

Potencial de híbridos e linhagens de milho para consumo *in natura* em condições de estresse abiótico

Potential of corn hybrids and lines for fresh consumption under abiotic stress conditions

Luan Filipe Salvador de Lima^a, Maria Elisa Ayres Guidetti Zagatto Paterniani, Paulo Boller Gallo, Cristina Fachini, Cristiani Santos Bernini

^aMestrado IAC. E-mail: sluan.flima@gmail.com

Resumo: O Milho verde, apesar de sua importância para o mercado e de fonte alternativa de renda para os produtores brasileiros, apresenta escassez de genótipos que reúnam características de produção e qualidade. Isto implica o desenvolvimento de novas cultivares, como os métodos de dialelos ou top crosses, amplamente utilizados para a seleção de linhagens e obtenção de híbridos em programas de melhoramento. Este estudo buscou estimar a capacidade geral de combinação (CGC) de linhagens de milho verde e identificar combinações híbridas promissoras, de elevada produtividade e qualidade de espigas. Para a obtenção de híbridos *top crosses* foram cruzadas 12 linhagens S6, do programa de melhoramento de milho do IAC, em Campinas, com 2 testadores. Os 24 híbridos *top crosses* e 6 testemunhas comerciais foram avaliados de campo, no Polo Regional da APTA (IAC) em Mococa-SP, no ano agrícola 2019/20, com temperatura de 24,84°C e umidade média de 69,21%. O CIIAGRO (2021), registrou precipitação de 880,912mm, período de florescimento, causando adversidades para o experimento devido às chuvas e ventos fortes. Avaliaram-se os seguintes caracteres: florescimento masculino e feminino (nº de dias), peso de espigas (kg.ha⁻¹), diâmetro e comprimento da espiga (cm) e peso de 100 grãos (g). Houve diferenças significativas para peso de espigas, número de fileiras de grãos na espiga, florescimento masculino e peso de 100 grãos. Os híbridos *top crosses* Cativerde x (6B277V-4-3) e (6B277V-2-4) x IAC-8046 foram selecionados por apresentarem as melhores médias de produtividade, estimativas elevadas da capacidade geral e específica de combinação das linhagens envolvidas, além de sua tolerância a fatores de estresse hídrico.

Palavras-chave: *Zea mays* L.; capacidade combinatória; híbridos top cross. milho verde.

Abstract: (Milho verde), despite its importance for the market and an alternative source of income for Brazilian producers, presents a scarcity of genotypes that combine production and quality characteristics. This implies the development of new cultivars, such as diallel methods or top crosses, widely used for the selection of lines and obtaining hybrids in breeding programs. This study sought to estimate the general combining capacity (GCG) of green corn lines and identify promising hybrid combinations, with high productivity and ear quality. To obtain top cross hybrids, 12 S6 lines were crossed, from the IAC corn breeding program, in Campinas, with 2 testers. The 24 top cross hybrids and 6 commercial controls were evaluated in the field, at the APTA Regional Center (IAC) in Mococa-SP, in the 2019/20 agricultural year, with a temperature of 24.84°C and an average humidity of 69.21%. CIIAGRO (2021), recorded precipitation of 880.912mm, the flowering period, causing adversities for the experiment due to rain and strong winds. The following characters were evaluated: male and female flowering (number of days), ear weight (kg.ha⁻¹), ear diameter and length (cm) and weight of 100 grains (g). There were significant differences for ear weight, number of rows of grains in the ear, male flowering and 100-grain weight. The top cross hybrids Cativerde x (6B277V-4-3) and (6B277V-2-4) x IAC-8046 were selected because they present the best productivity averages, high

estimates of the general and specific combining capacity of the lines involved, in addition to their tolerance to water stress factors.

Keywords: *Zea mays* L.; combining ability; topcross hybrids; green maize.

Submetido em: 01/12/2023.

Aceito em: 01/12/2023

Publicado em: 05/04/2024

1 INTRODUÇÃO

Um dos cereais mais cultivados e com importante papel na economia global, o milho (*Zea mays* L.) tem boa parte da sua produção destinada à nutrição animal, sendo menos de 10% utilizada para alimentação humana. Os milhos verde, branco, pipoca e minimilho, destinados ao consumo humano, são denominados milhos especiais e representam nichos de mercado como alternativa de renda para o produtor, podendo elevar os lucros em até 60% quando comparada com a comercialização do grão (Castro *et al.* 2013).

Devido à maior lucratividade e ao maior valor de comercialização, a produção de milho verde vem aumentando significativamente quando se compara com a produção de milho grão. O cereal mais cultivado e consumido no país, com estimativa para a safra 2019/20 de 102,5 milhões de toneladas, tem sua importância econômica devida às diversas formas de utilização, tanto para alimentação animal quanto humana (CEAGESP, 2021).

O consumo pode ser *in natura* ou através do preparo de típicas receitas culinárias como bolos, sorvetes, biscoitos, pamonha, curau, etc., porém, o cultivo geralmente ocorre sem a utilização de material genético apropriado para esse fim, com baixos teores de açúcares e rápida conversão em amido. A disponibilidade de cultivares recomendadas para a produção de milho verde é restrita, com menos de 2% recomendadas para esta finalidade. Dessa forma, há grande necessidade de desenvolvimento de cultivares visando melhorar a qualidade do produto e atender

os sistemas de produção principalmente de pequenos e médios produtores, garantindo-lhes a maior lucratividade. Ressalta-se ainda a dificuldade destes em adquirir os híbridos convencionais de milho, já que os transgênicos dominam o mercado de grãos. (Albuquerque *et al.*, 2008; Coan; Pinto; Scapim, 2018; Luz *et al.*, 2014; Moraes *et al.*, 2010; Pereira Filho; Borghi, 2018;

Segundo Pereira Filho (2003), o milho verde deve apresentar alguns atributos para melhor aceitação no mercado, tais como espigas de tamanho comercial maiores que 15cm de comprimento e 3cm de diâmetro, coloração amarelo claro/creme dos grãos, maciez e endurecimento lento dos grãos, alinhamento retilíneo das fileiras, pericarpo fino. Além disso, uma boa cultivar deve apresentar boa produtividade, ciclo precoce, variando de 80-90 dias, longevidade na colheita, bom empalhamento e resistência às principais pragas e doenças.

O topcross é uma forma efetiva de avaliar um elevado número de linhagens, consistindo no cruzamento de um grupo de linhagens com um ou mais testadores, objetivando eliminar as de menor aptidão e tornar o programa de desenvolvimento de híbridos mais eficiente. A análise dialélica parcial permite estimar a capacidade de combinação entre os híbridos, auxiliando o melhorista na seleção de genótipos superiores, tornando o programa de desenvolvimento de híbridos mais eficiente. Explorar a capacidade geral de combinação (CGC) das linhagens aumenta a probabilidade de obtenção de híbridos de alto rendimento, devido a maiores contribuições dos alelos

favoráveis nos genótipos. A identificação de híbridos com maiores valores de capacidade específica de combinação (CEC) indica efetivamente a exploração da heterose entre as linhagens (Ribeiro *et al.*, 2000).

As informações sobre avaliações de cultivares destinadas exclusivamente para o mercado do milho verde, bem como estudos genéticos que visam a obtenção de novas cultivares apropriadas para esse fim, são escassos no Brasil. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar híbridos top crosses e estimar a capacidade geral de linhagens parcialmente endogâmicas de milho com aptidão para o consumo *in natura*, visando à seleção das mais promissoras para esta finalidade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cultivo do milho

Da família Poaceae, originária da América Central e cultivado em quase toda extensão do mundo, o milho possui elevado grau de domesticação e capacidade adaptativa. A grande diversidade genética nas características morfológicas da planta levou o melhoramento a direcionar seu uso para as diversas ocasiões e necessidades. Toda comercialização que não seja na forma de grãos secos (*commodities*) é designada como milho especial e envolve a produção de milho para o consumo *in natura*, milho doce, branco, pipoca, minimilho, milho ceroso, entre outros nichos de mercado (Pereira Filho; Cruz, 2009).

A cultura apresenta uma grande importância econômica para o país, gerando renda e empregos tanto para o pequeno quanto para o grande produtor dentro da cadeia do agronegócio. O Brasil é o terceiro maior produtor de milho no mundo, atrás apenas dos Estados Unidos e China. A produção no país é diversificada, envolvendo desde produtores que utilizam alto nível de tecnologia até pequenos produtores, cujas lavouras são formadas por sementes crioulas e com baixo

investimento tecnológico (Cascão, 2020; Cruz, 2011; Carneiro, 2012; Companhia Nacional de Abastecimento [Conab], 2020).

Tradição em todo o país, o milho verde refere-se ao milho colhido com grãos ainda no estágio leitoso (R3) é consumido em *in natura* forma de grãos enlatados, espiga cozida ou assada ou na forma de subprodutos da culinária como pamonha, curau, suco, entre outros. É um alimento energético, bastante nutritivo e rico em carboidratos. O sabor do milho verde geralmente é caracterizado pela ação isolada ou conjunta de 8 genes mutantes identificados: shrunken-2 (sh2); Brittle (bt); sugary enhancer (se), sugary (su) e Brittle-2 (bt2); dull (du); waxy (wx) e amilose extender (ae). Contudo, a expressão dessas características geralmente está ligada a fatores indesejáveis na produção como alta suscetibilidade a pragas e doenças e baixa produtividade (Oliveira Jr. *et al.*, 2006; Kuki, 2016).

A exploração da cultura tem se mostrado promissora em razão do alto potencial produtivo, valor agregado e da alta demanda pelo produto *in natura*, representando uma alternativa extra de lucro, principalmente para pequenos e médios produtores. Através do escalonamento da produção pode ser produzido durante o ano todo, sendo comercializado como hortaliça e movimentando a agricultura familiar (Tavares *et al.*, 2006; Rodrigues *et al.*, 2009; Teixeira *et al.*, 2001)

Apesar da escassez de informações sobre a comercialização, sabe-se que o desenvolvimento da atividade tem crescido em todo o país. Produtores estão migrando de outras culturas para o “negócio do milho verde” devido ao aumento da demanda pelo mercado consumidor. Devido à falta de informação sobre a aceitação do consumidor e da desuniformidade dos genótipos utilizados, sabe-se apenas que a quantidade de açúcar presente no grão é um fator de importância na preferência do

consumidor. Os programas de melhoramento buscam alinhar as características de interesse do produtor e mercado consumidor. Pela eficiente seleção dos genitores é que se formarão novos híbridos promissores (Rodrigues *et al.*, 2009). A avaliação de híbridos *topcrosses* torna-se uma importante ferramenta, permitindo seleção eficiente de linhagens comparando-as com testadores (PATERNIANI *et al.*, 2006; FERREIRA *et al.*, 2009).

2.2 Melhoramento de milho verde

Os programas de melhoramento de plantas visam aumentar a produtividade e, no caso do milho verde, atender as exigências dos produtores e consumidores. Para ser bem aceita, uma cultivar de milho verde deve apresentar porte médio, produtividade de espigas empalhadas superior a 12 t.ha⁻¹, ciclo precoce, resistência ao acamamento e quebraimento, bom empalhamento das espigas, firmeza no pedúnculo, sabugo claro, cilíndrico e, grãos dentados amarelo-claros/creme, grandes, uniformes, com teores de açúcar e amido em equilíbrio para a produção de alimentos tradicionais da culinária brasileira e maior janela de colheita (Pereira Filho, 2003). Para que uma espiga de milho verde despalhada tenha uso comercial, ela deverá possuir diâmetro maior que 30 milímetros e comprimento maior que 15 centímetros (Albuquerque, 2005). Além disso, pela facilidade na avaliação, Cancellier *et al.* (2015) ressaltam a importância do bom empalhamento das espigas, a resistência ao ataque de lagartas além do alinhamento retilíneo dos grãos, que também devem apresentar o pericarpo fino e endurecimento lento.

Em 2008, Albuquerque *et al.* propuseram reduzir o número de características avaliadas nos experimentos com milho verde devido as associações entre as principais características avaliadas para essa finalidade, mantendo avaliação de produtividade de espigas empalhadas e

cor de grãos. Para Rodrigues *et al.* (2011) apenas a avaliação da produtividade de espigas empalhadas define quais híbridos apresentam o melhor desempenho para a produtividade de espigas comerciais, diâmetro e comprimento de espigas

O estudo da preferência do produto pelo consumidor também pode ser útil no processo de desenvolvimento de novas cultivares, cabendo ao melhorista utilizar recursos como análises sensoriais a fim de investigar a potencialidade do novo genótipo. Grigulo *et al.*, (2011) encontraram maiores porcentagens de preferência atribuídas aos genótipos Superdoce e Doce Cristal, com 89,6 e 87,5 %, respectivamente, porém, estes apresentaram baixo desempenho agrônômico, mostrando-se inferiores aos demais genótipos. Isso deve-se ao fato de características indesejáveis acompanharem os genes ligados ao teor de açúcar do grão.

Ainda são escassos os trabalhos de melhoramento genético de populações visando o consumo *in natura*. A necessidade de avaliação e seleção de diversas características simultaneamente tornam os trabalhos dispendiosos e um programa de melhoramento só terá sucesso se for eficiente na seleção dos genitores que serão utilizados nas combinações híbridas.

A análise dialélica é frequentemente utilizada por fornecer informações úteis para a seleção de diversas características além de informar sobre os efeitos dos genes predominantemente aditivos. A identificação de linhagens superiores pode ser dada eficientemente, em uma determinada região, através da avaliação de híbridos *topcross* onde se utiliza testadores em um esquema de dialelo (Paterniani *et al.*, 2006; Ferreira *et al.*, 2009; Ribeiro *et al.*, 2000; Rodrigues *et al.*, 2009).

A capacidade geral de combinação (CGC) corresponde ao desempenho médio de um genitor em diversas combinações

híbridas e está relacionada à ação aditiva dos genes. A capacidade específica de combinação (CEC) demonstra o quanto cada combinação, isoladamente, mostra-se superior ou inferior ao que se espera com base no comportamento dos genitores envolvidos e está associada aos efeitos de dominância e epistasia dos genes. A combinação mais favorável deverá ser aquela que apresentar maior estimativa de CEC em que pelo menos um dos parentais apresente elevada capacidade geral de combinação. A ausência de significância na CEC indica a não complementação alélica dominante entre os parentais (Vencovsky; Barriga, 1992; Cruz; Regazzi; Carneiro, 2004).

No que diz respeito ao milho para o consumo *in natura*, Rocha *et al.* (2019) avaliando híbridos no estado de São Paulo, em Tatuí e Campinas, encontraram populações promissoras para este segmento, revelando a predominância dos efeitos aditivos e não aditivos no controle das características de produtividade de grãos e rendimento de espigas com e sem palha, além do efeito da heterose, que os permitiu indicar um híbrido para o cultivo de milho verde.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material genético

Doze linhagens parcialmente endogâmicas S₆ do programa de melhoramento de milho verde do Instituto Agrônomo foram cruzadas com dois testadores, em campo isolados no tempo e espaço, para a obtenção de híbridos "topcrosses". As linhagens foram selecionadas para o consumo *in natura*, com boa porcentagem de espigas comercializáveis, grãos do tipo dentado e de coloração amarelo claro/creme. Foram escolhidos como testadores desse programa a variedade de polinização aberta Cativerde, denominado topcross 1, e o híbrido intervarietal IAC 8046, denominado topcross 2. Os testadores também foram selecionados por

possuírem boas características para o consumo *in natura*.

As 24 combinações híbridas *top crosses* e mais seis testemunhas comerciais, Sertanejo, IA 61277, IAC 8046, IAC 8053, BM 3051 e Cativerde foram avaliadas no município de Mococa, no Polo Regional do Nordeste Paulista, DDD/APTA (latitude 21° 28'S, longitude 47°, no estado de São Paulo. Os tratamentos foram submetidos a avaliações em ensaios de competição, na safra 2019/20, para a avaliação dos seguintes caracteres morfoagronômicos: Número de dias para o florescimento masculino (FM); Número de dias para o florescimento feminino (FF); Produtividade de espigas (PE); Número de fileiras de grãos (NF); Diâmetro de espigas sem palha (DE): valor médio do diâmetro tomado na região mediana de 5 espigas despalhadas da parcela em centímetros (cm); Comprimento de espigas (CE): valor médio do comprimento de 5 espigas despalhadas da parcela em centímetros (cm); Peso de cem grãos (P100): valor médio do peso de cem grãos realizado em triplicata em gramas (g).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com três repetições. A parcela experimental foi constituída por três linhas de 5 m de comprimento, com espaçamento de 0,8 m entre linhas e 0,2 m entre plantas e duas plantas por cova, com estande ideal de 62.500 plantas.ha⁻¹. Os valores associados à produtividade de espigas e grãos foram corrigidos para umidade de 14% e estande ideal de plantas. Os dados obtidos foram submetidos a análises de variância e as médias foram agrupadas pelo Teste de Scott-Knott (1974) a 5% de probabilidade

3.2 Análise dialélica

As médias dos tratamentos comuns do topcross 1 e topcross 2, excetuando as testemunhas, de cada análise individual, foram organizadas, para, então, ser realizada a análise dialélica. A análise dialélica individual foi realizada de acordo com o modelo 4 proposto por Griffing

(1956), adaptado para cruzamentos dialélicos parciais por Miranda Filho e Geraldi (1984):

$$Y_{ij} = \mu + \frac{1}{2} (d_1 + d_2) + \hat{g}_i + \hat{g}_j + \hat{s}_{ij} + \epsilon_{ij}$$

em que Y_{ij} é a média do cruzamento que inclui o i -ésimo genitor do grupo 1 e o j -ésimo genitor do grupo 2; μ é a média geral do dialelo; d_1 e d_2 são os contrastes que incluem as médias do grupo 1 e 2 e a média geral; \hat{g}_i é o efeito da capacidade geral de combinação do i -ésimo genitor do grupo 1; \hat{g}_j é o efeito da capacidade geral de combinação do j -ésimo genitor do grupo 2; \hat{s}_{ij} é o efeito da capacidade específica de combinação e ϵ_{ij} é o erro experimental médio.

As análises de variância e dialélicas foram efetuadas com o uso do software GENES (Cruz, 2016).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No ensaio conduzido no Polo Regional do Nordeste Paulista em Mococa, pertencente à região intermediária de Campinas, a temperatura e umidade média foram 24,84°C e 69,21%, respectivamente.

Tabela 1 – Análise de variância dos caracteres florescimento masculino (FM) e feminino (FF)(dias), número de fileiras de grãos na espiga (NF), peso de espigas (kg.ha⁻¹)(PE), comprimento (mm)(CE) e diâmetro da espiga (mm)(DE), peso de grãos (kg.ha⁻¹)(PG) e peso de cem grãos (g)(P100) dos híbridos de milho verde avaliados em Mococa – SP, 2019/20.

(continua)

QM					
FV	GL	FM	FF	NF	PE
Blocos	2	2,841	4,801	0,763	166382,65
Tratamentos	29	6,153 **	2,483 _{ns}	1,431 **	938597,182 **
Híbridos	23	6,711 **	2,692 _{ns}	1,383 *	992418,530 **
Testemunhas	5	0,890 _{ns}	0,003 _{ns}	1,941 *	792074,543 *
Hib. x Test	1	19,631 **	10,002 *	0,021 _{ns}	433319,111 _{ns}
Resíduo	58	1,922	2,043	0,683	308992,04
Média Geral		59,844	64,333	15,364	5782,468
Média Híbridos		59,611	64,167	15,372	5747,774

Ainda, segundo o Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas – CIIAGRO (2021), a precipitação no período de foi de 880,912mm, com chuvas e ventos fortes que se apresentaram como adversidades na condução do experimento. Com base na análise de variância da Tabela 1 foi possível verificar diferenças significativas entre tratamentos para os caracteres peso de espigas (kg.ha⁻¹), número de fileiras de grãos na espiga e florescimento masculino (número de dias) e para peso de cem grãos. Os coeficientes de variação obtidos são considerados de baixo a médio, indicando eficiência no controle da variação ambiental, segundo Fritsche-Neto *et al.*, (2012).

Verificadas as diferenças significativas, as médias dos tratamentos foram submetidas ao teste de agrupamento de Scott-Knott a 5% de probabilidade, evidenciando a formação de dois grupos [a e b] para os caracteres florescimento feminino, peso de espigas, número de fileiras e peso de 100 grãos (Tabela 2).

Tabela 1 – Análise de variância dos caracteres florescimento masculino (FM) e feminino (FF)(dias), número de fileiras de grãos na espiga (NF), peso de espigas (kg.ha⁻¹)(PE), comprimento (mm)(CE) e diâmetro da espiga (mm)(DE), peso de grãos (kg.ha⁻¹)(PG) e peso de cem grãos (g)(P100) dos híbridos de milho verde avaliados em Mococa – SP, 2019/20.

(conclusão)

QM					
FV	GL	FM	FF	NF	PE
Média Test.		60,778	65	15,333	5921,243
CV%		2,318	2,221	5,353	9,613
Quadrados Médios					
FV	GL	CE	DE	P100	
Blocos	2	214,801	6,010	5,351	
Tratamentos	29	111,483 _{ns}	3,653 _{ns}	20,543 [*]	
Híbridos	23	117,184 _{ns}	3,651 _{ns}	20,821 [*]	
Testemunhas	5	100,732 _{ns}	4,313 _{ns}	23,443 _{ns}	
Hib. x Test.	1	34,233 _{ns}	0,281 _{ns}	0,064 _{ns}	
Resíduo	58	84,254	2,904	10,384	
Média Geral		158,256	43,689	28,133	
Média Híbridos.		158,564	43,661	28,121	
Média Test.		157,022	43,8	28,185	
CV%		5,8	3,901	11,451	

Fonte: Elaborado pelos autores

QM: Quadrados médios

FV: Fonte de variação

GL: Graus de liberdade

ns, * e **: não significativo, significativo a 1 e 5%, respectivamente.

Tabela 2 – Médias dos caracteres Florescimento masculino (FM), Número de fileiras (NF), peso de espigas (PE) e peso de 100 grãos (P100) de híbridos top crosses e testemunhas de milho verde avaliados em Mococa, 2019/2020.

(continua)

Híbridos topcross	FM	NF	PE	P100
Cativerde x 7 (6B277V-4-3)	61.000 a	15.067 b	7008.416 a	30.443 a
(6B277V-2-4) x IAC 8046	57.000 b	14.933 b	6607.629 a	30.223 a
BM 3051	61.000 a	14.800 b	6501.709 a	31.113 a
IAC 8053	59.667 a	15.200 b	6451.103 a	29.557 a

Tabela 2 – Médias dos caracteres Florescimento masculino (FM), Número de fileiras (NF), peso de espigas (PE) e peso de 100 grãos (P100) de híbridos top crosses e testemunhas de milho verde avaliados em Mococa, 2019/2020.

(conclusão)

Híbridos topcross	FM		NF		PE		P100	
Cativerde x (6B277V8-2)	57.000	b	15.867	a	6285.978	a	28.887	a
(BM 3061-2-6) x IAC 8046	59.667	a	15.467	a	6206.258	a	26.890	b
(6B277V2-11) x IAC 8046	58.333	b	15.733	a	6186.029	a	27.777	a
Sertanejo (variedade)	61.000	a	14.533	b	6181.828	a	29.777	a
(BM 3061-5-1) x IAC 8046	59.667	a	14.800	b	6100.169	a	27.110	b
Cativerde x (BM 3061-2-4)	61.000	a	15.200	b	5996.219	a	28.667	a
Cativerde x (6B277-2-2)	61.000	a	14.400	b	5994.112	a	31.113	a
Cativerde x (6B277V5-8)	61.000	a	15.867	a	5912.685	a	27.333	b
Cativerde x (BM 3061-2-6)	59.667	a	15.200	b	5886.180	a	29.333	a
(6B277V2-10) x IAC 8046	61.000	a	14.667	b	5864.327	a	28.000	a
Cativerde x (6B277V-7-1-2)	59.667	a	14.400	b	5837.885	a	26.220	b
Cativerde x (6B277V-2-4)	58.333	b	15.600	a	5724.786	b	30.003	a
(6B277V5-8) x IAC 8046	59.667	a	16.000	a	5722.609	b	29.110	a
(6B277V-4-3) x IAC 8046	61.000	a	14.800	b	5638.938	b	32.447	a
Cativerde x (6B277V7-6)	61.000	a	16.667	a	5602.410	b	28.667	a
(6B277V8-2) x IAC 8046	59.667	a	16.800	a	5598.680	b	26.223	b
Cativerde x (6B277V2-10)	57.000	b	15.600	a	5558.836	b	23.333	b
Cativerde x (BM 3061-5-1)	61.000	a	14.400	b	5526.775	b	32.890	a
Cativerde (variedade)	61.000	a	15.067	b	5518.391	b	26.667	b
IAC 8046	61.000	a	16.800	a	5480.053	b	23.333	b
Cativerde x (6B277V2-11)	57.000	b	14.667	b	5434.172	b	26.223	b
IA 61277	61.000	a	15.600	a	5394.376	b	28.663	a
(6B277V7-6) x IAC 8046	61.000	a	15.867	a	5155.056	b	25.110	b
(6B277-2-2) x IAC 8046	61.000	a	15.200	b	5124.181	b	31.113	a
(6B277V-7-1-2) x IAC 8046	59.667	a	15.600	a	4727.410	b	23.110	b
(BM 3061-2-4) x IAC 8046	58.333	b	16.133	a	4246.837	b	24.667	b

Fonte: elaborado pelos autores.

*Médias seguidas da mesma letra pertencem ao mesmo grupo de Scott-Knott.

Não houve diferenças significativas no contraste entre Híbridos vs Testemunhas da maioria das características avaliadas, indicando que o comportamento dos genótipos foi similar ao comportamento das testemunhas,

evidenciando a qualidade dos híbridos *topcrosses* de milho verde do IAC. Apenas as características relacionadas ao ciclo, florescimento masculino e feminino, apresentaram diferenças significativas.

Tabela 3 – Quadrados médios da análise dialélica para os caracteres florescimento masculino (FM) e feminino (FF) (número de dias), número de fileiras de grãos na espiga (NF), peso de espigas (kg.ha⁻¹) (PE), comprimento (CE) e diâmetro da espiga (DE) (mm), peso de grãos(kg.ha⁻¹)(PG) e peso de 100 grãos (g) (P100), avaliados em Mococa – SP na safra 2019/20.

QM					
FV	GL	FM	FF	NF	PE
Tratamentos	23	6,715 *	2,696 _{ns}	1,380 **	992418,533 *
CGC - GI (testadores)	1	0,222 _{ns}	10,889 **	1,176 _{ns}	1611310,184 **
CGC- GII (linhagens)	11	8,949 *	2,485 _{ns}	1,901 *	779107,195 **
CEC- I x II	11	5,071 **	2,162 _{ns}	0,880 _{ns}	1149466,995 *
Resíduo	46	2,193	2,522	0.677004	350407,902

QM					
FV	GL	CE	DE	PG	P100
Tratamentos	23	117,178 _{ns}	3,65 _{ns}	386705,501	20,803 **
CGC - GI (testadores)	1	259,160 _{ns}	4.531 _{ns}	1003418,152	16,056 *
CGC - GII (linhagens)	11	143,632 _{ns}	5,262 _{ns}	272270,706	27,650 *
CEC (I x II)	11	77,816 _{ns}	1,903 _{ns}	445075,501*	14,386 _{ns}
Resíduo	46	84,645	2,709	155418	9,321

Fonte: elaborado pelos autores.

QM: Quadrados médios

FV: Fonte de variação

GL: Graus de liberdade

ns, * e **: não significativo, significativo a 1 e 5%, respectivamente.

Os resultados dos caracteres dos 24 híbridos *topcrosses* sem as testemunhas foram submetidos à análise dialélica a fim de decompor os efeitos de tratamentos em $\hat{\sigma}_i$, $\hat{\sigma}_j$ e $\hat{\sigma}_{ij}$.

A Tabela 3 contém os quadrados médios dos desdobramentos dos efeitos em CGC, onde observam-se efeitos significativos ($p < 0,05$) para as características florescimento feminino, peso de espigas e peso de grãos,

permitindo afirmar que, preponderantemente, efeitos aditivos atuam no controle destas características. Já a CEC demonstrou efeitos significativos para as características florescimento masculino, peso de espigas e de grãos, indicando que há combinações que divergem do esperado com base na CGC devido aos efeitos não aditivos envolvidos no controle destas características.

Nas estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação, o testador Cativerde, apresentou valores positivos de CGC para todas as variáveis relacionadas à produção (Tabela 4). Afirma-se, portanto, que este testador possui alelos efetivos que proporcionam incrementos positivos, nos cruzamentos que participa, para o peso, comprimento e diâmetro de espigas bem como no peso total de grãos e o peso de cem grãos. Os valores de \hat{g}_i e \hat{g}_j também indicam a frequência de alelos favoráveis em genitores do grupo II.

Desta forma, as linhagens 6B277V-4-3 e 6B277V-2-4 apresentaram a maior contribuição positiva para as

principais características relacionadas à produção, peso, comprimento e diâmetro de espigas, peso total de grãos e o peso de cem grãos. A linhagem 6B277V-4-3 contribuiu positivamente, nos cruzamentos em que esteve envolvida, com estimativas de \hat{g}_i 4,440mm, 1,606mm, 575,90kg.ha⁻¹ e 3,320g para os caracteres CE, DE, PE e P100, respectivamente. Já a linhagem 6B277V-2-4 contribuiu com \hat{g}_i de 2,7mm, 0,639mm, 418,433kg.ha⁻¹ e 1,990g para os caracteres CE, DE, PE e P100, respectivamente.

Tabela 4 – Estimativas da Capacidade Geral de Combinação (\hat{g}_i e \hat{g}_j) dos genitores do grupo I (testadores) e grupo II (linhagens) para os caracteres florescimento masculino (FM) e feminino (FF) (número de dias), número de fileiras de grãos na espiga (NF), peso de espigas (kg.ha⁻¹)(PE), comprimento (mm)(CE) e diâmetro das espigas (mm)(DE), peso de grãos (kg.ha⁻¹)(PG), peso de cem grãos (g) (P100), e respectivos desvios padrão, avaliados em Mococa – SP. 2019/20.

	(continua)			
	\hat{g}_i			
	FM	FF	NF	PE
Grupo I (testadores)				
CATIVERDE	-0,06	0,39	-0,128	149,597
IAC-8046	0,06	-0,39	0,128	-149,597
DP(Gj)	0,003	0,006	0,097	69,762
DP(Gj-Gj')	0,027	0,063	0,194	139,524
Grupo II (linhagens)				
BM 3061-2-6	0,06	0,17	-0,039	298,445
BM 3061-5-1	0,72	-0,5	-0,772	65,698
BM 3061-2-4	0,06	-0,5	0,294	-626,25
6B277-2-2	1,39	0,83	-0,572	-188,63
6B277V-4-3	1,39	0,17	-0,439	575,903
6B277V7-6	1,39	0,83	0,894	-369,04
6B277V-2-4	-1,94	-0,5	-0,106	418,433
6B277V2-11	-1,94	-0,5	-0,172	62,327
6B277V8-2	-1,28	0,83	0,961	194,555
6B277V5-8	0,72	0,17	0,561	69,873
6B277V2-10	-0,61	-1,17	-0,239	-36,192
6B277V-7-1-2	0,06	0,17	-0,372	-465,13
DP(Gj)	0,013	0,042	0,322	231,375
DP(Gj-Gj')	0,323	0,092	0,475	341,764

DP: Desvio Padrão

Tabela 4 – Estimativas da Capacidade Geral de Combinação (\hat{g}_i e \hat{g}_j) dos genitores do grupo I (testadores) e grupo II (linhagens) para os caracteres florescimento masculino (FM) e feminino (FF) (número de dias), número de fileiras de grãos na espiga(NF), peso de espigas (kg.ha-1)(PE), comprimento (mm)(CE) e diâmetro das espigas (mm)(DE), peso de grãos (kg.ha-1)(PG), peso de cem grãos (g) (P100), e respectivos desvios padrão, avaliados em Mococa – SP. 2019/20.

	\hat{g}_i			(conclusão)
	CE	DE	P100	
Grupo I (testadores)				
CATIVERDE	1,900	0,250		0,470
IAC-8046	-1,900	-0,250		-0,470
DP(Gj)	1,084	0,194		0,360
DP(Gj-Gj')	2,169	0,388		0,720
Grupo II (linhagens)				
BM 3061-2-6	-8,230	-0,328		-0,010
BM 3061-5-1	1,270	-0,628		1,880
BM 3061-2-4	-6,700	0,339		-1,450
6B277-2-2	-0,700	0,772		2,990
6B277V-4-3	4,440	1,606		3,320
6B277V7-6	-6,400	0,339		-1,230
6B277V-2-4	2,700	0,639		1,990
6B277V2-11	1,100	0,006		-1,120
6B277V8-2	3,140	-0,161		-0,570
6B277V5-8	8,100	0,539		0,100
6B277V2-10	1,900	-1,828		-2,450
6B277V-7-1-2	-0,630	-1,294		-3,460
DP(Gj)	3,596	0,643		1,193
DP(Gj-Gj')	5,312	0,950	227,609	1,763

Fonte: elaborado pelos autores.
DP: Desvio Padrão

Além disso, o desempenho das combinações híbridas depende do uso de parentais divergentes, advindos de grupos contrastantes, pois a complementação dos genitores resulta em desvios positivos ou negativos em relação ao comportamento médio dos pais. Os valores \hat{S}_{ij} representam a complementariedade que genitores têm entre si, desviando-se das médias esperadas com base na capacidade geral de combinação. A significância da CEC representa a importância dos efeitos não aditivos (dominância e epistasia) dos genes no controle das características, revelando a heterose. As combinações com altos valores \hat{S}_{ij} , desde que um dos pais do cruzamento apresente elevada CGC, representam híbridos potenciais para

programas de melhoramento, enquanto que baixa estimativa \hat{S}_{ij} representam poucos alelos com efeitos não aditivos favoráveis para a característica (Cruz et al., 2012).

Kuki (2016) verificou que a ação dos genes aditivos foi mais importante que os efeitos dos genes não aditivos para as principais características ligadas à qualidade de milho verde e rendimento industrial. Com base nos efeitos aditivos, este autor também selecionou linhagens para composição de híbridos bem como variedades, para compor híbridos intervarietais.

Segundo Santos et al. (2015), devido à alta correlação entre peso da espiga com

o comprimento e diâmetro da espiga, apenas o peso da espiga deve servir como base para seleção de cultivares de milho verde. Segundo (Cruz et al., 2012), a combinação híbrida ideal é aquela que apresenta, concomitantemente, uma alta estimativa de CEC e que pelo menos um dos genitores possua elevada estimativa de CGC. Desta forma, os híbridos CATIVERDE x (6B277V-4-3) e (6B277V-2-4) x IAC-8046 apresentaram elevados valores de \hat{S}_{ij} (Tabela 4) para a característica P.E. devido à heterose. Ambas as linhagens envolvidas nestes cruzamentos possuem elevados valores de \hat{g}_i , confirmando a superioridade destes híbridos, que se destacaram com médias de produtividade de espigas de 7008,416 e 6607,629 kg.ha⁻¹, respectivamente, enquanto que a média das testemunhas avaliadas foi de 5921,243 kg.ha⁻¹.

5 CONCLUSÕES

Os efeitos aditivos e não aditivos foram importantes na expressão fenotípica dos caracteres avaliados, indicando linhagens e testadores com boa complementariedade entre si.

As linhagens 6B277V-4-3 e 6B277V-2-4 foram selecionadas por possuírem alelos favoráveis que contribuem positivamente nas características produtividade, comprimento e diâmetro de espigas, produtividade total de grãos e peso de cem grãos.

Os híbridos (6B277V-4-3) x Cativerde e (6B277V-2-4) x IAC-8046 apresentaram elevada qualidade e produtividade de espigas, sendo os mais indicados para mercado de milho para o consumo *in natura*. Demonstraram ainda tolerância às adversidades climáticas, sendo necessárias novas avaliações em campo para confirmação do seu potencial.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. J. B. **Desempenho de híbridos de milho verde na região sul de Minas Gerais**. 2005. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005.

ALBUQUERQUE, C. J. B.; VON PINHO, R. G.; BORGES, I. D.; SOUZA FILHO, A. X. e FIORIRNI, I. V. A. Desempenho de híbridos experimentais e comerciais de milho para produção de milho verde. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 768-775, 2008.

CANCELLIER, L. L. **Seleção de progênes S2 de milho com abordagem de modelos mistos**. 2015. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2015.

CEAGESP. Milho-verde: guia de identificação. **CEAGESP**. São Paulo, 26 abr. 2021. Disponível em <http://www.ceagesp.gov.br/guia-ceagesp/milho-verde/>. Acesso em: 14 maio 2020.

CASCÃO, L. M. **Depressão endogâmica e variabilidade genética de populações para produção de milho verde**. 2020. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020.

CASTRO, M. V. L.; NAVES, M. M. V.; OLIVEIRA, J. P.; FROES, L. O. Rendimento industrial e composição química de milho de alta qualidade protéica em relação a híbridos comerciais. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 3, p. 233-242, jul./set. 2009. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/4159>. Acesso em: 28 fev. 2024.

COAN, M. M. D. C.; PINTO, R. J.; SCAPIM, C. A. **Melhoramento de milhos especiais: melhoramento de milho**. Viçosa: Editora UFV, 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO [Conab]. Safra brasileira de grãos. **Conab**. Brasília, [20--]. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra-s/graos>. Acesso em: 29 set. 2020.

CRUZ, C.D. Genes Software – extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.38, n. 4, p. 547-552, 2016.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2012.

CRUZ, J. C. **Produção de milho na agricultura familiar**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011.

DUARTE, J. O.; CRUZ, J. C.; GARCIA, J. C.; MATTOSO, M. J. **Economia da produção**. In: C., C. J. (Ed.). Cultivo do milho. Sete Lagoas, 2010.

FERREIRA, E. A.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; DUARTE, A. P.; GALLO, P. B.; SAWAZAKI, E.; AZEVEDO FILHO, J. A. de e GUIMARAES, P. de S. Desempenho de híbridos *topcrosses* de linhagens S3 de milho em três locais do estado de São Paulo. **Melhoramento Genético Vegetal**, Bragantia, v. 68, n. 2, p. 319-327, 2009.

FRITSCHÉ-NETO, F.; VIEIRA, R. A.; SCAPIM, C. A.; MIRANDA, G. V.; REZENDE, L. M. Updating the ranking of the coefficients of variation from maize experiments. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 34, n. 1, p.99-101, 2012.

GARDNER, C.O.; EBERHART, S.A. (1966). **Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations**. **Biometrics**, 22: 439-452, 1966.

GERALDI, I. O.; MIRANDA FILHO, J. B. Adapted models for the analysis of combining ability of varieties in partial diallel crosses. **Brazilian Journal of**

Genetics, Ribeirão Preto, v. 11, 419-430, 1988.

GRIFFING, B. A. **Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems**. **Australian Journal of Biological Sciences**, Melbourne, v. 9, n. 6, p. 463-493, jun. 1956.

GRIGULO, A. S. M.; DE AZEVEDO, V. H.; KRAUSE, W.; AZEVEDO, P. H. de. Avaliação do desempenho de genótipos de milho para consumo *in natura* em Tangará da Serra-MT. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 4, 2011.

KUKI, Maurício Carlos. **Capacidade combinatória e depressão por endogamia em híbridos de milho verde para características de rendimento e qualidade industrial**. 2016. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual De Maringá, Paraná, 2016.

LUZ, J. M. Q.; CAMILO, J. S.; BARBIERI, V. H. B.; RANGEL, R. M.; OLIVEIRA, R. C. Produtividade de genótipos de milho doce e milho verde em função de intervalos de colheita. **Hortic. Bras.**, Vitória da Conquista, v. 32, n. 2, abr./jun., p. 163-167, 2014.

TAVARES, S. A.; MATOS, M. J. L. F.; LANA, M. M. SANTOS, F. F. dos; MELO, M. F. D. **Milho verde**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1126000>. Acesso em: 16 maio 2020.

MORAES, A. R. A.; RAMOS JUNIOR, E. U.; GALLO, P. B.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; SAWAZAKI, E.; DUARTE, A. P. E.; GUIMARÃES, P. S. Desempenho de oito cultivares de milho verde na safrinha, no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 9, n. 1, p. 79-91, 2010.

OLIVEIRA JUNIOR, L. F. G.; DELIZA, R.; BRESSAN-SMITH, R.; PEREIRA, M. G.;

CHIQUIERE, T. B. Seleção de genótipos de milho mais promissores para o consumo *in natura*. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, [S. l.], v. 26, p. 159-165, 2006.

PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; LUDERS, R. R.; DUARTE, A. P.; GALLO, P. B.; SAWAZAKI, E. Desempenho de híbridos triplos de milho obtidos de *topcrosses* em três locais do Estado de São Paulo. **Melhoramento Genético Vegetal**, Bragantia, v. 65, n. 4. 2006.

PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C. **Milhos especiais**: alternativas para agregar valor. São Paulo: DBO Agrotecnologia, 2009.

PEREIRA FILHO, I. A. **O cultivo do milho verde**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003.

RIBEIRO, P. H. E.; NURMBERG, P. L.; SOUZA, J. C.; RAMALHO, M. A. P. **Avaliação de híbridos simples em cruzamentos *topcrosses* com linhagens de milho em Boa Vista, Roraima**. Roraima: EMBRAPA, 2000. (Boletim de Pesquisa 3).

ROCHA, D. S. ; ROVARIS, S. R. S. ; RODRIGUES, C. S. ; TICELLI, M. ; SAWAZAKI, E. ; PATERNIANI, M. E. A. G. Z. **Identification of populations and hybrid combinations of maize for in natura consumption**. **Plant Breeding**, Bragantia, v. 78, n. 4, p. 1678-4499, oct./dec. 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/zHmnZmWKZfrhQxxn7nSSX3D/>. Acesso em:

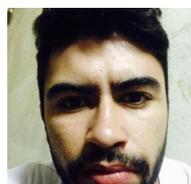
RODRIGUES, F., VON PINHO, R. G., ALBUQUERQUE, C. J. B., & VON PINHO, É. V. R. Índice de seleção e estimativa de parâmetros genéticos e fenotípicos para características relacionadas com a produção de milho-verde. **Ciência e Agrotecnologia**, [S. l.], v. 35, n. 2, p. 278-286, 2011.

RODRIGUES, F.; VON PINHO, R. G.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; FARIA FILHO,

E.M.; GOULART, J.C. Capacidade de combinação entre linhagens de milho visando à produção milho verde. **Bragantia**, [S. l.], v., 68, p. 75-84, 2009.

SÃO PAULO (Estado). Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas - CIIAGRO. **Portal Agrometeorológico e Hídrológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, [2021]. Disponível em: www.ciiagro.org.br. Acesso em: 18 mar. 2021.

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



LUAN FILIPE SALVADOR DE LIMA

Aluno egresso da Pós-graduação IAC.



MARIA ELISA AYRES GUIDETTI ZAGATTO PATERNIANI

Pesquisadora científica do Centro de Grãos e Fibras, IAC, Campinas.



CRISTINA FACHINI

Pesquisadora científica do Centro de Grãos e Fibras, IAC, Campinas.

PAULO BOLLER GALLO

Pesquisador Científico da APTA de Mococa, IAC.



CRISTIANI SANTOS BERNINI

Professora no Serviço de Aprendizagem Rural (Senar), Mato Grosso.