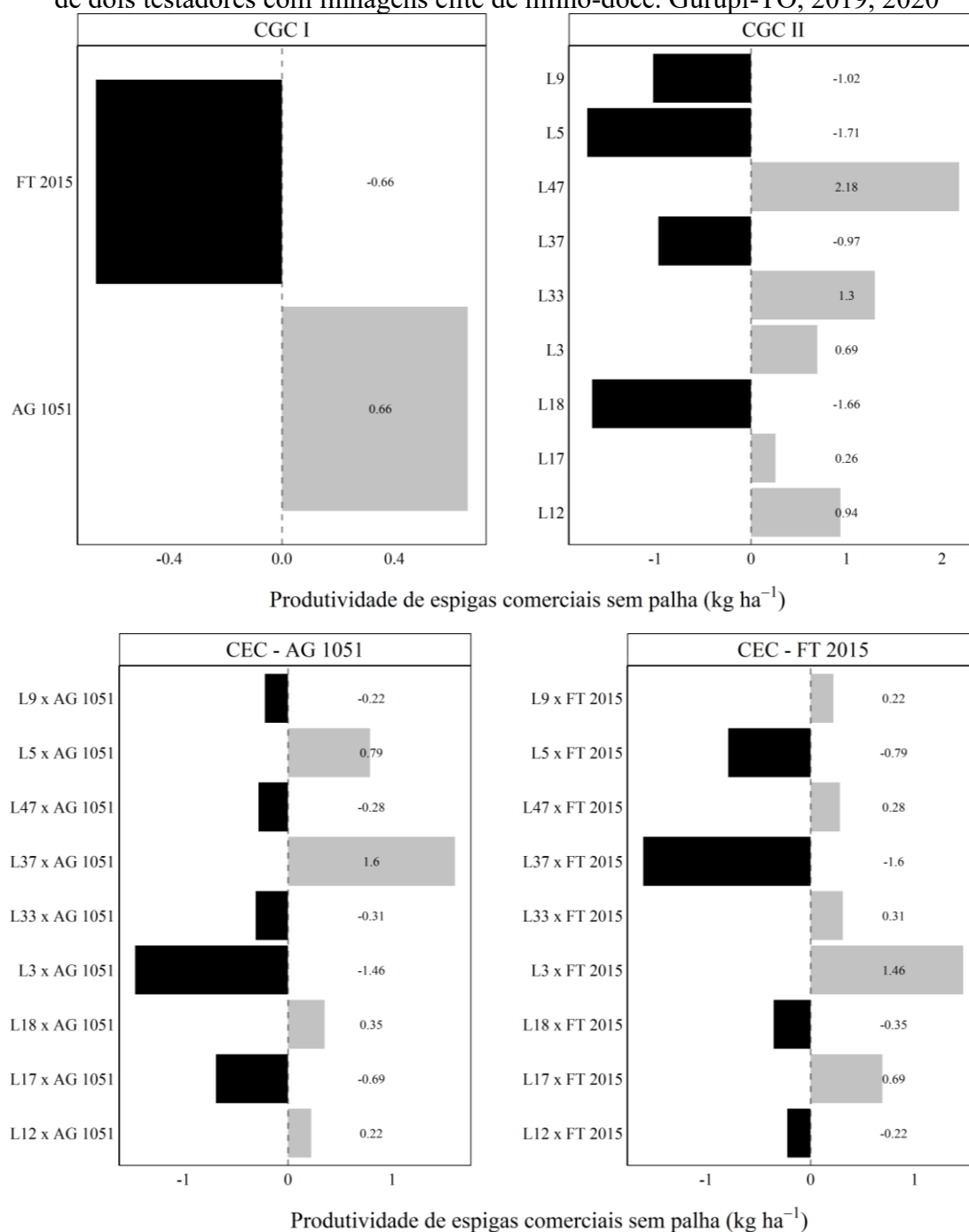
Médias seguidas por letra maiúscula na coluna e não diferem entre si pelo teste Skott-Knott (p = 0,05).

Fonte: Dados da pesquisa.

Dos 17 híbridos superiores que são do mesmo grupo, 7 são do dialelo. A produtividade comercial sem palha, é o fator determinante para o sucesso de um híbrido, quando o objetivo é o desenvolvimento de híbridos, o ideal é associar alta produtividade com maior peso médio de espigas (ENTRINGER et al. 2014). Para essa finalidade destacaram-se os híbridos F₁ (L21 x AG-1051), (L38 x AG-1051), (L3 x FT 2015) e (L47 x AG-1051), evidenciando o potencial desses genótipos em programa de melhoramento.

Os valores de estimativas da CGC dos testadores para a característica produtividade de espiga comercial sem palhas variaram de -0,661 a 0,661, já para o grupo de linhagens, as estimativas variaram de -1,671 a 1,811 (Figura 2).

Figura 3 - Estimativas da capacidade geral (g_i e g_j) e específica (s_{ij}) de combinação para produtividade médio de espiga comerciais sem palha (PRODSP) em híbridos de um *topcross* de dois testadores com linhagens elite de milho-doce. Gurupi-TO, 2019, 2020



Fonte: Dados da pesquisa.

O genitor AG-1051 apresentou maior produtividade de espigas comerciais sem palha e capacidade combinatória quando comparado ao genitor FT 2015. Para o grupo das linhagens, os genitores L47, L17, L3, L33, L12 e L18 tiveram maiores médias de CGC. Esses genitores são promissores quando o objetivo é a seleção de genótipos com maiores produtividades de

espigas comerciais sem palhas, pois valores positivos da estimativa da CGC estão relacionados à presença de alelos favoráveis ao aumento a expressão da característica.

Para estimativas de CEC para a característica produtividades de espigas comerciais sem palhas, variaram de -1,954 no cruzamento $F_1(L18 \times AG-1051)$ a 1,954 no cruzamento $F_1(L18 \times FT 2015)$, evidenciando que além dos efeitos gênicos aditivos, os não-aditivos também são importantes na expressão da característica.

Nesse sentido, os cruzamentos $F_1(L18 \times AG-1051)$, $(L3 \times FT 2015)$, $(L5 \times AG-1051)$, $(L33 \times FT 2015)$, $(L12 \times FT 2015)$, $(L37 \times AG-1051)$, $(L47 \times FT 2015)$, $(L17 \times FT 2015)$ e $(L9 \times AG-1051)$ tiveram estimativas positivas de capacidade específica de combinação, e medias superiores para a produtividade média de espigas comerciais sem palhas.

Com a predominância dos efeitos aditivos nessa característica e uma complementariedade genética favorável dos genótipos, aliada a expressão fenotípica favorável, em gerações avançadas, indivíduos superiores poderão ser obtidos a partir dessas combinações híbridas, possibilitando o aumento da produtividade das espigas por meio de melhoramento genético (CRUZ et al., 2014).

Para a característica comprimento médio de espiga sem palha (Tabela 4), os híbridos $F_1(L38 \times AG-1051)$, $(L110 \times AG-1051)$, $(L12 \times AG-1051)$, $(L39 \times AG-1051)$, $(L47 \times AG-1051)$, $(L3 \times FT 2015)$, $(L5 \times AG-1051)$, $(L17 \times FT 2015)$, $(L12 \times FT 2015)$, $(L112 \times AG-1051)$, $(L21 \times AG-1051)$, $(L33 \times FT 2015)$, $(L18 \times AG-1051)$, $(L37 \times AG-1051)$, $(L3 \times AG-1051)$ e $(L9 \times AG-1051)$, tiveram maiores médias diferindo-se dos demais, inclusive dos híbridos comerciais.

Destes 16 híbridos F_1 's, 9 pertencem ao dialelo, com isso, fica claro que os genitores desempenham papéis importantes no comprimento da espiga, pois alguns genitores contribuem mais consistentemente do que outros para essa característica e alguns pares de genitores exibindo interações específicas que resultaram em progênies com comprimentos de espiga superiores à média (17,2 cm) (WANG et al. 2023).

Ao se comparar o desempenho dos materiais comerciais com os híbridos F_1 's avaliados, observou-se desenvolvimento de F_1 's superiores aos híbridos comerciais quanto à característica, potencializando o uso desses genótipos em programas de melhoramento.

Tabela 4 - Médias para a característica comprimento (cm) médio de espiga comerciais sem palha (COMPSP). UFT-Gurupi, 2019, 2020

GENÓTIPOS	COMPSP	MÉDIA	GENÓTIPOS	COMPSP	MÉDIA
F ₁ (L38 x AG-1051)	18,7	A	F ₁ (L5 x FT 2015)	17,1	B
F ₁ (L110 x AG-1051)	18,4	A	F ₁ (L60 x AG-1051)	17,0	B
F ₁ (L12 x AG-1051)	18,4	A	F ₁ (L119 x AG-1051)	17,0	B
F ₁ (L39 x AG-1051)	18,2	A	F ₁ (L138 x AG-1051)	17,0	B
F ₁ (L47 x AG-1051)	18,2	A	F ₁ (L111 x FT 2015)	16,9	B
F ₁ (L3 x FT 2015)	18,1	A	F ₁ (L18 x FT 2015)	16,8	B
F ₁ (L5 x AG-1051)	17,9	A	F ₁ (L79 x AG-1051)	16,8	B
F ₁ (L17 x FT 2015)	17,8	A	F ₁ (L89 x AG-1051)	16,7	B
F ₁ (L12 x FT 2015)	17,8	A	F ₁ (L33 x AG-1051)	16,6	B
F ₁ (L112 x AG-1051)	17,7	A	F ₁ (L17 x AG-1051)	16,6	B
F ₁ (L21 x AG-1051)	17,7	A	F ₁ (L47 x FT 2015)	16,3	B
F ₁ (L33 x FT 2015)	17,6	A	F ₁ (L134 x AG-1051)	16,0	C
F ₁ (L18 x AG-1051)	17,6	A	F ₁ (L37 x FT 2015)	15,6	C
F ₁ (L37 x AG-1051)	17,6	A	F ₁ (L13 x AG-1051)	15,6	C
F ₁ (L3 x AG-1051)	17,4	A	F ₁ (L128 x AG-1051)	15,4	C
F ₁ (L9 x FT 2015)	17,4	A	F ₁ (L9 x AG-1051)	15,2	C
F ₁ (L63 x AG-1051)	17,2	B	AG-1051	16,3	B
F ₁ (L78 x AG-1051)	17,2	B	FT 2015	17,0	B

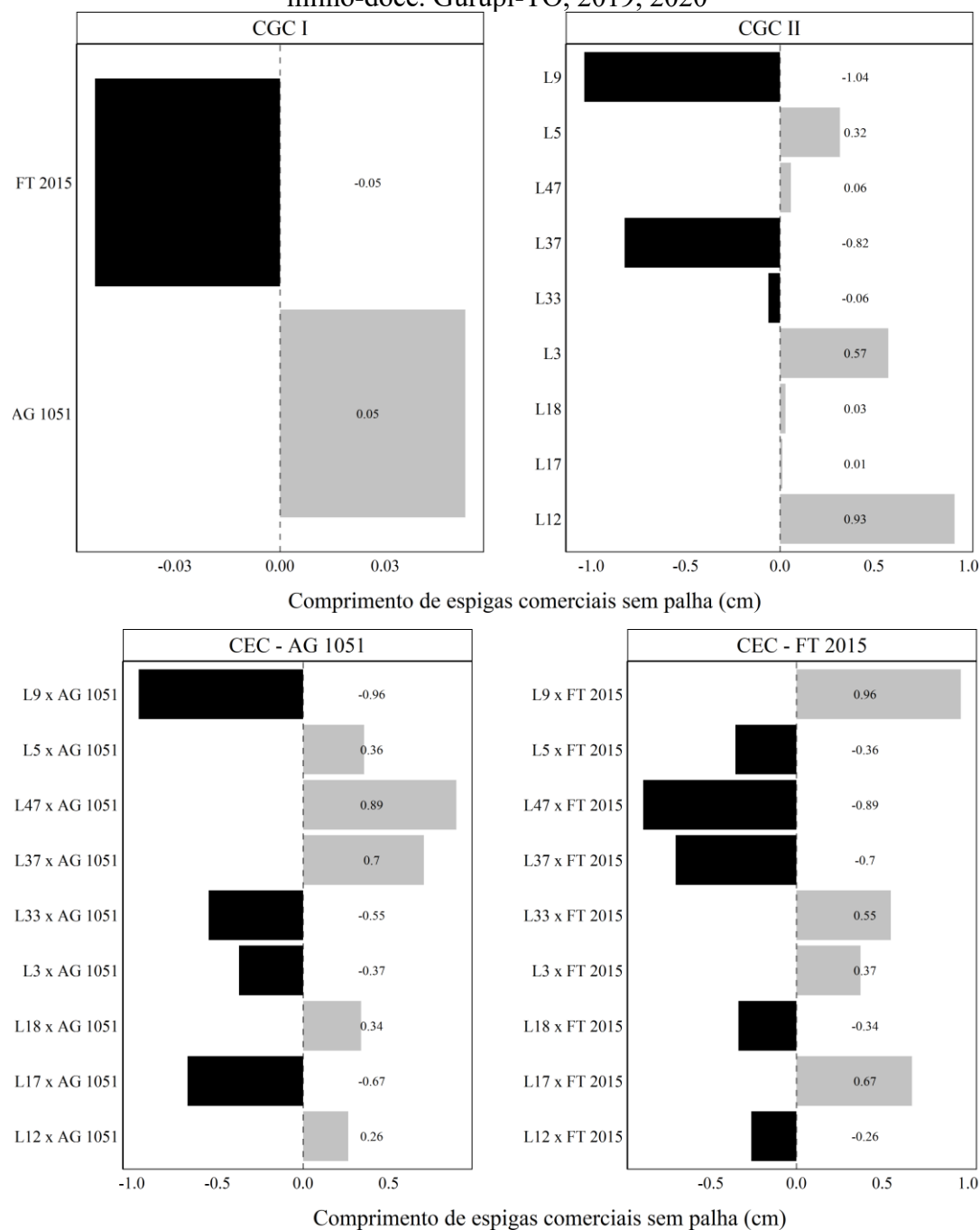
Médias seguidas por letra maiúscula na coluna e não diferem entre si pelo teste Skott-Knott ($p = 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa.

Os valores de estimativas da CGC dos testadores para a característica comprimento de espiga comercial sem palhas variaram de -0,10 a 0,10 para o grupo dos testadores, já para o grupo de linhagens, as estimativas variaram de -0,661 a 0,661 (Figura 3). O genitor AG-1051 apresentou maior valor quando comparado ao genitor FT 2015.

Para o grupo das linhagens, os genitores L47, L17, L18, L33 e L3 tiveram maiores médias de CGC. Esta expressão observada para a capacidade geral de combinação (CGC) das linhagens é de grande importância para o programa de melhoramento, pois expressa que no mínimo uma linhagem possui CGC destacada em relação às demais.

Figura 4 - Estimativas da capacidade geral (g_i e g_j) e específica (s_{ij}) de combinação para comprimento médio de espiga comerciais sem palha (COMPS) em híbridos de milho-verde e milho-doce. Gurupi-TO, 2019, 2020



Fonte: Dados da pesquisa.

Por parte dos testadores, a significância apresentada para os caracteres estudados indica que os testadores em questão se diferenciaram quanto à contribuição genética para os *topcrosses*. Desta maneira, as linhagens, em combinações híbridas com os diferentes testadores, apresentaram performances diferenciadas. Dentre os híbridos avaliados, o híbrido AG-1051 contribui no aumento dessa característica.

Isso torna claro que esse testador possui maior concentração de genes favoráveis para maiores comprimentos de espigas, além de apresentar maior porcentagem de efeitos genéticos aditivos. O comprimento de espiga é uma característica que pode ser influenciada tanto por fator genético quanto ambiental, os resultados do trabalho indicam que grande parte da variação ocorrida pode ser em consequência da variância genética, porém, a variância ambiental pode ter influência nos resultados (SILVEIRA et al. 2015).

Segundo Regitano-d'arce, et al. (2015) o milho-doce é comumente aplicado na comercialização de enlatados, não há indicação de comprimento da espiga do milho-doce para a venda em bandejas. Porém, quando destinado a comercialização de espigas “*in natura*”, todos os tratamentos se enquadram dentro do padrão exigido de 15 cm de comprimento.

As estimativas de CEC para a característica comprimento médio de espiga comerciais sem palha, variaram de -0,260 no cruzamento $F_1(L12 \times FT 2015)$ a 0,260 no cruzamento $F_1(L12 \times AG-1051)$. A CEC é aplicável a certas combinações híbridas que são relativamente superiores ou inferiores ao esperado com base na CGC, refletindo o efeito de interação entre os alelos procedentes de cada parental (ação gênica de dominância) e o efeito das interações entre os alelos de diferentes *locos* envolvidos na transmissão do caráter (CRUZ e VENCOVSKY, 1989).

Observando os valores da média das combinações híbridas de CEC e das estimativas de CGC, pode-se aferir que os tratamentos $F_1(L12 \times AG-1051)$, $(L3 \times FT 2015)$, $(L5 \times AG-1051)$, e $(L3 \times AG-1051)$, tiveram resultados relevantes para a característica comprimento médio de espiga comerciais sem palha, e ao menos um dos progenitores possuem CGC positiva, podendo favorecer o sucesso da seleção, que pode resultar em genótipos superiores com estimativas favoráveis para a expressão da característica.

Pode-se observar o um comportamento de modo contrário para o tratamento $F_1(L12 \times FT 2015)$, onde os dois progenitores envolvidos no híbrido, tiveram estimativas médias negativas para a característica de interesse, porém, o híbrido apresentou CEC elevada positiva, indicando o efeito heterose (HASSAN et al. 2019). Maia Paiva (2014) obteve efeitos significativos para CGC, em linhagens e testadores de milho-doce, e CEC para diâmetro de espigas.

Para a característica diâmetro médio de espigas comerciais sem palha (tabela 5), na média geral, os valores variaram de 37,29 mm $F_1(L5 \times FT 2015)$ à 44,36 mm $F_1(L21 \times AG-1051)$, indicando que, os testadores possuem boa complementariedade genética. Os cruzamentos e híbridos, $F_1(L21 \times AG-1051)$, $(L38 \times AG-1051)$, $(L60 \times AG-1051)$, $(L79 \times AG-1051)$, $AG-1051$, $(L12 \times AG-1051)$, $(L13 \times AG-1051)$, $(L110 \times AG-1051)$, $(L39 \times AG-1051)$, $(L112 \times AG-1051)$, $(L3 \times AG-1051)$, $(L9 \times AG-1051)$, $(L119 \times AG-1051)$, $(L33 \times AG-1051)$, $(L138 \times AG-$

1051), (L37 x AG-1051), (L134 x AG-1051), (L47 x FT 2015), (L33 x FT 2015), (L18 x AG-1051), (L5 x AG-1051), (L9 x FT 2015) e FT 2015, apresentaram médias superiores de comprimento de espigas comerciais sem palha, diferindo-se estatisticamente dos demais.

Tabela 5 - Médias de diâmetro (mm) médio de espiga comerciais sem palha (Diamsp). UFT-Gurupi-TO, 2019, 2020

Genótipos	Diamsp	Média	Genótipos	Diamsp	Média
F ₁ (L21 x AG-1051)	44,36	A	F ₁ (L18 x AG-1051)	41,48	A
F ₁ (L38 x AG-1051)	43,95	A	F ₁ (L5 x AG-1051)	41,42	A
F ₁ (L60 x AG-1051)	43,39	A	F ₁ (L9 x FT 2015)	41,27	A
F ₁ (L79 x AG-1051)	43,00	A	F ₁ (L17 x AG-1051)	40,84	B
F ₁ (L12 x AG-1051)	42,74	A	F ₁ (L3 x FT 2015)	40,76	B
F ₁ (L13 x AG-1051)	42,67	A	F ₁ (L12 x FT 2015)	40,74	B
F ₁ (L110 x AG-1051)	42,65	A	F ₁ (L63 x AG-1051)	40,62	B
F ₁ (L39 x AG-1051)	42,52	A	F ₁ (L47 x AG-1051)	40,29	B
F ₁ (L112 x AG-1051)	42,45	A	F ₁ (L111 x FT 2015)	40,03	B
F ₁ (L3 x AG-1051)	42,33	A	F ₁ (L128 x AG-1051)	39,59	B
F ₁ (L9 x AG-1051)	42,22	A	F ₁ (L78 x AG-1051)	39,34	B
F ₁ (L119 x AG-1051)	42,21	A	F ₁ (L89 x AG-1051)	39,29	B
F ₁ (L33 x AG-1051)	42,20	A	F ₁ (L17 x FT 2015)	38,78	B
F ₁ (L138 x AG-1051)	42,13	A	F ₁ (L37 x FT 2015)	38,10	B
F ₁ (L37 x AG-1051)	42,11	A	F ₁ (L18 x FT 2015)	37,85	B
F ₁ (L134 x AG-1051)	41,97	A	F ₁ (L5 x FT 2015)	37,29	B
F ₁ (L47 x FT 2015)	41,69	A	AG-1051)	42,84	A
F ₁ (L33 x FT 2015)	41,49	A	FT 2015	41,25	A

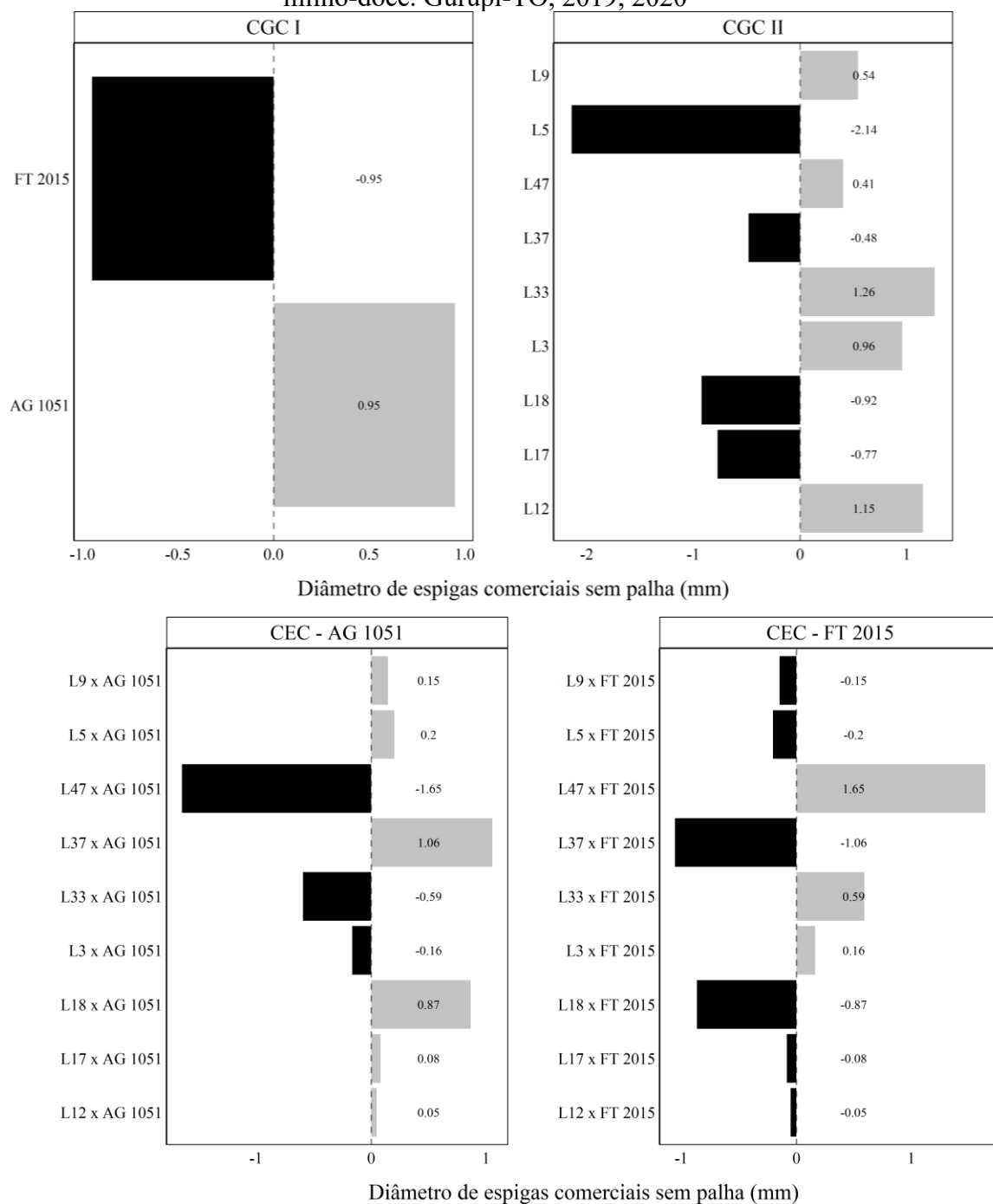
Médias seguidas por letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste Skott-Knott ($p = 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa.

O diâmetro da espiga é uma característica crucial no melhoramento do milho-doce, pois está diretamente ligado ao rendimento e à qualidade do produto. Espigas maiores aumentam o potencial de rendimento por hectare, e são mais atraentes pelos consumidores. Ademais, o tamanho da espiga influencia a eficiência na colheita mecânica e no processamento pós-colheita. Portanto, a seleção de cultivares com espigas de diâmetro ideal é fundamental para garantir a competitividade e a sustentabilidade da indústria de milho-doce, sendo importante para os melhoristas, visando atender às demandas dos produtores e consumidores (KUMAR et al. 2019; AL-HAZEMAWI et al. 2020).

Os valores de estimativas da CGC dos testadores para diâmetro de espiga comercial sem palhas variaram de -0,92 a 0,92 e para o grupo de linhagens e para os testadores as estimativas variaram de -1,5 a 1,6 (Figura 4).

Figura 5 - Estimativas da capacidade geral (g_i e g_j) e específica (s_{ij}) de combinação para diâmetro médio de espiga comerciais sem palha (DIAMSP) em híbridos de milho-verde e milho-doce. Gurupi-TO, 2019, 2020



Fonte: Dados da pesquisa.

A baixa estimativa da capacidade geral de combinação, sendo positiva ou negativa, indica que o comportamento médio de um híbrido, em cruzamento com os demais genótipos, não difere muito da média geral dos cruzamentos, enquanto que a alta estimativa absoluta é um indicativo de que o comportamento médio de um dado genitor é muito superior ou inferior, e

que possui genes favoráveis em alta frequência, possibilitando informar sobre a concentração de genes predominantemente aditivos em seus efeitos (CRUZ et al., 2014).

O genitor AG-1051 apresentou maior valor quando comparado ao genitor FT 2015. Para o grupo das linhagens, os genitores L47, L12, e L3 tiveram maiores médias de CGC. As estimativas de CEC para a característica peso médio de espiga comercial sem palhas, variaram de -1,8 no cruzamento $F_1(L33 \times AG-1051)$ a 1,8 no cruzamento $F_1(L33 \times FT 2015)$. Estimativas positivas de CEC foram observadas nos tratamentos $F_1(L33 \times FT 2015)$, (L3 x FT 2015), (L9 x AG-1051), (L18 x AG-1051), (L37 x AG-1051), (L47 x AG-1051), (L17 x FT 2015), (L5 x AG-1051) e (L12 x FT 2015).

Com base na média das combinações híbridas de CEC e na estimativa de CGC, pode-se observar que os tratamentos $F_1(L12 \times AG-1051)$, (L3 x AG-1051) e (L47 x FT 2015), tiveram resultados superiores para a característica diâmetro de espiga sem palha, e um dos progenitores com CGC positiva, evidenciando que esses genitores podem ser promissores para o programa de melhoramento de milho-doce devido às estimativas favoráveis para a expressão da característica.

O desempenho das combinações híbridas está relacionado ao uso de parentais divergentes e que sejam contrastantes, pois sua complementariedade pode originar desvios positivos ou negativos referente ao comportamento médio dos pais. A diferença entre a capacidade geral e específica de combinação é atribuída à base genética do testador (base ampla ou estreita). O testador ideal, deve oferecer simplicidade no uso, gerar informação que discrimine a base genética e que possa gerar boas combinações híbridas, maximizando o ganho genético (BOLSON et al. 2016; ÖZTÜRK e BÜLENT, 2022).

A seleção pode ocasionar mudança na média da população em função da predominância dos efeitos aditivos quando são utilizados testadores de base ampla ou a predominância dos efeitos de dominância quando são utilizados testadores de base estreita.

A combinação híbrida ideal deverá ser aquela que apresenta, concomitantemente, uma alta estimativa de capacidade específica e ao menos um dos genitores apresente boa estimativa de capacidade geral de combinação. Desta forma, os híbridos $F_1(L37 \times AG-1051)$, (L47 x FT 2015), (L18 x AG-1051), (L5 x AG-1051), (L3 x FT 2015) apresentaram elevados valores de CEC para as características avaliadas, sendo que um dos genitores envolvidos nestes cruzamentos possuem elevados valores de CGC, confirmando a superioridade destes híbridos, permitindo selecioná-los como os mais indicados.

4 CONCLUSÕES

- Os efeitos aditivos e não aditivos foram importantes na expressão fenotípica dos genitores e híbridos avaliados;

- As linhagens L12, L9, L5 e L3 reúnem alelos favoráveis de CGC para diâmetro e comprimento de espigas;

- As linhagens L47, L3 e L12 reúnem alelos favoráveis de CGC para peso médio e produtividade de espigas comerciais sem palhas;

- O testador AG-1051 possui melhor complementariedade com as linhagens testadas, por isto é o mais indicado como escolha.

REFERÊNCIAS

- AL-HAZEMAWI, A. K. H.; HASSAWI, D. S.; MOHAMMED, A. A. Combining ability analysis of yield and yield components in maize (*Zea mays L.*) using line x tester method under heat stress. **Journal of Education and Scientific Studies**, v. 15, p. 231-254, 2020.
- BOLSON, E. et al. Capacidade combinatória de linhagens de milho avaliada por meio de testadores adaptados à safrinha. **Revista Ceres**, v. 63, p. 492-501, 2016.
- CHIQUITO, N. R. et al. Selection of S3 progenies of super sweet corn based on agronomic performance of topcrosses. **Horticultura Brasileira**, v. 39, n. 4, p. 357-361, 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-0536-20210402>.
- COLOMBO, G. A. et al. Capacidade combinatória de híbridos de milho para eficiência e resposta ao uso do fósforo. **Revista Agrogeoambiental**, v. 10, p. 47-60, 2018. Doi: <http://dx.doi.org/10.18406/23161817v10n220181088>
- CRUZ C. D.; VENCOVSKY, R. Comparação de alguns métodos de análise dialélica. **Revista Brasileira de Genética**, v. 12, p. 425-436, 1989.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**, UFV, Viçosa, 2014, 668 p.
- CRUZ, C. D. Genes Software – extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum**, Maringá - PR, v.38, n. 4, p. 547-552, 2016.
- CRUZ, C. D. et al. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 35, p. 271-276, 2016.
- DUBREUIL, V. et al. **Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015**. Confins, p. 1-23, 2018. <https://doi.org/10.4000/confins.15738>
- ENTRINGER, G. C. et al. Correlação e análise de trilha para componentes de produção de milho super-doce. **Revista Ceres**, v. 61, p. 356-361, 2014.
- HASSAN, A. A. et al. Study on combining ability and heterosis in maize (*Zea mays L.*) using partial diallel analysis. **International Journal of Plant Breeding and Crop Scienc.** v. 6, n. 2, p. 520-526, 2019.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Data de Referência: 01/09/2019 - 30/27/2020**. Disponível em: <<https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A001>>. Acesso em: 22 de agosto de 2024.
- KUMAR, S. et al. Combining ability and heterosis for yield contributing and quality traits in medium maturing inbred lines of maize (*Zea mays L.*) using line x tester. **International Journal of Chemical Studies**, v. 7, n. 1, p. 2027-2034, 2019.
- MAIA PAIVA, A.P. **Cruzamentos entre linhagens tropicais de milho-doce e testadores com introgressão de germoplasma temperado**. 2014. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Horticultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu-SP, 2014.
- OMAR JUNIOR, P. et al. Avaliação de linhagens S2 de milho em *topcrosses* com linhagem-elite testadora. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 2, p. 297-309, 2017.
- ÖZTÜRK, A.; BÜLENT, U. Z. U. N. Estimating the Breeding Potential of Purple Sweet Corn Lines with Topcross Mating Design. **Horticultural Studies**, v. 39, p. 63-71, 2022.

- PEREIRA FILHO, I. A.; TEIXEIRA, F. F. **O cultivo do milho-doce**. Brasília: Embrapa, 2016.
- REGITANO-DARCE, M. A. B. et al. Processamento e industrialização do milho para alimentação humana. **Visão Agrícola**, v. 13, p. 138-140, 2015.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. V. **Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação**, p. 360, 1999.
- SILVA, D. F. G. et al. Dissimilaridade genética e definição de grupos de recombinação em progênies de meios-irmãos de milho-verde. **Bragantia**, v. 75, p. 401-410. 2016. Doi: <https://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.343>
- SILVEIRA, D. C. et al. Caracterização agromorfológica de variedades de milho crioulo (*Zea mays L.*) na região noroeste do Rio Grande do Sul. **Revista de Ciência e Tecnologia**, v. 1, p. 01-11, 2015. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782006000300049>.
- SOUZA, R. PINTO, T. T. OGLIARI, J. B. Analysis of on-farm conservation of sweet corn in a diversity microcenter of *Zea mays L.* in southern Brazil. **Maydica**, v. 65, p. 1-11, 2020.
- SUZUKAWA, A. K. et al. Diallel analysis of tropical and temperate sweet and supersweet corn inbred lines. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, p. 607-615, 2018.
- USMAN, S. M. et al. Revelando a doçura: avaliando atributos de rendimento e qualidade de linhagens endogâmicas de milho-doce de primeira geração (*Zea mays* subsp. *sachharata*) por meio de abordagens morfológicas, bioquímicas e baseadas em marcadores. **Molecular Biologia**, v. 51, p. 307, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11033-024-09229-7>
- WANG, B. A montagem do genoma de novo e a análise de 12 linhagens endogâmicas fundadoras fornecem informações sobre a heterose do milho. **Genética da Natureza**, v. 55, p. 312-323, 2023.

CAPÍTULO II

EFEITO TESTADOR DE HÍBRIDOS DE MILHO-VERDE E MILHO-DOCE EM LINHAGENS DE MILHO-DOCE PARA CARACTERES DE PÓS-COLHEITA

RESUMO

No Brasil, a cultura do milho-verde e milho-doce apresenta grande importância social e econômica, sendo uma alternativa de exploração econômica para os produtores rurais. Trabalhos de melhoramento e seleção pós-colheita de características químicas do grão de milho-verde e do milho-doce são escassos. Objetivou-se com esse trabalho verificar o efeito testador de híbridos de milho-verde e milho-doce em linhagens de milho-doce para caracteres de pós-colheita. Foram originados ao total 34 F₁'s, sendo 24 oriundos de linhagens de milho-doce cruzadas com o híbrido AG-1051 e 10 F₁'s oriundos do cruzamento linhagens de milho-doce com o híbrido FT 2015. Dos 34 F₁'s, 18 híbridos experimentais (F₁'s) constituíram o dialelo parcial incompleto. Foram avaliadas as características: pH e °brix cru e cozido e perda de peso. O pH foi medido com o auxílio de um pHmetro digital e o °brix foi expresso com auxílio de um refratômetro. O testador FT 2015 do grupo dos testadores e as linhagens L9, L33, L18, L17, L47 e L3, reúnem alelos favoráveis para CGC com o aumento do teor de sólidos solúveis (°brix) nos grãos de milho cru e cozido. O testador FT 2015 e as linhagens L5, L47, L33, L18, L17 e L12 apresentam valores favoráveis de CGC para a característica pH nos grãos crus e cozido de milho. Os híbridos F₁(L47 x AG-1051), F₁(L17 x AG-1051) e F₁(FT 2015 x L18) tiveram melhores os resultados para pH em grão cru e cozido. Os híbridos AG-1051 e FT 2015 mostraram boa complementariedade com as linhagens testadas, particularmente em termos de sólidos solúveis (°Brix) e pH nos grãos crus e cozidos, além de reduzir a perda de peso, destacando-se como testadores eficazes para melhoramento de milho-doce.

Palavras-chave: Brix. Cozimento. Genética. pH. *Zea mays* L.

TEST EFFECT OF GREEN CORN AND SWEET CORN HYBRIDS IN SWEET CORN LINES FOR POST HARVEST CHARACTERS

ABSTRACT

In Brazil, the cultivation of green corn and sweet corn has great social and economic importance, being an alternative for economic exploitation for rural producers. Improvement work and post-harvest selection of chemical characteristics of green corn and sweet corn grains are scarce. The objective of this work was to verify the testing effect of hybrids of green corn and sweet corn on sweet corn lines for post-harvest traits. A total of 34 F1's were originated, 24 coming from sweet corn lines crossed with the AG-1051 hybrid and 10 F1's coming from crossing sweet corn lines with the FT 2015 hybrid. Of the 34 F1's, 18 experimental hybrids (F1's) constituted the incomplete partial diallel. The characteristics were evaluated: pH and °brix before and after cooking and weight loss. The pH was measured using a digital pH meter and the °brix was expressed using a refractometer. The tester FT 2015 from the tester group and the lines L9, L33, L18, L17, L47 and L3, bring together alleles favorable for CGC with the increase in the soluble solids content (°brix) in raw and cooked corn grains. The FT 2015 tester and the lines L5, L47, L33, L18, L17 and L12 present favorable CGC values for the pH characteristic in raw and cooked corn grains. The hybrids F1(L47 x AG-1051), F1(L17 x AG-1051) and F1(FT 2015 x L18) had better results for pH in raw and cooked grain. The two testers have good complementarity with the strains tested for weight loss.

Keywords: Breeding. Brix. Genetics. pH. *Zea mays* L.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui grande potencial para produção de milhos especiais colhidos verde. Entre a classe de milhos especiais, destacam-se o milho-verde juntamente com o milho-doce, sendo ambos considerados um produto hortícola, devido ao alto valor agregado, ciclo curto, cultivo intensivo e destinado ao consumo humano. A cultura do milho apresenta grande importância social e econômica. Podendo ser comercializado em conserva ou enlatado (processamento industrial), desidratado ou consumido "*in natura*", processado, congelado na forma de espigas ou grãos, como "*baby corn*" (REGITANO-D'ARCE et al., 2015).

As indústrias requerem materiais que, além de produtivos, sejam uniformes quanto à maturação, tamanho e forma das espigas, que auxiliam na uniformidade de plantas e espigas, consequentemente, na qualidade do produto. Quanto as espigas de milho-verde, estas apresentam intensa atividade metabólica mesmo após serem colhidas, o que pode acarretar elevadas perdas pós-colheita, como a desidratação, desequilíbrio nos teores de açúcar e pH, levando à rápida perda de massa e aspecto visual comprometido, tornando seu período de comercialização bastante restrito (PEREIRA FILHO e CRUZ, 2002).

Poucos são os estudos sobre as características físicas, químicas e sensoriais do milho-verde e milho-doce, grande parte das informações encontradas está relacionada apenas a variáveis produtivas. De acordo com Souza et al. (2014), a elevada produtividade desejada nem sempre coincide com espigas comerciais adequadas ao processamento para obtenção de alto rendimento industrial.

Além disso, a pequena quantidade de genótipos adaptados para condições tropicais, bem como o reduzido número de genótipos adequados à comercialização, contribui para que seu consumo não seja tão expressivo. Com a expansão do mercado de milho-doce para a indústria de enlatamento de milho-verde e maior preocupação com sua qualidade, faz-se necessário programas de melhoramento para produção de híbridos de milho-doce adaptados as condições do clima brasileiro (SCAPIM et al., 1995; ARAGÃO et al., 2003).

O melhoramento genético do milho-doce pode ser resumido em duas formas de ações: introduzir o caráter doce (monogênico recessivo) de uma fonte genética qualquer em um material de endosperma normal comercialmente já utilizado, ou submeter um germoplasma doce a um programa de melhoramento de rotina (PARENTONI et al., 1990).

A obtenção de linhagens e a avaliação de seu comportamento, tanto em combinações híbridas quanto "*per se*", é um dos procedimentos básicos para obtenção de híbridos superiores. O método *topcross*, consiste no cruzamento entre as linhagens e um testador, permitindo a

seleção das linhas mais promissoras. A escolha do testador deve gerar informações que classifiquem corretamente o potencial relativo das linhagens em cruzamento, maximizando o ganho genético (GABRIEL et al., 2018).

A análise dialélica tem por finalidade analisar o delineamento genético, provendo estimativas de parâmetros úteis na seleção de progenitores para hibridação e no entendimento dos efeitos genéticos envolvidos na determinação dos caracteres. Desta maneira são estimados os efeitos e as somas de quadrados de efeitos da capacidade geral e específica de combinação. A estimação da capacidade de combinação das linhagens pode ser feita tanto em gerações iniciais de endogamia, quanto em gerações finais (CRUZ et al., 2014).

Entre os possíveis métodos empregados para a avaliação de progênies, o método *topcross* permite a avaliação do mérito relativo de muitas linhagens, em nível intermediário de endogamia, com um testador comum, permitindo a eliminação das linhagens de desempenho inferior, tornando mais racional e eficiente o programa de melhoramento.

Dado o potencial agrícola da região Norte do Brasil e os desafios associados ao cultivo de milho especial em condições tropicais (ROTILI, et al., 2012; LOPES et al., 2018; SOUZA et al., 2015). Com esse enfoque, este estudo busca avaliar o efeito testador de híbridos de milho-verde e milho-doce em linhagens de milho-doce, com ênfase em características pós-colheita.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram realizados no Laboratório de Estudos Fitotécnicos em Hortaliças na UFT Campus de Gurupi. Foram utilizadas espigas provenientes de dois ensaios, conduzidos em condições controladas de adubação e de manejo de pragas e doenças, localizados em campo no setor de Olericultura da Universidade Federal do Tocantins, Câmpus de Gurupi, Tocantins.

O experimento foi conduzido na latitude 11°44'42" sul e longitude 49°03'05" oeste, a 287 metros de altitude. O clima da região é caracterizado por apresentar domínio climático tropical sazonal semi-úmido, do tipo b1 Aw úmido (DUBREUIL, 2018). Para avaliação, foram utilizadas espigas uniformes e com características comerciais adequadas e colhidas no estágio fenológico R4. A colheita foi realizada no período da manhã e o processamento mínimo e as avaliações das espigas de milho-verde, foi realizado no dia seguinte à colheita.

Foi utilizado um esquema fatorial simples (2 x 34 + 2), totalizando 72 tratamentos (constituído de duas épocas, e de 34 híbridos experimentais mais 2 testemunhas comerciais de milho) em delineamento em blocos inteiramente ao acaso, com três repetições. Cada parcela foi formada por duas espigas com características comerciais adequadas como peso de espigas desempalhadas, comprimento e diâmetro de espigas, no estágio fenológico R4, ponto em que os grãos se apresentavam na fase pastosa, conhecido como “ponto de milho-verde”.

As espigas desempalhadas foram alocadas em bandejas de isopor (poliestireno expandido) com dimensões 23,5 cm x 18,2 cm e protegida com filme plástico com espessura de 10 micras, posteriormente foram acondicionadas em uma câmara de refrigeração, com temperatura $16\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2,0$.

As características avaliadas foram:

- Teores sólidos solúveis (°Brix): mensurada com refratômetro antes (cru) e pós cozimento (cozido) em cinco leituras em um intervalo de dois dias.

- pH: mensurado antes (cru) e pós cozimento (cozido) com auxílio de um peagâmetro em cinco leituras em um intervalo de dois dias. Para essas avaliações, 100 gramas de grãos de milho-verde cru e cozido (em água destilada com °Brix 0,00 e pH 6,80) foram triturados em multiprocessador, para posteriormente ser realizada a determinação dos valores de °Brix e pH.

- Perca de peso das espigas verdes: mensurado pela pesagem diária das espigas durante 10 dias, sendo os resultados expressos em porcentagem de perca de peso fresco em relação a peso inicial pela seguinte fórmula:

$$PPF = 100 - \left(\frac{PF \times 100}{PI} \right) \quad (1)$$

Em que (1):

- PPF = perda de peso fresco (%);
- PF = peso da matéria fresca final (g);
- PI = peso da matéria fresca inicial (g).

A partir das análises de variâncias individuais de cada ano foi feita as análises conjuntas. Os dados médios das características agronômicas analisadas foram comparados pelo teste de Scott & Knott a 5 % de probabilidade. Já as combinações dos progenitores, foram estimadas as capacidades gerais (CGC) e específica (CEC) de combinação, utilizando-se o software R (R CORE TEAM, 2024).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observando o quadro do resumo da análise de variância (Tabela 1), houve diferença em todas as características avaliadas. Para a característica °brix cru, houve efeito significativo em todas as fontes de variação, exceto para interação ano x testadores e para os contrastes dialelo vs testadores (D vs T) e dialelo vs experimentais (D vs E). Já para a característica °brix cozido, houve efeito significativo em todas as fontes de variação, exceto para capacidade específica de combinação (CEC), para a interação ano x testadores e para os contrastes dialelo vs testadores (D vs T) e dialelo vs experimentais (D vs E).

Tabela 1 - Resumo da análise da variância das características teor de sólidos solúveis (°brix) cru e cozido e pH cru e cozido de genótipos oriundos do cruzamento dialélico de linhagens de milho-doce com cultivares comerciais de milho-verde. UFT-Gurupi, 2019 e 2020

FV	GL	BRUX CRU	BRUX COZIDO	PH CRU	PH COZIDO
Bloco Anos	4	0,8134	0,5095	0,0053	0,0240
Anos (A)	1	558,57**	40,7769**	0,3978**	40,8204**
Genótipos (G)	35	9,6398**	6,2802**	0,0515**	0,0363**
Híbridos (H)	15	8,7472**	3,7381*	0,0422**	0,0287
Testadores (T)	1	46,0208**	10,0833*	0,0867*	0,147**
Dialelo (D)	17	8,06**	7,22**	0,0554**	0,0354*
CGC I	1	45,50**	35,25**	0,3687**	0,0163
CGC II	8	3,52*	8,56**	0,0344	0,0297
CEC	8	7,92**	2,39	0,0373*	0,0435*
A x G	35	5,2872**	7,3647**	0,0548**	0,0369
A x D	17	5,94**	10,09**	0,0553**	0,0319*
A x T	1	2,5208	2,0833	0,00013	0,044
A x E	15	5,2138**	3,9537*	0,0517**	0,0385*
D vs T	1	2,7401	1,4155	0,0609	0,0135
D vs E	1	0,0305	10,9915*	0,0291	0,0263
Resíduo	140	1,5984	1,9482	0,0176	0,0179

ns: Não significativo; ** *: Significativo a 1 e 5 % de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Dados da pesquisa.

Para pH cru houve efeito significativo em todas as fontes de variação, exceto para a fonte de variação capacidade geral do grupo II (CGCii), para interação ano x testadores (A x T), e para os contrastes dialelo vs testadores (D vs T) e dialelo vs experimentais (D vs E). Já para pH cozido, houve efeito significativo para as fontes de variação anos (A), genótipos (G), testadores (T), híbridos do dialelo (D), capacidade específica de combinação (CEC), para a interação anos x híbridos do dialelo (A x D) e anos x híbridos experimentais (A x E). Com esses resultados é possível afirmar a presença de variabilidade genética, e que os genitores se comportam de maneira diferente, conforme relata Yuwono1 et al. (2017), que também encontraram diferenças entre os genitores avaliados.

Para a característica °brix cru houve efeito significativo entre os tratamentos, F₁(L9 x FT 2015), (L111 x FT 2015), (L33 x FT 2015), (L119 x AG-1051) e o híbrido FT 2015, tiveram

maiores médias diferindo-se dos demais (Tabela 2). Destes 4 híbridos F₁'s, dois pertencem ao dialelo, e apresentaram resultados de °brix superior ao testador AG-1051, evidenciando que para essa característica, o testador FT 2015 quando comparado ao AG 1051, quando cruzado com essas linhagens, apresenta melhor complementariedade.

Tabela 2 - Médias para a característica °brix cru de espigas comerciais sem palha. UFT-Gurupi, 2019, 2020

GENÓTIPOS	°BRIX CRU	MÉDIA	GENÓTIPOS	°BRIX CRU	MÉDIA
F ₁ (L9 x FT 2015)	10,8	A	F ₁ (L33 x AG-1051)	8,0	C
F ₁ (L111 x FT 2015)	10,8	A	F ₁ (L3 x FT 2015)	7,9	C
F ₁ (L33 x FT 2015)	10,2	A	F ₁ (L21 x AG-1051)	7,8	C
F ₁ (L119 x AG 1051)	9,7	A	F ₁ (L17 x AG 1051)	7,8	C
F ₁ (L78 x AG 1051)	9,4	B	F ₁ (L18 x AG 1051)	7,7	C
F ₁ (L18 x FT 2015)	9,0	B	F ₁ (L47 x AG 1051)	7,6	C
F ₁ (L12 x FT 2015)	8,8	B	F ₁ (L3 x AG 1051)	7,5	C
F ₁ (L38 x AG 1051)	8,8	B	F ₁ (L63 x AG 1051)	7,4	C
F ₁ (L5 x FT 2015)	8,7	B	F ₁ (L12 x AG 1051)	7,3	C
F ₁ (L47 x FT 2015)	8,7	B	F ₁ (L112 x AG 1051)	7,3	C
F ₁ (L17 x FT 2015)	8,7	B	F ₁ (L138 x AG 1051)	6,8	C
F ₁ (L60 x AG 1051)	8,6	B	F ₁ (L9 x AG 1051)	6,8	C
F ₁ (L128 x AG 1051)	8,5	B	F ₁ (L13 x AG 1051)	6,7	C
F ₁ (L37 x AG 1051)	8,4	B	F ₁ (L37 x FT 2015)	6,5	C
F ₁ (L79 x AG 1051)	8,3	B	F ₁ (L5 x AG 1051)	6,2	C
F ₁ (L134 x AG 1051)	8,3	B	F ₁ (L39 x AG 1051)	6,0	C
F ₁ (L110 x AG 1051)	8,0	C	FT 2015	10,6	A
F ₁ (L89 x AG 1051)	8,0	C	AG 1051	7,7	C

Médias seguidas por letra maiúscula na coluna e não diferem entre si pelo teste Skott-Knott ($p = 0,05$).

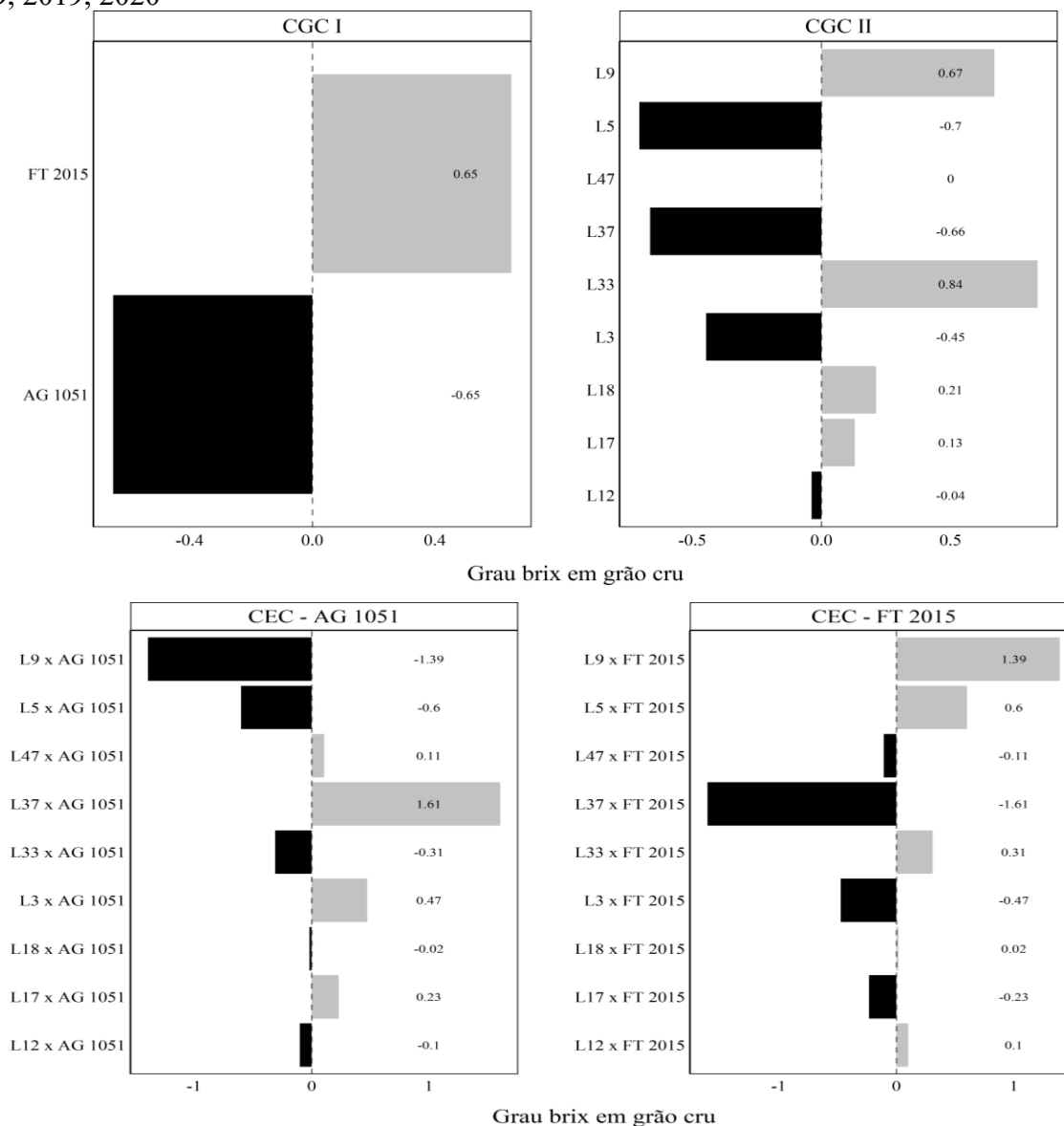
Fonte: Dados da pesquisa.

Além desses tratamentos, observou-se o desempenho de materiais de F₁'s superiores aos híbridos comerciais quanto à característica, potencializando o uso desses genótipos em programas de melhoramento, como no caso dos híbridos F₁(L78 x AG 1051), (L18 x FT 2015), (L12 x FT 2015), (L38 x AG 1051), (L5 x FT 2015), (L47 x FT 2015), (L17 x FT 2015), (L60 x AG 1051), (L128 x AG 1051), (L37 x AG 1051), (L79 x AG 1051) e (L134 x AG 1051). Dessa forma, é possível aferir, que esses genitores contribuem mais consistentemente do que outros para °brix cru, resultando em combinações específicas que resultaram em progênies com °brix de espiga superiores à média (8,2 °brix).

Os valores de estimativas da CGC dos testadores para a característica °brix variaram de -0,65 a 0,65, e para o grupo de linhagens, as estimativas variaram de -0,70 a 0,84 (Figura 1). Geralmente os genitores com maiores valores favoráveis para os efeitos da CGC tendem a apresentar maiores médias para os cruzamentos em que estão envolvidos, sendo assim,

pressupõe-se que o genitor FT 2015 é promissor para compor hibridações. Ademais, é possível observar a presença de heterose nos *topcrosses*, pois o desempenho *per se* médio dos testadores foi inferior ao obtido por parte dos híbridos oriundos do dialelo.

Figura 1 - Estimativas da capacidade geral (g_i e g_j) e específica (s_{ij}) de combinação para °brix cru de espigas comerciais sem palha em híbridos F_1 's de milho-verde e milho-doce. Gurupitô, 2019, 2020



Fonte: Dados da pesquisa.

O efeito do testador sob a característica pode ser grande, requerendo cuidados adicionais na escolha de testadores. O genitor FT 2015 teve CGC positiva e efeito favorável para CEC, juntamente com a expressão fenotípica da média de alguns cruzamentos que participa, porém, o AG 1051 teve participação favorável para alguns cruzamentos envolvidos.

Altas estimativas de CGC estão relacionados à maior frequência de genes favoráveis de natureza aditiva no sentido de aumentar a expressão favorável da característica (COLOMBO et al. 2018). Sendo assim, os genitores L9, L33 L18 e L17 podem ser promissores em programas de melhoramento, visando à seleção genótipos com maiores teores de sólidos solúveis (°brix).

As estimativas de CEC para teor de sólidos solúveis, variaram de -1,39 no cruzamento F_1 (AG-1051 x L9) a 1,39 no cruzamento F_1 (FT 2015 x L9), indicando que, tanto os efeitos gênicos aditivos quanto os não-aditivos são importantes para a expressão da característica desejada. Estimativas positivas de CEC foram observadas nos tratamentos F_1 (L37 x AG-1051), (L5 x FT-2015), (L3 x AG-1051), (L33 x FT 2015), (L17 x AG-1051), (L12 x FT 2015), (L9 x FT 2015) e (L18 x FT 2015).

Observando a média das combinações híbridas de CEC e de CGC, observou-se os tratamentos F_1 (L9 x FT 2015), (L33 x FT 2015) e (L12 x FT 2015), tiveram maiores resultados para a característica °brix e ambos os progenitores com CGC positiva. De acordo com Cruz, Carneiro e Regazzi (2014), seria ideal que além de estimativas elevadas de CGC e CEC, médias de características de interesse também favoráveis, porém, isso não foi visto para o cruzamento F_1 (L37 x AG-1051) e (L3 x AG-1051), onde os dois parentais envolvidos tiveram CGC negativa e maiores valores médios positivos de CEC.

Para a característica °brix cozido houve efeito significativo entre os tratamentos, F_1 (L5x FT 2015), (L111 x FT 2015), (L9 x FT 2015), (L47 x AG-1051) e o híbrido FT 2015, tiveram maiores médias diferindo-se dos demais (Tabela 3). Destes 4 híbridos F_1 's, três pertencem ao dialélo, e apresentaram resultados de °brix superior ao testador AG-1051, evidenciando que para essa característica, o testador FT 2015 comparado ao AG 1051, apresentou as melhores estimativas para teor de sólidos solúveis (°brix). Esses resultados demonstraram que o testador AG FT 2015 tem a maior frequência de alelos favoráveis para elevar as médias das características, apresentando uma melhor complementariedade nos cruzamentos envolvidos, enquanto o testador de base genética ampla AG 1051 tem a menor.

Valores semelhantes foram encontrados por Nihel et al. (2020), que avaliaram diferentes testadores com várias bases genéticas, e observaram os melhores resultados para característica teor de sólidos solúveis (°brix) em cruzamento que envolviam testadores de base genética ampla.

Tabela 3 - Médias para a característica teor de sólidos solúveis (°brix) cozido de espigas comerciais sem palha. UFT-Gurupi, 2019, 2020

GENÓTIPOS	°BRIX COZIDO	MÉDIA	GENÓTIPOS	°BRIX COZIDO	MÉDIA
F ₁ (L5 x FT 2015)	11,2	A	F ₁ (L38 x AG 1051)	7,6	C
F ₁ (L111 x FT 2015)	11,2	A	F ₁ (L21 x AG 1051)	7,5	C
F ₁ (L9 x FT 2015)	11,0	A	F ₁ (L112 x AG 1051)	7,4	C
F ₁ (L47 x FT 2015)	9,8	B	F ₁ (L3 x AG 1051)	7,3	C
F ₁ (L18 x FT 2015)	9,8	B	F ₁ (L12 x AG 1051)	7,3	C
F ₁ (L119 x AG 1051)	9,8	B	F ₁ (L17 x AG 1051)	7,3	C
F ₁ (L78 x AG 1051)	9,8	B	F ₁ (L47 x AG 1051)	7,3	C
F ₁ (L17 x FT 2015)	9,5	B	F ₁ (L18 x AG 1051)	7,2	C
F ₁ (L33 x FT 2015)	9,4	B	F ₁ (L33 x AG 1051)	7,2	C
F ₁ (L3 x FT 2015)	9,4	B	F ₁ (L110 x AG 1051)	7,2	C
F ₁ (L12 x FT 2015)	9,2	B	F ₁ (L63 x AG 1051)	7,1	C
F ₁ (L60 x AG 1051)	8,6	B	F ₁ (L13 x AG 1051)	7,0	C
F ₁ (L128 x AG 1051)	8,5	B	F ₁ (L37 x FT 2015)	6,7	C
F ₁ (L134 x AG 1051)	8,3	B	F ₁ (L138 x AG 1051)	6,5	C
F ₁ (L37 x AG 1051)	8,3	B	F ₁ (L39 x AG 1051)	6,3	C
F ₁ (L9 x AG 1051)	7,9	B	F ₁ (L5 x AG 1051)	6,3	C
F ₁ (L89 x AG 1051)	7,8	C	FT 2015	10,9	A
F ₁ (L79 x AG 1051)	7,8	C	AG 1051	8,2	B

Médias seguidas por letra maiúscula na coluna e não diferem entre si pelo teste Skott-Knott ($p = 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa.

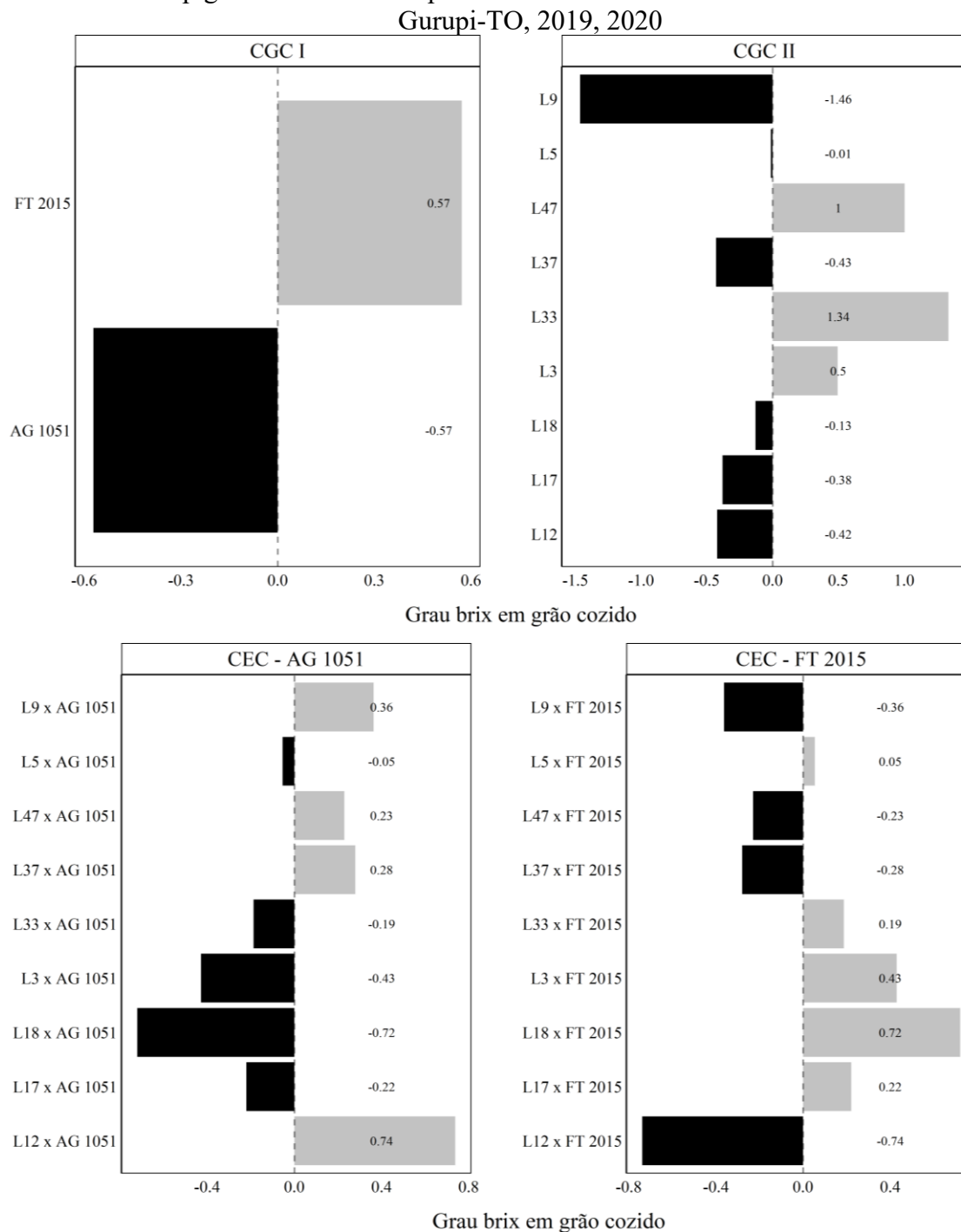
Apesar do híbrido AG 1051 não apresentar maiores resultados de sólidos solúveis associados às boas estimativas de CGC e CEC, pode-se observar valores superiores à sua média (7,7 °brix) em cruzamentos que está envolvido, (F₁(L78 x AG 1051), (L38 x AG 1051), (L60 x AG 1051), (L128 x AG 1051), (L37 x AG 1051), (L79 x AG 1051) e (L134 x AG 1051)), seguido de bons resultados para produtividade de espigas. Uma possível explicação, seria os alelos de alguns genes envolvidos nesses cruzamentos, os alelos mutantes dos genes *su1*, *sh2* e *se*, que conferem os níveis de sabor adocicado, são recessivos.

Para que um milho-doce exiba o sabor característico, ele precisa herdar duas cópias dos alelos recessivos, uma de cada progenitor, porém, apenas o híbrido FT 2015, apresenta esses alelos. Dessa forma, se possuir uma cópia dominante, ele expressará características de milho comum, com maior teor de amido. A combinação de diferentes alelos em cruzamentos pode resultar em diferentes níveis de doçura, fato esse que pode ser observado nos resultados de teor de sólidos solúveis e nos grãos de algumas espigas, com várias tonalidades de cores, que tem relação direta com o teor de amido.

Os valores de estimativas da CGC dos testadores para a característica °brix variaram de -0,57 a 0,57, e para o grupo de linhagens, as estimativas variaram de -1,34 a 1,46 (Figura

2). Geralmente os genitores com maiores valores favoráveis para os efeitos da CGC tendem a apresentar maiores médias para os cruzamentos em que estão envolvidos, sendo assim, pressupõe-se que o genitor FT 2015 é promissor para compor hibridações.

Figura 2 - Estimativas da capacidade geral (g_i e g_j) e específica (s_{ij}) de combinação para °brix cozido de espigas comerciais sem palha em híbridos F_1 's de milho-verde e milho-doce.



Fonte: Dados da pesquisa.

A transferência de características, como o sabor doce do milho-doce para o milho-verde, é explorada por meio de cruzamentos planejados entre diferentes genótipos para avaliar a capacidade combinatória. Os híbridos resultantes desses cruzamentos podem herdar uma gama de características, incluindo sabor mais doce do milho-doce, dependendo da herança genética e das interações entre os genes dos genótipos usados nos cruzamentos.

No entanto, o teor de açúcares pode não ser tão intenso quanto o do milho-doce, já que o milho-verde tende a ser mais rico em amido e menos em açúcares. Isso pode ser observado nos cruzamentos envolvidos o testador AG-1051, que possui endosperma comum com maior teor de amido, e apresentou em seus cruzamentos, teores menores de sólidos solúveis, quando comparado aos cruzamentos do FT-2015.

Para essa característica teor de sólidos solúveis (SS), alguns autores em seus estudos (PERFEITO et al., 2017; MAMEDE et al., 2014), avaliaram parâmetros físico-químicos de cultivares comerciais de milho-doce com valores médio próximo a 15 ° brix. Para o trabalho desenvolvido, o híbrido comercial FT 2015, apresentou média próxima de 11 °brix, e 7 híbridos experimentais tiveram média estatísticas iguais, independentemente do tipo de processamento, cru ou cozido. Portanto, os resultados desses híbridos F₁'s são tidos como aceitáveis e desejáveis, podendo resultar em genótipos promissores para o programa de melhoramento de milho-doce devido às estimativas favoráveis para a expressão da característica.

Sendo assim, em um experimento dialélico que envolve cruzamentos entre milho-doce e milho-verde, é possível transferir genes que influenciam o sabor doce, mas o grau de sucesso dependerá da capacidade combinatória dos genótipos usados no experimento. Observando a CEC dos cruzamentos e resultados de produtividade, os híbridos F₁(L18 x AG-1051), (L3 x FT 2015), (L5 x AG-1051), (L33 x FT 2015), (L12 x FT 2015), (L37 x AG-1051), (L47 x FT 2015), (L17 x FT 2015) e (L9 x AG-1051), podem ser promissores, pois associado ao teor médio sólidos solúveis cru e cozido, também se observa estimativas superiores de produtividade, seguido de boas estimativas de CEC, com um dos genitores com boa CGC, sendo potenciais indivíduos para se tornarem genótipos superiores com estimativas favoráveis para a expressão da característica.

Os estudos de análise dialélica têm sido frequentemente utilizados no melhoramento genético de milho-doce (HALLAUER et al., 2010; SADAIAH et al., 2013; SUZUKAWA et al., 2018; TEIXEIRA et al., 2013). Souza (2019) utilizou a análise dialélica para estudar a base genética dos caracteres fenológicos, morfológicos e agrônômicos das variedades de milho-doce e comprovou a existência de variabilidade resultante da ação de efeitos aditivos para a maioria dos caracteres avaliados. No entanto, poucas são as informações sobre a capacidade

combinatória e os efeitos genéticos predominantes na determinação dos caracteres relacionados à qualidade química dos grãos de milho-doce.

Para a característica pH cru os tratamentos, F₁(L47 x AG 1051), (L119 x AG 1051), (L60 x AG 1051), (L3 x FT 2015), (L12 x AG 1051), (L128 x AG 1051), (L37 x AG 1051), (L38 x AG 1051), (L17 x AG 1051), (L79 x AG 1051), (L134 x AG 1051), (L33 x AG 1051), (L3 x AG 1051), (L138 x AG 1051), (L89 x AG 1051), (L112 x AG 1051) e FT-2015, diferiram-se dos demais (Tabela 4).

Tabela 4 - Médias para a característica pH cru de espigas comerciais sem palha. UFT-Gurupi, 2019, 2020

GENÓTIPOS	PH CRU	MÉDIA	GENÓTIPOS	PH CRU	MÉDIA
F ₁ (L47 x AG 1051)	7,5	A	F ₁ (L78 x AG 1051)	7,2	B
F ₁ (L119 x AG 1051)	7,4	A	F ₁ (L9 x AG 1051)	7,2	B
F ₁ (L60 x AG 1051)	7,4	A	F ₁ (L5 x AG 1051)	7,2	B
F ₁ (L3 x FT 2015)	7,4	A	F ₁ (L18 x AG 1051)	7,2	B
F ₁ (L12 x AG 1051)	7,4	A	F ₁ (L111 x FT 2015)	7,2	B
F ₁ (L128 x AG 1051)	7,4	A	F ₁ (L63 x AG 1051)	7,2	B
F ₁ (L37 x AG 1051)	7,3	A	F ₁ (L5 x FT 2015)	7,2	B
F ₁ (L38 x AG 1051)	7,3	A	F ₁ (L47 x FT 2015)	7,2	B
F ₁ (L17 x AG 1051)	7,3	A	F ₁ (L13 x AG 1051)	7,2	B
F ₁ (L79 x AG 1051)	7,3	A	F ₁ (L18 x FT 2015)	7,2	B
F ₁ (L134 x AG 1051)	7,3	A	F ₁ (L21 x AG 1051)	7,2	B
F ₁ (L33 x AG 1051)	7,3	A	F ₁ (L17 x FT 2015)	7,1	B
F ₁ (L3 x AG 1051)	7,3	A	F ₁ (L9 x FT 2015)	7,1	B
F ₁ (L138 x AG 1051)	7,3	A	F ₁ (L110 x AG 1051)	7,1	B
F ₁ (L89 x AG 1051)	7,3	A	F ₁ (L33 x FT 2015)	7,1	B
F ₁ (L112 x AG 1051)	7,3	A	F ₁ (L12 x FT 2015)	7,1	B
F ₁ (L37 x FT 2015)	7,3	A	FT 2015	7,4	A
F ₁ (L39 x AG 1051))	7,2	B	AG 1051	7,2	B

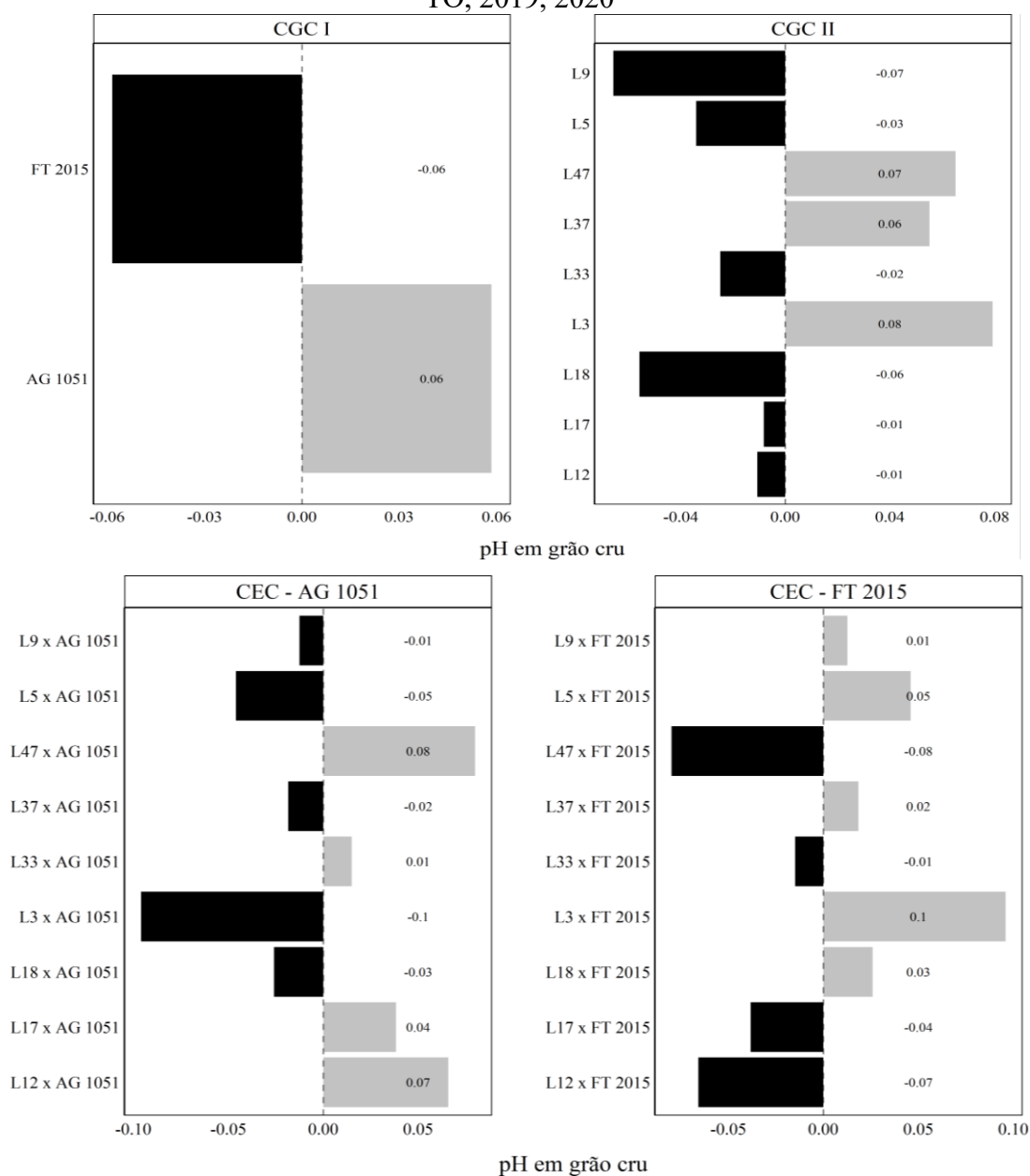
Médias seguidas por letra maiúscula na coluna e não diferem entre si pelo teste Skott-Knott ($p = 0,05$).

Fonte: Dados da pesquisa.

Pode-se observar que o pH dos híbridos tem valores próximos independentemente do tipo de processamento, cru ou cozido, uma possível explicação pode estar relacionada com o pH da água do grão do milho, visto que nesses estágios os grãos estão com alto teor de água, e o milho não é considerado um alimento ácido. Esses dados são próximos aos relatados na literatura para milho-verde, classificado como um alimento pouco ácido e, por isso, favorável à multiplicação de microrganismos (LEME, 2007). O milho quando colhido verde é considerado como um alimento altamente perecível, devido a seu alto teor de umidade, o que torna o seu período de comercialização bastante restrito (SILVA et al., 1997).

Os valores de estimativas da CGC dos testadores para a característica pH cru variaram de -0,06 a 0,06, e para o grupo de linhagens, as estimativas variaram de -0,07 a 0,07 (Figura 3). As estimativas de CEC para pH cru, variaram de -0,08 no cruzamento F_1 (FT 2015 x L47) a 0,08 no cruzamento F_1 (AG-1051 x L47). Estimativas positivas de CEC foram observadas nos tratamentos F_1 (L47 x AG-1051), (L33 x AG-1051), (L12 x AG-1051), (L17 x AG-1051), (L5 x FT 2015), (L37 x AG-1051), (L3 x FT 2015), (FT 2015 x L18).

Figura 3 - Estimativas da capacidade geral (g_i e g_j) e específica (s_{ij}) de combinação para pH cru de espigas comerciais sem palha em híbridos F_1 's de milho-verde e milho-doce. Gurupitô, 2019, 2020



Fonte: Dados da pesquisa.

Os menores valores de pH obtidos para o milho sugerem menor suscetibilidade a

microrganismos deterioradores e patológicos, potencializando a característica de maior perecibilidade. A caracterização físico-química dos grãos de milho é um fator importante na definição das propriedades de aceitação sensorial e qualidade industrial do produto

Para a característica pH cozido os tratamentos, F₁(L78 x AG 1051), (L9 x AG 1051), (L5 x AG 1051), (L18 x AG 1051), (L111 x FT 2015), (L63 x AG 1051), (L5 x FT 2015), (L47 x FT 2015), (L13 x AG 1051), (L18 x FT 2015), (L21 x AG 1051), (L17 x FT 2015), (L9 x FT 2015), (L110 x AG 1051), (L33 x FT 2015) e AG-1051, tiveram médias inferiores e diferiram-se dos demais (Tabela 5).

Mamede et al. (2014) realizaram análise físico-química de grãos de milho-doce e obtiveram pH médio de 7,1, e teor de °brix máximo 14 °Brix. Os autores indicaram que esse valor é satisfatório para o milho-doce, pois o maior teor de Brix, aliado a um pH próximo da neutralidade, realça o sabor (doçura) do milho-doce, o que gera maior palatabilidade e aceitação do público consumidor.

Tabela 5 - Médias para a característica pH cozido de espigas comerciais sem palha. UFT-Gurupi, 2019, 2020

GENÓTIPOS	PH COZIDO	MÉDIA	GENÓTIPOS	PH COZIDO	MÉDIA
F ₁ (L47 x AG 1051)	7,5	A	F ₁ (L78 x AG 1051)	7,2	B
F ₁ (L119 x AG 1051)	7,4	A	F ₁ (L9 x AG 1051)	7,2	B
F ₁ (L60 x AG 1051)	7,4	A	F ₁ (L5 x AG 1051)	7,2	B
F ₁ (L3 x FT 2015)	7,4	A	F ₁ (L18 x AG 1051)	7,2	B
F ₁ (L12 x AG 1051)	7,4	A	F ₁ (L111 x FT 2015)	7,2	B
F ₁ (L128 x AG 1051)	7,4	A	F ₁ (L63 x AG 1051)	7,2	B
F ₁ (L37 x AG 1051)	7,3	A	F ₁ (L5 x FT 2015)	7,2	B
F ₁ (L38 x AG 1051)	7,3	A	F ₁ (L47 x FT 2015)	7,2	B
F ₁ (L17 x AG 1051)	7,3	A	F ₁ (L13 x AG 1051)	7,2	B
F ₁ (L79 x AG 1051)	7,3	A	F ₁ (L18 x FT 2015)	7,2	B
F ₁ (L134 x AG 1051)	7,3	A	F ₁ (L21 x AG 1051)	7,2	B
F ₁ (L33 x AG 1051)	7,3	A	F ₁ (L17 x FT 2015)	7,1	B
F ₁ (L3 x AG 1051)	7,3	A	F ₁ (L9 x FT 2015)	7,1	B
F ₁ (L138 x AG 1051)	7,3	A	F ₁ (L110 x AG 1051)	7,1	B
F ₁ (L89 x AG 1051)	7,3	A	F ₁ (L33 x FT 2015)	7,1	B
F ₁ (L112 x AG 1051)	7,3	A	F ₁ (L12 x FT 2015)	7,1	B
F ₁ (L37 x FT 2015)	7,3	A	FT 2015	7,4	A
F ₁ (L39 x AG 1051)	7,2	B	AG 1051	7,2	B

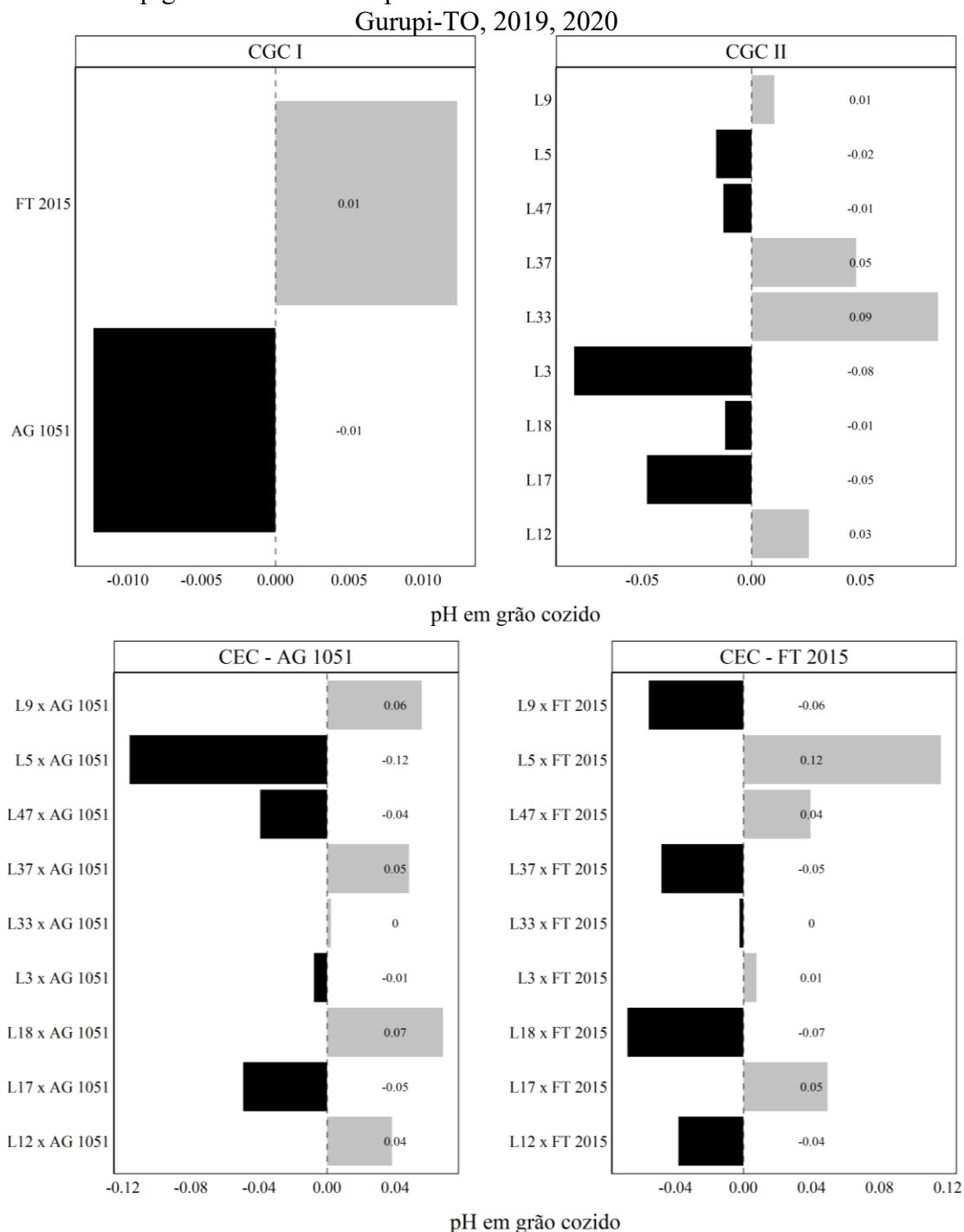
Médias seguidas por letra maiúscula na coluna e não diferem entre si pelo teste Skott-Knott (p = 0,05).

Fonte: Dados da pesquisa.

Os valores de estimativas da CGC dos testadores para a característica pH cozido variaram de -0,01 a 0,01, e para o grupo de linhagens, as estimativas variaram de -0,08 a 0,09 (Figura 4). As estimativas de CEC para pH cozido, variaram de -0,08 no cruzamento F₁(FT

2015 x L5) a 0,08 no cruzamento $F_1(AG-1051 \times L5)$. Estimativas negativas de CEC foram observadas nos tratamentos $F_1(L5 \times AG-1051)$, $(L47 \times AG-1051)$, $(L3 \times AG-1051)$, $(L17 \times AG-1051)$, $(L9 \times FT 2015)$, $(L37 \times FT 2015)$, $(L33 \times FT 2015)$, $(FT 2015 \times L18)$ e $(FT 2015 \times L12)$.

Figura 4 - Estimativas da capacidade geral (g_i e g_j) e específica (s_{ij}) de combinação para pH cozido de espigas comerciais sem palha em híbridos F_1 's de milho-verde e milho-doce.



Fonte: Dados da pesquisa.

O processo de cozimento pode alterar o pH do grão de milho-doce devido a mudanças

químicas que ocorrem quando o milho é aquecido. O calor pode causar a hidrólise de certos compostos, como ácidos orgânicos, que podem afetar o pH. No entanto, essas alterações geralmente são pequenas e o pH do milho-doce tende a permanecer relativamente estável após o cozimento. Em geral, o impacto do cozimento no pH do grão de milho-doce não é tão pronunciado como em outros aspectos do processamento, como a textura e o sabor. O pH pode sofrer pequenas variações, mas o milho-doce geralmente mantém um pH semelhante ao seu estado cru após o cozimento, fato este observado no trabalho (NOGUERIA et al., 2017).

O conhecimento sobre o processo fisiológico no período de pós-colheita é de fundamental importância, pois o metabolismo permanece ativo (PEREIRA FILHO e CRUZ, 2002). Nesse sentido, híbridos com médias menores e estimativas de CGC e CEC negativas, são de interesse para a característica estudada.

Perca de peso das espigas

Para a característica perca de peso, houve diferença significativa para tratamentos, dias, para a interação tratamento x dias e tratamentos época. A perca de água pós-colheita e conseqüentemente a perca de peso de espigas de milho, exerce profundos efeitos sobre sua fisiologia, e tem relação direta com a firmeza, pois é um dos fatores responsáveis pelo turgor e pela firmeza do tecido. Conhecer o processo fisiológico do milho-verde no período de pós-colheita é de fundamental importância, pois o metabolismo permanece ativo.

Tabela 6 - Resumo da análise da variância da perca de peso (%) de genótipos oriundos do cruzamento dialélico de linhagens de milho-doce com cultivares comerciais de milho-verde. UFT-Gurupi, 2019 e 2020

FV	GL	Q.M
Rep (Época)	2	0.09**
Tratamentos (T)	35	0.02*
Dias (D)	8	0.25**
Época (É)	1	0.01 ^{ns}
(T x D)	280	0.05**
(T x É)	35	0.01**
(D x É)	8	0.02 ^{ns}
(T x D x É)	280	0.00 ^{ns}
Resíduo	1294	0.09

Médias seguidas por letra maiúscula na coluna e não diferem entre si pelo teste Skott-Knott ($p = 0,05$).

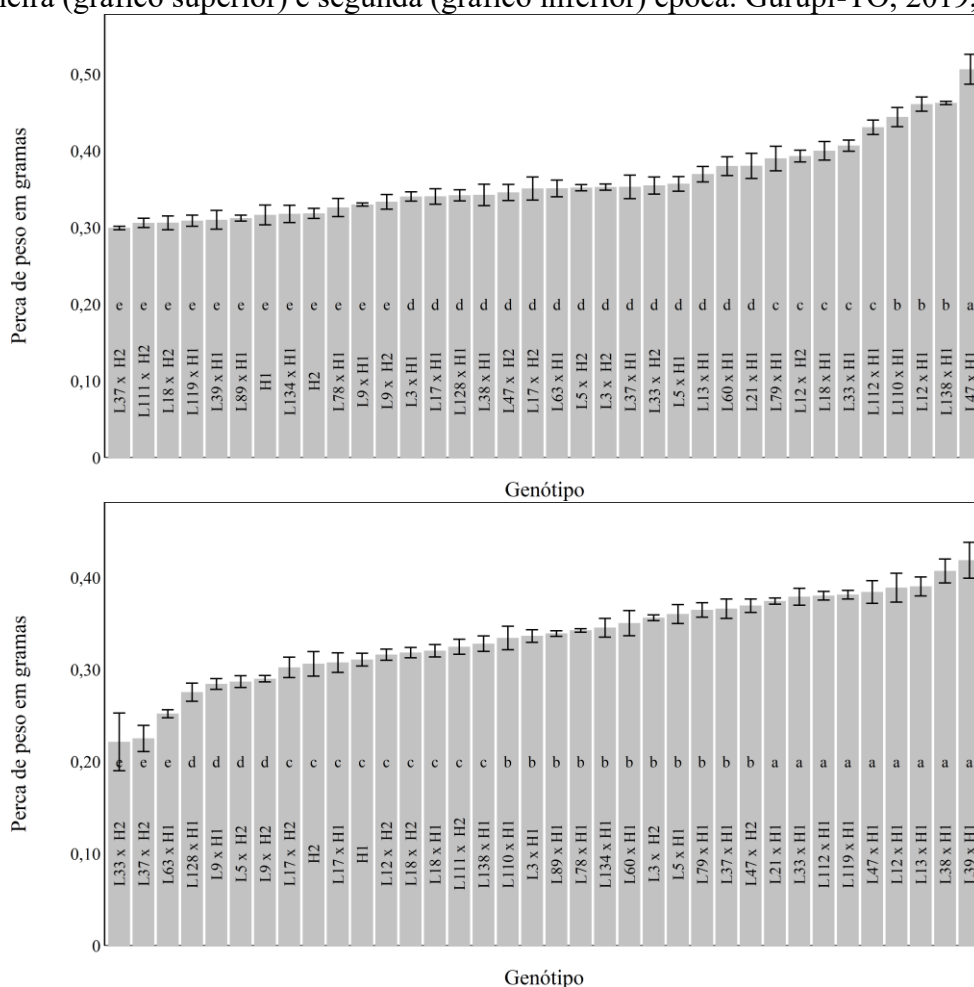
Fonte: Dados da pesquisa.

O principal fator responsável pela perca de massa durante o armazenamento do milho-verde e milho-doce é a transpiração, que está diretamente relacionada com a respiração do produto. Percas de peso acima de 7 % são suficientes para causar declínio acentuado da

qualidade do produto. Para as cultivares de milho-verde, a perda de massa observada ocorre em percentual inferior ao valor máximo (7%) permitido para a comercialização no varejo, independentemente do tipo de testador envolvidos nos cruzamentos (CALVO-BRENES e O'HARE, 2020 ; SZYMANEK et al., 2015).

Observando os resultados de perda de peso da primeira época, houve diferença entre os tratamentos, formaram-se 5 grupos distintos, os híbridos F_1 (FT 2015 x L37), (FT 2015 x L111), (FT 2015 x L18), (AG-1051 x L119), (AG-1051 x L39), (AG-1051 x L89), AG 1051, F_1 (AG-1051 x L134), FT 2015, F_1 (AG-1051 x L78) e F_1 (AG-1051 x L9), tiveram menores perdas de pesos ao longo do tempo, sendo assim os menos perecíveis, com maior tempo de prateleira “shelf life”.

Figura 5 - Estimativas da capacidade geral (g_i e g_j) e específica (s_{ij}) de combinação para perda de peso de espigas comerciais sem palha em híbridos de milho-verde e milho-doce da primeira (gráfico superior) e segunda (gráfico inferior) época. Gurupi-TO, 2019, 2020



Fonte: Dados da pesquisa.

Sendo assim, esses cruzamentos apresentam qualidade similar para a comercialização de espigas minimamente processadas. Esses resultados corroboram com os encontrados por

Mamede et al. (2015) encontraram percas de massa abaixo de 3,41%, para três cultivares de milho-doce minimamente processado, armazenado sob atmosfera modificada passiva por nove dias, valores superiores aos encontrados neste estudo para as espigas armazenadas em atmosfera controlada.

Para a perda de peso na segunda época, os materiais diferiram-se estatisticamente, os híbridos F_1 (FT 2015 x L3), (FT 2015 x L37) e (AG 1051 x AG 1051) tiveram menores percas de pesos. A perda de peso pode ser atribuída às reações metabólicas, como a respiração e a transpiração, que reduzem a quantidade de água presente no tecido vegetal. Esses processos são influenciados por fatores como temperatura e umidade durante o armazenamento, o que pode ser otimizado para reduzir as perdas.

Segundo a literatura, o milho-doce retém o teor de açúcar por um maior período pós-colheita, já que a perda de água é mais demorada e o açúcar não é rapidamente convertido em amido quando se compara com outros tipos de milho (LAUGHNAN, 1953; HUELSEN, 1954).

Porém, tanto para a primeira quanto para a segunda época, os dois testadores tiveram médias iguais, e ambos estiveram envolvidos em cruzamentos que apresentaram menores percas de peso (F_1 (FT 2015 x L37), (FT 2015 x L111), (FT 2015 x L18), (AG-1051 x L119), (AG-1051 x L39), (AG-1051 x L89), AG 1051, F_1 (AG-1051 x L134), FT 2015, F_1 (AG-1051 x L78) e (AG-1051 x L9), (FT 2015 x L3), (FT 2015 x L37) e (AG 1051 x AG 1051). Embora ambos os testadores tenham apresentado médias iguais, é importante investigar se fatores genéticos comuns ou condições experimentais semelhantes podem ter contribuído para esses resultados.

Dado que as informações sobre a capacidade combinatória e os efeitos genéticos na qualidade dos grãos são escassas, é essencial que futuros estudos avaliem esses fatores em variedades locais de milho-doce e milho comum. Isso permitirá a identificação de ações gênicas predominantes e contribuirá para o desenvolvimento de estratégias de melhoramento e manejo pós-colheita mais eficazes.

4 CONCLUSÕES

- Os efeitos gênicos aditivos e não-aditivos são importantes para os caracteres pH e °Brix, cru e cozido e para perda de peso;
- O testador FT 2015 do grupo dos testadores e as linhagens L9, L33, L18, L17, L47 e L3, reúnem alelos favoráveis para CGC com o aumento do teor de sólidos solúveis (°brix) nos grãos de milho cru e cozido;
- O testador FT 2015 e as linhagens L5, L47, L33, L18, L17 e L12 apresentam valores favoráveis de CGC para a característica pH nos grãos crus e cozido de milho;
- Os testadores promoveram uma classificação diferenciada para a base genética avaliada, com destaque para as combinações $F_1(L18 \times AG-1051)$, $F_1(L3 \times FT 2015)$, $F_1(L5 \times AG-1051)$, $F_1(L33 \times FT 2015)$, $F_1(L12 \times FT 2015)$, $F_1(L37 \times AG-1051)$, $F_1(L47 \times FT 2015)$, $F_1(L17 \times FT 2015)$ e $F_1(L9 \times AG-1051)$ que tiveram maiores valores de sólidos solúveis (°brix) de grãos cru e cozido;
- Os híbridos $F_1(L47 \times AG-1051)$, $F_1(L17 \times AG-1051)$ e $F_1(FT 2015 \times L18)$ tiveram melhores os resultados para pH em grão cru e cozido;
- Os dois testadores possuem boa complementariedade com as linhagens testadas para perda de peso.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A combinação entre linhagens e os testadores produz híbridos mais produtivos do que as testemunhas comerciais para todas as características. O testador AG 1051 apresenta melhores médias de CGC para caracteres agronômicos, enquanto o testador FT 2015 apresenta melhores médias de CGC para caracteres pós-colheita. É necessário cada vez mais estudos de dialelos com testadores na cultura do milho-verde e milho-doce para identificar o tipo de ação genica em caracteres pós-colheita. Os testadores utilizados foram capazes de discriminar a variabilidade entre as progênies, porém, não foi possível identificar apenas um testador adequado considerando os caracteres avaliados. Foram identificadas progênies promissoras para a produtividade de espigas e teores de sólidos solúveis (°brix), que devem seguir no programa de melhoramento da UFT.

REFERÊNCIAS

- ARAGÃO, C. A. et al. Atividade amilolítica e qualidade fisiológica de sementes armazenadas de milho super doce tratadas com ácido giberélico. **Revista Brasileira de Sementes**, v.25, n.1, p.43-48, 2003.
- CALVO-BRENES, P.; O'HARE, T. Efeito do congelamento e armazenamento refrigerado no conteúdo de carotenoides e na qualidade do milho-doce amarelo padrão e biofortificado com zeaxantina (*Zea mays* L.). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 86, p. 103353, 2020. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103353>
- COLOMBO, G. A. et al. Capacidade combinatória de híbridos de milho para eficiência e resposta ao uso do fósforo. **Revista Agrogeoambiental**, v. 10, p. 47-60, 2018. Doi: <http://dx.doi.org/10.18406/23161817v10n220181088>
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**, UFV, Viçosa, 2014, 668 p.
- DUBREUIL, V. et al. **Os tipos de climas anuais no Brasil**: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. *Confins*, p. 1-23, 2018. Doi: <https://doi.org/10.4000/confins.15738>
- GABRIEL, A. et al. Desempenho agronomico e estabilidade de topcrosses de milho avaliados em Minas Gerais e Paraná. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 2, p. 303–316, 2018.
- HALLAUER, A. R.; CARENA, M. J.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. New York: Springer Science + Business Media, Inc, 2010.
- HUELSEN, W.A. **Sweet corn**. New York: Interscience, 1954, 409p.
- LAUGHNAN, J. R. The effect of the sh2 factor on carbohydrate reserves in the mature endosperm of maize. **Genetics**, v.38, p.485-99, 1953.
- LEME, A. C. **Avaliação e armazenamento de híbridos de milho-verde visando a produção de pamonha**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade de São Paulo/ Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba/SP, 2007.
- LOPES, D. A. P. S. et al. Conservação pós-colheita de espigas de milho-verde minimamente processado. In: Congresso Brasileiro De Olericultura, ed. 55. 2018. **Anais**. Bonito-MS: ABH. 2018, p. 591.
- MAMEDE, A. M. G. N. et al. Qualidade do milho-doce minimamente processado conservado sob diferentes atmosferas. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 22, n. 6, p. 520-534, 2014. Doi: <http://dx.doi.org/10.13083/reveng.v22i6.583>.
- MAMEDE, A. M. G. N. et al. Conservação pós-colheita do milho-verde minimamente processado sob atmosfera controlada e refrigeração. **Rev Ceres**, v. 62, n. 2, p. 149–58, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201562020004>
- NIHEI, T. H. et al. Testadores em linhas de milho superdoce. **Ciência Rural**, v. 50, n. 3, p. e20190447, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190447>

- NOGUEIRA, L. C. et al. Extração de açúcares do grão de milho de 1, 18mm em diferentes tempos de cozimento. *Anais do XII Congresso Brasileiro De Engenharia Química Em Iniciação Científica-Blucher Chemical Engineering Proceedings*. v. 1, n. 4, 2017.
- PARENTONI, S.N. et al. Milho-doce. *Informe Agropecuário*, v.14, p.17-22, 1990.
- PERFEITO, D. G. A. et al. Post-harvest characterization of sweet corn submitted to nitrogen fertigation. *Brazilian Journal of Food Technology*, v.20, e2016140, 2017.
- PEREIRA FILHO, I. A. CRUZ, J. C. **Cultivares de milho para o consumo verde**. Sete Lagoas: Embrapa CNPMS. Circular técnica n. 15, 2002. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/milhoparaconsumoverde_000fgp4g99u02wyiv8020uvkp1bpy66y.pdf Acesso em 21 de Agosto de 2024.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.
- REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; FILLET SPOTO, M. H.; CASTELLUCCI, A. C. L. Processamento e industrialização do milho para alimentação humana. *Visão agrícola*, n. 13, p. 138-140, 2015.
- ROTILI, E. A. et al. Divergência genética em genótipos de milho, no estado do Tocantins. *Revista Ciência Agronômica*, v.43, p.516-521, 2012.
- SADAI AH, K.; REDDY, N.; KUMAR, S. Heterosis and combining ability studies for sugar content in sweet corn (*Zea mays saccharata* L.). *International Journal of Scientific and Research Publications*, v. 3, p. 1-5, 2013.
- SCAPIM, C. A.; CRUZ, C. D.; ARAÚJO, J. M. Cruzamentos dialélicos entre sete cultivares de milho-doce. *Hortic. Bras.*, v.13, n.1, p.19-21, 1995.
- SILVA, P. S. L.; BARRETO, H. E. P.; SANTOS, M. X. A. Avaliação de cultivares de milho quanto ao rendimento de grãos verdes e secos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 32, n. 1, p. 63-69, 1997.
- SOUZA, E. J. et al. Effect of irrigation and nitrogen fertilization on agronomic traits of sweet corn. *Agricultural Research in the Tropics*, v. 45, p. 282-290, 2015.
- SOUZA, R. S. et al. Produtividade e qualidade do milho-doce em diferentes populações de plantas. *Semina*, v. 34, p. 995-1010, 2014.
- SOUZA, R. **Variedades locais de milho-doce do Extremo Oeste de Santa Catarina: Caracterização, potencial agrônomo e estudo de base genética**. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2019.
- SUZUKAWA, A. K. et al. Diallel analysis of tropical and temperate sweet and supersweet corn inbred lines. *Rev. Ciência Agronômica*, v. 49, n. 4, p. 607-615, 2018.
- SZYMANEK, M.; TANASÍ, W.; KASSAR, F. H. Concentração de carboidratos do grão em grãos de milho-doce açucarados-1, enriquecidos com açúcar e encolhidos. *Agricultura e Ciência Agrícola Procedia*, v. 7, p. 260 – 264, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.12.044>
- TEIXEIRA, F. F. et al. Melhoramento de Milho-doce. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2013, 32 p.

YUWONO, P. D.; MURTI, R. H.; BASUNANDA, P. Heterosis and specific combining ability in sweet corn and its correlation with genetic similarity of inbred lines. **Journal of Agricultural Science**, v. 9, n. 3 p. 253, 2017.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Semeadura, irrigação e controle de pragas.



Fonte: o próprio autor.



Fonte: o próprio autor.



Fonte: o próprio autor.

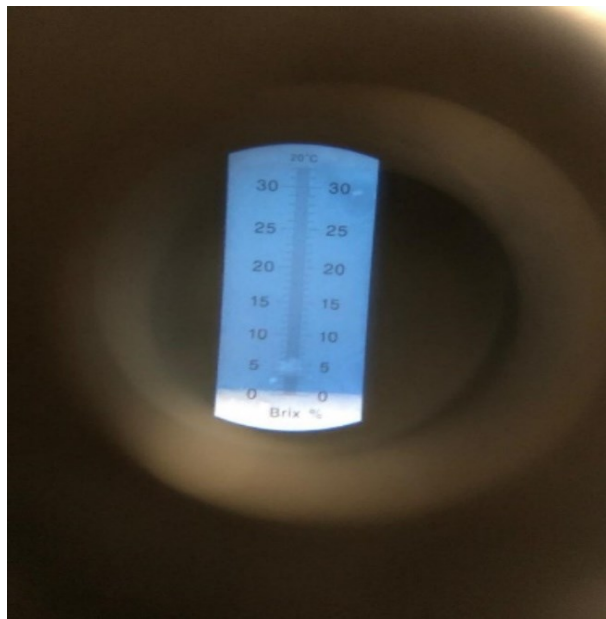
APÊNDICE B - Leituras e demais análises realizadas nos experimentos.



Fonte: o próprio autor.



Fonte: o próprio autor.



Fonte: o próprio autor.