

ANÁLISE DIALÉLICA COMPLETA E RECÍPROCA NA ESTIMAÇÃO
DA CAPACIDADE COMBINATÓRIA DA INCIDÊNCIA E
SEVERIDADE DE *Bipolaris maydis* E *Exserohilum turcicum* EM
MILHO-PIPOCA EM DIFERENTES ÉPOCAS DE CULTIVO

JULIANA SALTIRES SANTOS

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
FEVEREIRO – 2016

ANÁLISE DIALÉLICA COMPLETA E RECÍPROCA NA ESTIMAÇÃO
DA CAPACIDADE COMBINATÓRIA DA INCIDÊNCIA E
SEVERIDADE DE *Bipolaris maydis* E *Exserohilum turcicum* EM
MILHO-PIPOCA EM DIFERENTES ÉPOCAS DE CULTIVO

JULIANA SALTIRES SANTOS

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas.”

Orientador: Prof. Antonio Teixeira do Amaral Junior

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
FEVEREIRO – 2016

ANÁLISE DIALÉLICA COMPLETA E RECÍPROCA NA ESTIMAÇÃO
DA CAPACIDADE COMBINATÓRIA DA INCIDÊNCIA E
SEVERIDADE DE *Bipolaris maydis* E *Exserohilum turcicum* EM
MILHO-PIPOCA EM DIFERENTES ÉPOCAS DE CULTIVO

JULIANA SALTIRES SANTOS

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas.”

Aprovada em 23 de fevereiro de 2016.

Comissão Examinadora:

Dr. Roberto dos Santos Trindade (D.Sc., Genética e Melhoramento de Plantas)
EMBRAPA/Milho e Sorgo

Dr. Marcelo Vivas (D.Sc., Genética e Melhoramento de Plantas) - UENF

Prof. Alexandre Pio Viana (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF

Prof. Antonio Teixeira do Amaral Junior (D.Sc., Genética e Melhoramento) –
UENF
(Orientador)

À minha mãe, Nilza Teles dos Santos, *in memoriam*,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, que se mostrou criador, que foi criativo. Seu fôlego de vida em mim foi sustento e me deu coragem para questionar realidades e propor sempre um novo mundo de possibilidades.

À minha família, por acreditar e investir em mim. Agradeço, em especial, ao meu pai Welson, pois sua presença significou segurança e certeza de que não estou sozinha nessa caminhada, à minha irmã Amanda e aos meus sobrinhos.

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), pela oportunidade de realização do Mestrado e pelas condições de trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento dos estudos em uma Instituição de Ensino Superior de qualidade.

Ao professor Antonio Teixeira do Amaral Júnior, meu orientador, pela oportunidade oferecida e pela confiança em meu trabalho.

Ao Dr. Marcelo Vivas, pela confiança, paciência, auxílio, troca de experiências e disponibilidade em todos os momentos.

Ao professor Silvaldo Felipe da Silveira, conselheiro, sempre disposto em ajudar e sanar dúvidas.

Ao professor Alexandre Pio Viana, por aceitar o convite para participar da banca examinadora e pela contribuição como conselheiro e professor.

Ao querido Daniel, secretário da Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pela inestimável e constante ajuda e paciência.

Ao Pós-Doutorando Fernando Higino, pela preocupação e auxílio durante a elaboração da dissertação.

A todos os que pertenceram e que pertencem à Equipe de Milho-pipoca da UENF, pelo auxílio em todos os momentos, desde o cumprimento das disciplinas, conselhos em momentos difíceis, até a condução dos experimentos. Em especial, Gabrielle Mafra e Guilherme pela ajuda incalculável nesses dois anos de mestrado e aos demais amigos e companheiros de laboratório, Adriano, Amanda, Cassio, Ismael Lourenço, Ismael Schegoscheski, Ismael Schwantes, Liliam, Pablo, Railan, Rodrigo, Samuel, Thiago e Valter, pela força, amizade e ajuda durante essa caminhada.

Ao Srº Geraldo, técnico agrícola, por toda paciência, conselho, experiência de campo, dedicação e disponibilidade em ajudar.

Aos bolsistas de campo Valdinei, Luzimara, Jaqueline e Marcia, pela dedicação e por toda ajuda prestada na condução do experimento.

Aos amigos que conheci e convivi nesses anos de universidade morando em Campos, em especial Isabel, Isabela, Sthefany, Hadria e Louise, *in memoriam*, que fazem e fizeram parte da minha vida, participando de momentos de felicidades e tristezas.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
3. REVISÃO DE LITERATURA	6
3.1- Milho-Pipoca: origem e sistemática	6
3.2- Aspectos nutricional e econômico do milho-pipoca	7
3.3- Milho híbrido	8
3.4- Épocas de semeadura e doenças do milho	10
3.5- Helmintosporiose em milho-pipoca	11
3.6- Controle genético da helmintosporiose	13
3.7- Análise dialélica	15
4. MATERIAL E MÉTODOS	18
4.1- Obtenção dos híbridos	18
4.2- Ensaios para avaliação dos híbridos, linhagens genitoras e testemunhas	20
4.3- Características avaliadas	21

4.3.1- Avaliações de intensidade de doenças _____	21
4.3.2- Avaliações das características agronômicas _____	23
4.4 - Análise estatística _____	23
4.5- Análise dialélica de Griffing (1956) _____	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO _____	26
5.1. Análise de variância univariada da primeira e segunda época de cultivo _	26
5.2. Agrupamento de média na primeira e segunda época de cultivo _____	28
5.3. Análise dialélica de Griffing (1956), para o experimento instalado na primeira época de cultivo _____	37
5.3.1. Análise da capacidade combinatória univariada na primeira época de cultivo _____	37
5.3.2. Estimativa de capacidade geral de combinação na primeira época de cultivo _____	40
5.3.3. Estimativa de capacidade específica de combinação na primeira época de cultivo _____	44
5.4. Análise dialélica de Griffing (1956), para o experimento instalado na segunda época de cultivo. _____	48
5.4.1. Análise da capacidade combinatória univariada na segunda época de cultivo _____	48
5.4.2. Estimativa de capacidade geral de combinação na segunda época de cultivo _____	50
5.4.3. Estimativa de capacidade específica de combinação na segunda época de cultivo _____	52
6. CONCLUSÕES _____	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____	58

RESUMO

SANTOS, Juliana Saltires; M.Sc. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Fevereiro de 2016. Análise dialética completa e recíproca na estimação da capacidade combinatória da incidência e severidade de *Bipolaris maydis* e *Exserohilum turcicum* em milho-pipoca em diferentes épocas de cultivo. Orientador: Prof. Antonio Teixeira do Amaral Junior. Conselheiros: Prof. Alexandre Pio Viana e Prof. Silvaldo Felipe da Silveira.

O melhoramento do milho-pipoca ainda necessita superar algumas deficiências que ainda proporcionam severas perdas econômicas para a cultura, como sobrepujar os efeitos danosos da incidência de doenças. Dentre as doenças incidentes, a helmintosporiose é uma das principais doenças foliares e representa um considerável potencial de dano à cultura, especialmente quando o ataque se inicia antes do período de florescimento. Diante do exposto, torna-se evidente a necessidade de estudos genéticos visando à identificação de genótipos que apresentem resistência genética para essa doença. Os procedimentos biométricos possibilitam a estimação de parâmetros genéticos, como das capacidades combinatórias, que fundamentam a indicação das estratégias de melhoramento e recomendam genitores e híbridos promissores. Isto posto, desenvolveu-se o presente trabalho, com o objetivo de estimar os efeitos gênicos e as capacidades combinatórias em milho-pipoca, com enfoque para a resistência a helmintosporiose. Para tanto, foram realizados cruzamentos dialéticos completos, incluindo os recíprocos entre oito linhagens (L76, L88, L70, L77, L55, L61, P1 e P8), previamente selecionadas com base na reação a helmintosporiose

causada por *Exserohilum turcicum* e *Bipolaris maydis*, para a obtenção de 56 híbridos (F_{1s} e recíprocos). Instalou-se experimento em delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições, em duas épocas de cultivo: primeira e segunda época, em Campos dos Goytacazes, RJ. Avaliaram-se seis características (IBM, SBM, IET, SET, RG e CE) para cada ambiente. Diante dos resultados obtidos, pôde-se concluir pela ausência de efeito recíproco para as características avaliadas, uma vez que não houve efeito significativo desta fonte de variação na análise dialélica. Para a incidência e severidade de helmintosporiose, assim como para rendimento de grãos, nas duas épocas de cultivo, o quadrado médio dos efeitos revelou que os componentes de dominância foram superiores aos de aditividade, no entanto, para capacidade expansão, os efeitos aditivos foram predominantes. Os híbridos que se destacaram, na primeira época de cultivo, com base no conjunto de características avaliadas foram: P8 x L77 e L77 x L76. O primeiro híbrido expressou valor satisfatório para o aumento no rendimento de grãos, capacidade expansão e helmintosporiose causada por *Bipolaris maydis*, enquanto o segundo híbrido destacou-se por seus valores expressivos para *Exserohilum turcicum*. Para a segunda época de cultivo, os híbridos L61 x L76 e L61 L77 sobressaíram-se, por exibir estimativas para redução de incidência e severidade de helmintosporiose, causada por *Exserohilum turcicum* e estimativas para o aumento de rendimento de grãos e capacidade expansão. De forma análoga, a combinação P8 x L61 destacou-se para capacidade expansão, rendimento grãos e estimativas favoráveis à redução da incidência e severidade *Bipolaris maydis*.

ABSTRACT

SANTOS, Juliana Saltires; MSc. Norte Fluminense State University . February 2016. Diallel full and reciprocal analysis of the combining ability estimation of the incidence and severity of the *Bipolaris maydis* and *Exserohilum turcicum* of popcorn in different growing seasons. Advisor: Prof. Antonio Teixeira do Amaral Junior. Co-Advisors: Prof. Alexandre Pio Viana and Prof. Silvaldo Felipe da Silveira.

The popcorn breeding still need to overcome some deficiencies that still provide severe economic losses to the culture, as oppress the harmful effects of disease incidence. Among the diseases, northern leaf blight is a major foliar disease and presents considerable potential for damage, especially when the attack starts before the flowering period. Given the above, it becomes evident the need for studies to identify resistant genotypes for this disease. Biometric procedures enable the estimation of genetic parameters such as capacity combinatorial, which have prompted breeding strategies and recommend parents and promising hybrids. Thus, the present study was developed in order to estimate the genetic effects and the combining ability with focus on resistance to northern leaf blight. For this purpose, a complete diallel with the reciprocals were performed in eight lines (L76, L88, L70, L77, L55, L61, P1 and P8) that were previously selected, based on the reaction to northern leaf blight caused by *E. turcicum* and *B. maydis*, to obtain 56 hybrids (F1's and reciprocals). The experiment was implemented in a randomized complete block design with four replications, in two growing seasons: first season and second season, in Campos dos Goytacazes. Were evaluated six

characteristics (IBM, SBM, IET, SET, RG e CE) with individual analysis for each environment. Based on these results, it was concluded for the traits evaluated that no significant effect was detected for the reciprocals. For the incidence and severity of Northern leaf blight, as well as for grain yield in the two growing seasons, the mean square of the effects revealed that the dominant components were superior to additivity, however, for popping expansion the additive effects were predominant. The hybrids that stood out in the first season, were P8 x L77 and L77 x L76. The first hybrid expressed satisfactory value for grain yield, popping expansion and northern leaf blight caused by *B. maydis*, while the second hybrid stood out with significant values for northern leaf blight caused by *E. turcicum*. In the second season, the hybrids L61 x L76 and L61 x L77 stood out by presenting estimates for the incidence and severity reduction of northern leaf blight, caused by *E. turcicum*, and estimates for the increase of grain yield and popping expansion. Similarly, the combination P8 x L61 stand out for popping expansion, grain yield and favorable estimates for reducing the incidence and severity of *B. maydis*.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o milho-pipoca é considerado cultura que possui alto rendimento econômico, sobretudo devido à grande apreciação populacional e por apresentar elevado valor comercial do grão. No entanto, a cultura carece de maior intensidade de estudos para o lançamento de variedades e híbridos superiores que atendam o mercado consumidor (Freitas Júnior, 2008). Disso decorre a elevada importação de grãos para atender a crescente demanda pelo produto. De acordo com estimativas da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2013), o consumo no país, em 2012, de milho-pipoca proveniente da Argentina ainda era grande, havendo uma demanda acima de 100 mil toneladas do produto.

Além do problema inerente à falta de variedades e híbridos de milho-pipoca já mencionados, ressalta-se que, no Brasil, a cultura tem a sua produção de grãos reduzida em razão, também, do ataque de patógenos causadores de diversas doenças foliares e podridões de espigas, que variam de ano para ano e de região para região, em função das condições climáticas, do nível de suscetibilidade das cultivares e do sistema de plantio utilizado. Dentre os patógenos, causadores de doenças foliares, a cultura do milho-pipoca destacam-se *Phaeosphaeria maydis* (Henn.) Rane, Payak, & Renfro, *Cercospora zea-maydis* Tehon & Daniels, *Puccinia polysora* Underw, *Physopella zea* (Mains) Cummins & Ramachar, *Exserohilum turcicum* (Pass.) K. J. Leonard & E. G. Suggs e *Bipolaris maydis* (Nisik. & Miyake) Shoemaker (Casela et al., 2006).

O complexo de doenças foliares que incide no milho é citado por vários autores como potenciais redutores do rendimento de grãos na cultura (Lourenção et al., 2007). Dentre as doenças, as helmintosporioses, causadas pelos fungos *E. turcicum* e *B. maydis*, são consideradas doenças foliares importantes na cultura do milho, apresentando maior frequência de aparecimento no verão. Segundo Brandão et al. (2002), o surgimento da helmintosporiose nos estádios iniciais da cultura, aliado à condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento da doença, compromete seriamente a produtividade do milho. Em decorrência da ação indireta das doenças na redução da área foliar sadia, acarretando a destruição do tecido vegetal, por conseguinte redução da capacidade fotossintética da planta, a demanda energética das plantas torna-se comprometida e, por fim, o desenvolvimento dos grãos também é afetado (Brito, 2010; Schipanski, 2010). Há que se ressaltar que a forma mais eficaz de minimização dos danos é a obtenção de genótipos superiores resistentes a doenças (Von Pinho et al., 2001).

Segundo Arnhold (2008), o melhoramento genético do milho possui duas alternativas que podem ser implementadas de forma conjunta: a obtenção de populações melhoradas e a obtenção de híbridos. No primeiro caso, utilizando-se métodos adequados de seleção possibilita-se o aumento gradativo da frequência dos genes favoráveis na população melhorada. No segundo, a estratégia de melhoramento visa à obtenção de linhagens endogâmicas que, quando em combinações adequadas, produzirão híbridos superiores às populações de origem (Paterniani, 1974). Neste caso em particular, a análise dialélica vem sendo empregada por permitir de maneira simples estimar parâmetros úteis na seleção de genitores para hibridação assim como, obter informações acerca de combinações promissoras (Cruz et al., 2012).

Apesar das vantagens das estratégias dos cruzamentos dialélicos, ainda são limitadas as pesquisas com milho-pipoca utilizando a metodologia de dialelo completo. Os trabalhos conduzidos por Pajic et al. (2008), Silva et al. (2010), Viana et al. (2011), Vieira et al. (2011), Moterle et al. (2012) e Cabral et al. (2013) são os poucos exemplos em que se utilizam de dialelos em milho-pipoca nos quais são empregadas linhagens como genitores. Não há, até o presente, estudos de análise dialélica em milho-pipoca para a indicação de híbridos resistentes a helmintosporiose, embora diferentes níveis de resistência à helmintosporiose

tenham sido relatados em avaliações de genótipos de milho-pipoca, (Fantin et al., 1991; Miranda et al., 2002).

Desta forma, o emprego de cruzamento dialélico completo em milho-pipoca é a alternativa mais viável, quando se deseja a obtenção de parâmetros úteis para indicação de combinações híbridas de interesse agrônomo. E o programa de melhoramento de milho-pipoca da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) vem desenvolvendo linhagens endogâmicas de milho-pipoca, com o intuito de desenvolver híbridos que conciliem informações morfoagronômicas e de resistência a uma das principais doenças da cultura, a helmintosporiose. Sendo assim, a identificação de linhagens com elevada capacidade geral de combinação e de híbridos com altos valores de capacidade específica de combinação, delineou-se a presente pesquisa.

2. OBJETIVOS

Diante das reais perdas de produção que ocorrem com a cultura do milho-pipoca, em decorrência ao ataque de patógenos causadores da helmintosporiose, o objetivo geral do presente trabalho foi a obtenção e avaliação de 56 híbridos simples (F_{1s} e recíprocos) e seus genitores nas condições de primeira e segunda época de cultivo, em Campos dos Goytacazes- RJ, como passo inicial para o desenvolvimento de um programa de melhoramento para resistência a doenças em milho-pipoca. O trabalho teve como propósito atender aos seguintes objetivos específicos:

- (a) Obter e avaliar híbridos de milho-pipoca por meio da implementação de um dialelo completo com os seus recíprocos;
- (b) Estimar a capacidade combinatória dos genitores e híbridos, em relação à incidência e severidade de *Exserohilum turcicum* e *Bipolaris maydis*, capacidade expansão e rendimento de grãos a partir da análise dialélica em diferentes épocas de cultivo;
- (c) Identificar a predominância de efeitos gênicos aditivos e não-aditivos na expressão dos caracteres avaliados; e,
- (d) Avaliar combinações híbridas superiores quanto à resistência à helmintosporiose causada por *Exserohilum turcicum* e *Bipolaris maydis*, rendimento de grãos e capacidade de expansão, indicando as melhores

combinações para utilização imediata ou para constituição de novas etapas do programa de melhoramento.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1- Milho-Pipoca: origem e sistemática

Diversas hipóteses vêm sendo sugeridas para a origem do milho-pipoca, dentre elas a mais aceita refere-se ao teosinto como atual ancestral silvestre do milho. Uma segunda hipótese parte do princípio que um teosinto primitivo é o ancestral silvestre do milho e do teosinto atual (*Zea mexicana*) ou que, ainda, uma forma já extinta de milho tunicado foi o ancestral do milho, portanto, o teosinto seria uma forma mutante do milho tunicado (Galinat, 1977).

As hipóteses prolatadas sobre a origem do milho-pipoca carecem de informações e explicações para serem conclusivas. Segundo Zinly e Machado (1987), a evolução teria ocorrido no sentido do milho-pipoca para os demais tipos de milho, mas apesar das incertezas das hipóteses, o milho-pipoca teve um papel importante no desenvolvimento pré-histórico do milho, sendo sua participação essencial para seu desenvolvimento (Pereira, 2004) e na formação do patrimônio genético atual da espécie *Zea mays* (Zinly e Machado, 1987).

O milho-pipoca é uma planta herbácea anual, monoica, alotetraploide ($2n=4x=20$) pertencente à família Gramineae, subfamília Panicoideae, tribo Maydeae, gênero *Zea* e espécie *Zea mays* L. Apresenta, em geral, grãos menores quando comparado ao milho comum, porte menor, colmo mais fino e fraco, menor número de folhas, várias espigas por plantas, maior tamanho do pendão (Ziegler e Ashman, 1994). Devido a isso, oferece maior susceptibilidade

ao acamamento, quebramento, doenças e, conseqüentemente, menor produtividade de grãos (Sawazaki, 2001). A principal característica que o difere sobre os outros milhos é o tipo de grão, os quais são duros e pequenos, e quando aquecidos a aproximadamente 180°C são capazes de estourar formando a pipoca (Freitas Júnior et al., 2009; Scapin et al., 2010).

O milho-pipoca varia quanto ao tamanho dos grãos (de 0,5 a 1,0 cm), formato (redondo, chato ou pontiagudo) e coloração (rosa, creme, vermelha, roxa, preta ou azul), sendo as cores branca e amarela, as mais comuns (Zinsly e Machado, 1978). Os grãos de maior aceitação comercial são os redondos, tipo pérola, e com endosperma alaranjado (Ziegler e Ashman, 1994).

A baixa disponibilidade de informações técnicas específicas para o milho-pipoca leva a utilização de práticas culturais recomendadas para o milho comum, que nem sempre são apropriadas para o milho-pipoca, uma vez que exigências nutricionais e arquitetura da planta são diferentes.

3.2- Aspectos nutricional e econômico do milho-pipoca

O milho destaca-se como um dos cereais mais cultivados e consumidos no mundo e, sua utilização na culinária estende-se desde as mais diversas finalidades. Embora o milho-pipoca tenha sua destinação exclusiva à alimentação humana, é considerada uma cultura de elevada rentabilidade, tendo o seu produto final grande aceitação popular e, por essas razões, tem-se aumentado o interesse na produção de grãos em diversas regiões, o que vem posicionando o Brasil como o segundo maior produtor mundial de milho-pipoca, com uma produção de 80 mil t ano⁻¹ (Teixeira, 2008). No Brasil, o grão de milho-pipoca vem sendo produzido em todos os estados, seguindo a rota do milho amarelo comum (Conab, 2013).

Por alguns anos, a produção do milho-pipoca foi considerada modesta para atender ao consumo nacional, sendo necessária a importação tanto de sementes quanto de grãos, principalmente dos Estados Unidos da América e da Argentina (Freitas Junior et al., 2009). Segundo Moterle et al. (2012), a importação de milho-pipoca devia-se, em grande parte, à limitação de cultivares, híbridos e variedades que conciliassem bom rendimento e qualidade da pipoca produzida. Porém,

devido a uma maior utilização de cultivares nacionais, tem se observado redução na quantidade importada de sementes de milho-pipoca (Rangel et al., 2008).

No entanto, quando observado o valor de comercialização do grão nacional, verifica-se uma diferença significativa entre os preços do milho-pipoca e milho comum. De acordo com o Agrolink (2014), o preço do milho-pipoca tem sido no mínimo, duas vezes superior ao do milho comum. No ano de 2014, a saca de 60 quilos de milho-pipoca foi negociada a R\$ 38,00, enquanto o milho comum, custando entre R\$ 12,00 a R\$ 14,00 no Estado de Mato Grosso. Esta comparação evidencia o grande potencial do milho-pipoca a ser explorado na agricultura brasileira visto que, para o agricultor, é no mínimo duas vezes mais rentável a produção e comercialização do milho-pipoca do que o milho comum. Contudo, a limitação de cultivares que reúnem características agronômicas favoráveis e com alto índice de capacidade de expansão aliado à carência de parcerias entre agricultores e empresas empacotadoras são considerados os principais entraves para a expansão do cultivo do milho-pipoca no Brasil (Rangel et al., 2011).

Além de sua importância econômica, vem sendo atribuído ao milho-pipoca uma importância nutricional. De acordo, com Paraginski (2014), o consumo de milho-pipoca tem aumentado devido a propriedades nutracêuticas desses grãos, que tem estimulado o consumo. Porém, poucos trabalhos têm sido realizados visando à caracterização dos compostos presentes no grão. Germani et. al (1997) observaram grãos com composições médias de 10,4 % de proteína, 3,9 % de gorduras, 56,5% de carboidratos e 22,9 % de fibras, e valor energético 302,9 kcal/100gramas.

3.3- Milho híbrido

O melhoramento vegetal contribuiu de diversas maneiras para a sociedade, dentre elas destaca-se a geração do milho híbrido, que permitiu expressivos aumentos na produtividade de grãos desta espécie em todo o mundo (Souza Sobrinho, 2001). A produção de híbridos é decorrente do cruzamento entre genitores com composições genéticas distintas (Ronzelli Junior, 1996), tendo como maior importância a possibilidade de explorar os benefícios das interações

alélicas e gênicas na geração híbrida (Paterniani, 1974). Segundo Hallauer (1990), o desenvolvimento do híbrido depende da capacidade de combinação das linhagens envolvidas na composição de híbridos que expressam alto valor da heterose sendo, este efeito maior nos cruzamentos entre linhagens não aparentadas.

O primeiro passo para a produção de sementes híbridas de milho iniciou-se em 1909, quando o botânico e geneticista George Harrison Shull observou que quando uma planta de milho realizava autofecundações eram produzidos descendentes menos vigorosos e que a partir de seis gerações estes fixavam características agrônomicas importantes. Como apresentavam descendentes geneticamente iguais à planta mãe, passaram a ser chamados de linhas puras; quando duas linhas puras diferentes eram cruzadas, produziam descendentes com alto vigor, o que se chamou de heterose ou vigor híbrido, dando-se origem ao milho híbrido (Lerayer, 2006).

A *a priori*, foi proposta a utilização do híbrido simples; no entanto, esta tecnologia não foi aceita pelo fato das linhagens serem pouco produtivas, tornando alto o custo de produção de sementes. Em 1918, foi sugerida por Jones a utilização de híbridos duplos, que são oriundos de cruzamentos entre híbridos simples, sendo estes mais produtivos que as linhagens e, portanto, apresentam um menor custo de produção de sementes, comparado com híbrido simples. Neste contexto, deu-se início à grande aceitação do milho híbrido nos EUA (Paterniani e Campos, 1999).

No Brasil, em 1932, tiveram início os primeiros trabalhos de melhoramento com milho híbrido no Instituto Agrônomo – IAC de Campinas, no Estado de São Paulo, sendo o Brasil o segundo país a adotar o milho híbrido (Sawazaki et al., 2004). No IAC, Krug e colaboradores produziram, em 1932, o primeiro híbrido duplo brasileiro. Em 1935, Gladstone e Antonio Secundino iniciaram trabalhos de pesquisas em milho na então, Universidade Rural de Minas Gerais (UREMG), hoje Universidade Federal de Viçosa, produzindo em 1938, o primeiro híbrido comercial, sendo resultante de um cruzamento entre as variedades Cateto e Amarelão, cujos trabalhos foram continuados com a fundação da Companhia de Sementes Agrocereais S/A.

A posição econômica da agricultura do milho ao longo do tempo gerou a necessidade de se alcançar um elevado nível de produtividade por hectare,

embora, aumentasse o custo na compra de insumos. Este fato levou as empresas de sementes abandonarem a produção de híbridos duplos, passando a produção de híbridos triplos, aos híbridos simples modificados e, finalmente à volta na utilização de híbridos simples (Souza Sobrinho, 2001).

3.4- Épocas de semeadura e doenças do milho

Com o aumento no consumo de milho-pipoca, houve a necessidade de aumento da produção de grãos, levando os produtores explorarem novas áreas agrícolas para o semeio da cultura, além da busca por diferentes épocas de cultivo visando atender a demanda populacional. No entanto, tem-se observado que, em função da extrema diversidade de sistemas de produção imposta a essa cultura no Brasil, aliado às novas práticas agrícolas, o aumento da frequência na disseminação e no ataque de patógenos foi favorecido (Dourado Neto et al., 2000).

É de reconhecimento no mercado que, no geral, os riscos de perdas na produção de milho na primeira safra que corresponde aos meses de outubro a março (época preferencial da cultura) são menores do que os de uma segunda safra que corresponde aos meses de maio a setembro (época não preferencial da cultura). No entanto, o cultivo de segunda safra vem sendo uma alternativa adotada pelos agricultores como uma importante fonte de renda, por ser uma colheita realizada entre a primeira safra e pelo menor custo de produção, em função da redução no uso de insumos (Associação Brasileira dos Produtores de Sementes, 2002). Porém, no Brasil, a produção de grãos em plantio de segunda safra é naturalmente reduzida, devido a irregularidades climáticas ocorrentes nesse período, além de fatores bióticos influenciando negativamente a cultura. Segundo Fernandes e Oliveira (2000), as maiores severidades de doenças têm ocorrido em plantios de segunda safra em situações favoráveis ao desenvolvimento da doença, quando as plantas são infectadas no período de floração. Neste caso, a semeadura na segunda safra é um fator preocupante ao agricultor, pois as condições impostas propiciam o maior aparecimento de doenças e, conseqüentemente, uma maior redução na produção de grãos,

havendo, assim, necessidade de adoção de estratégias mais rigorosas com a finalidade de reduzir os danos ocasionados nessa época de cultivo.

No Brasil, são comuns os ataques de diversas doenças à cultura do milho, dos quais as épocas de semeadura influenciam diretamente na intensidade da doença. Dentre essas doenças, merecem destaque o complexo das ferrugens (*Puccinia polysora* Underw, *Puccinia sorghi* Schw. e *Physopella zae* (Mains) Cummins & Ramachar), a mancha-branca - *Phaeosphaeria maydis* (P. Henn.) Rane, Payak e Renfro, a mancha de helmintosporiose *Exserohilum turcicum* (Luttrell) Leonard et Suggs [teleomorfo *Setosphaeria sela* (Pass.) Leonard et Suggs, *Helminthosporium turcicum* Pass; *Bipolaris maydis* Drechsl. (teleomorfo *Cochliobolus heterostrophus* Nisik. & Miyake), a mancha-de-diplodia (*Stenocarpella macrospora* (Earle) Sutton), a antracnose foliar (*Colletotrichum graminicola* (Ces.) G.W. Wils), cercosporiose (*Cercospora zae-maydis* Tehon & E.Y. Daniels), o enfezamento vermelho e pálido, as podridões de colmo e os grãos ardidos são exemplos de doenças capazes de comprometer a produtividade de grãos de milho (Cruz et al., 2010).

Dentre as doenças mencionadas, a helmintosporiose causada por *B. maydis* e por *E. turcicum* é uma das mais importantes. O fungo *E. turcicum* é de ocorrência mundial (Carson e Van Dyre, 1994) e destaca-se por causar mais de 40 % de danos em condições ambientais favoráveis, principalmente, em cultivares suscetíveis. Segundo Reis et al. (2004), a helmintosporiose causada pelo fungo *B. maydis* ocorre no milho com diferentes intensidades em função do grau de resistência, do sistema de manejo da lavoura e das condições de clima durante o cultivo. Porém, como o milho-pipoca é menos resistente a esta doença, ela deve ser considerada de maior importância para esse tipo de milho (Oliveira et al., 2004).

3.5- Helmintosporiose em milho-pipoca

A helmintosporiose em milho-pipoca é ocasionada por um complexo de fungos, os quais se destacam o *B. maydis* e *E. turcicum* (Arnhold, 2008). O patógeno *E. turcicum* está largamente disseminado nas áreas de cultivo de milho, principalmente se as condições forem favoráveis ao fungo, com alta umidade e temperatura entre 18 e 27 °C. Os sintomas da doença são lesões foliares

necróticas, de coloração palha, ou escuras, com bordas bem definidas, largas, alongadas e grandes (5 a 8 cm de comprimento, em média) e distribuição irregular na superfície da folha. O patógeno *B. maydis* provoca lesões de coloração palha, de forma retangular, limitada por nervuras, de comprimento médio de 2,5 x 0,5 cm largura (Santos, 2009). As condições ótimas para o desenvolvimento da helmintosporiose causada por este patógeno variam entre temperaturas de 22 e 30 °C e elevada umidade relativa.

A helmintosporiose interfere diretamente na fotossíntese, por meio da redução da área foliar, ocasionando a destruição do tecido vegetal. Em razão da redução da capacidade fotossintética da planta, implicações surgem como a debilitação das plantas, tornando-as mais suscetíveis a outros patógenos, conseqüente redução no desenvolvimento vegetativo, na produção e diminuição na qualidade dos produtos (Amorim et al., 2011).

A incidência e severidade de doenças na cultura do milho têm crescido extremamente ao longo dos anos (Pinto et al., 2006). Segundo Amorim (1995), a incidência é definida como a porcentagem (frequência) de plantas doentes ou partes de plantas doentes em uma amostra ou população e a sua quantificação é mais simples e rápida em relação à severidade e é adequada a doenças de solo, viroses sistêmicas e doenças que geram dano direto ao produto final (Vale et al., 2004). A severidade é definida como a porcentagem da área ou do volume de tecido coberto por sintomas. É uma medida adequada a doenças da parte aérea. A sua quantificação é mais trabalhosa e depende de treinamento prévio do avaliador.

No Brasil, as doenças no milho cresceram em importância a partir da década 90, pelo aumento na frequência, severidade e danos qualitativos e quantitativos à produção da cultura. Alguns fatores foram decisivos para estes resultados, principalmente pelo enfoque dado pelos programas de melhoramento genético, visando, apenas, a produtividade e precocidade, sem considerar a resistência genética a doenças foliares, além de outros fatores, como a utilização de híbridos e variedades suscetíveis em sistemas de plantio direto; a sucessão de cultivos de primeira e segunda safra; a manutenção da umidade por irrigações; e o aumento da área cultivada, inclusive em áreas de risco de epidemias (Pinto, 2004; Emygdio et al., 2007).

Visando minimizar o dano causado por helmintosporioses, várias medidas de controle têm sido adotadas, dentre elas estão a pulverização de fungicidas e o plantio de variedades resistentes. Além disso, há a realização de algumas práticas a fim de reduzir os níveis da doença no milho, destacando-se a rotação de culturas, utilização de densidade e espaçamento adequados, emprego de adubação balanceada e eliminação de restos de cultura (Bergamin Filho e Amorim, 2011).

Para a helmintosporiose, provocada pelo patógeno *E. turcicum*, as principais medidas de manejo adotadas são rotação de culturas, plantio direto e utilização de variedades resistentes. Enquanto que para patógeno *B. maydis*, destaca-se o uso de variedades resistentes como a medida mais viável. Este caso ganha relevância devido ao fato de que, no Brasil, não há registros de fungicidas específicos para o controle desse patógeno. Inequivocamente, isso gera uma maior preocupação aos agricultores de milho-pipoca, que procuram obter variedades resistentes a este patógeno e não as encontram no mercado de sementes.

Desta forma, a utilização de variedades resistentes a determinados patógenos vem sendo uma das alternativas mais eficazes no controle de doenças, uma vez que o seu uso não gera custos adicionais ao produtor, não causam impacto negativo ao ambiente, sendo perfeitamente compatível com outras alternativas de manejo e, muitas vezes, suficiente para o controle da doença. A obtenção de genótipos geneticamente resistentes é a alternativa sustentavelmente viável, que ora se torna intento do Programa de Melhoramento de Milho-Pipoca da UENF, com o propósito de contribuir para o desenvolvimento da agricultura do Norte e Noroeste Fluminense.

3.6- Controle genético da helmintosporiose

A resistência genética é a alternativa mais adequada, visando o controle de doenças em plantas cultivadas e a contribuição do melhoramento genético tem sido expressiva neste sentido (Niks e Lindhout, 2004). As plantas, de forma geral, possuem imunidade inata, resistência a uma extensa maioria de microorganismos, através do desenvolvimento de mecanismos estruturais que podem servir como barreiras físicas ou, mecanismos bioquímicos, como meio de

controle. No entanto, alguns microrganismos desenvolveram mecanismos de “quebra” dessa resistência, permitindo a ocupação de nichos extremamente vantajosos para os mesmos. Uma vez que uma espécie de microrganismo consegue vencer as barreiras de resistência inata de determinada espécie vegetal, esse microrganismo torna-se um patógeno hospedeiro. Dessa maneira, os níveis de resistência das plantas variam em função da espécie hospedeira (Amorim et al., 2011).

Em milho, a principal medida de controle empregada para a helmintosporiose causada por *B. maydis* e *E. turcicum* é a utilização da resistência genética, que pode ser vertical ou horizontal. A resistência genética vertical ou monogênica é considerada de raça-específica, sendo controlada geralmente por um ou poucos genes. A resistência horizontal ou poligênica é caracterizada pela ação conjunta de vários genes aditivos e não-aditivos (Vieira et al., 2009).

Na espécie *de B. maydis*, as raças podem ser definidas de acordo com a toxina que a espécie é capaz de produzir, servindo como fatores de virulência e patogenicidade. Existem três raças fisiológicas de *B. maydis*: raça T, raça O e raça C. As raças T e C são patogênicas somente a genótipos de milho com citoplasma macho-estéril T e C, respectivamente. A raça O causa lesões foliares em genótipos com qualquer tipo de citoplasma, inclusive o citoplasma macho-estéril (Costa et al., 2014).

A severidade e o sintoma da doença em milho variam de acordo com a raça do patógeno e do germoplasma do hospedeiro. As lesões causadas pela raça O são menores e acometem principalmente as folhas, sendo considerada como a mais antiga e menos destrutiva. A raça T causa lesões nas folhas e em qualquer parte da planta, exceto nas raízes. Essa raça foi responsável por grandes epidemias, sendo específica para plantas portadoras do citoplasma T. O que vem sendo observado, ao longo dos anos, é que com a substituição dos híbridos suscetíveis, a doença perdeu seu caráter epidêmico, embora sua ocorrência seja elevada na forma da raça O, em regiões quentes e úmidas, gerando menores danos econômicos (Kimati et al., 1997).

A resistência vertical de *E. turcicum* é conferida por quatro genes Ht (Ht1, Ht2, Ht3 e HtN). A expressão da resistência conferida pelos genes Ht1, Ht2 e Ht3 resulta em lesões cloróticas com pouca esporulação do patógeno. No Brasil,

foram identificados a partir de uma coleção de isolados obtidos de diversas regiões produtoras de milho, mais dois genes de resistência; um dominante, denominado HtP; e um recessivo, *rt*, e a partir do ocorrido identificaram mais duas raças (Ogliari et al., 2005). A resistência vertical é muito empregada em programas de melhoramento, visando resistência a doenças em milho. Embora, este tipo de resistência possa ser prontamente suplantado por novas raças do patógeno (Mc Donald e Linde, 2002).

A resistência horizontal é a alternativa mais adequada para o manejo da doença, apresentando a vantagem de efetividade contra praticamente todas as raças e de ser mais difícil de ser suplantada por raças ressurgentes do patógeno. A expressão da resistência horizontal resulta em menor número de lesões em plantas resistentes, aumento do período de incubação e latente, redução da produção de conídios e redução da taxa de progresso da doença. Existe maior correlação entre o nível de resistência horizontal e período de incubação (Carson, 2006). Essa resistência torna-se a mais importante para os programas de melhoramento que procuram obter materiais genéticos resistentes a determinado patógeno, no entanto, não é a mais eficaz, visto que em algumas regiões de cultivo não existe a ocorrência de determinadas raças, impossibilitando neste caso, avaliações precisas sobre o material genético.

3.7- Análise dialélica

A seleção de parentais com base na avaliação “*per se*” nem sempre conduz a resultados satisfatórios (Allard, 1971). Assim, a escolha de parentais deve ser fundamentada na informação genética como um todo e no conhecimento do potencial da capacidade combinatória dos genitores (Ahmed et al., 1997). Desta forma, o emprego de procedimentos biométricos torna-se uma estratégia viável para a estimação de parâmetros genéticos, como das capacidades combinatórias, que fundamentam a indicação das estratégias de melhoramento e recomendam genitores e híbridos promissores.

A metodologia de análise dialélica permite a estimação de parâmetros genéticos a partir de cruzamentos entre genitores escolhidos (Griffing, 1956), provendo um conjunto particular de combinações híbridas de **p** genitores, sejam eles linhagens endogâmicas ou parcialmente endogâmicas, variedades de

polinização aberta, compostos sintéticos ou clones, sendo amplamente utilizada em várias espécies cultivadas, na contribuição para a escolha dos genitores e de populações segregantes, bem como para o fornecimento de informações sobre o controle genético dos caracteres (Veiga et al., 2000; Gorgulho e Miranda Filho, 2001; Paterniani et al., 2008; Machado et al., 2009; Baldissera et al., 2012; Cruz et al., 2012).

A maioria dos programas de melhoramento genético vegetal visa, como grandes objetivos, a produção de híbridos comerciais de alta produtividade, e que agreguem outras características, tais como resistência a pragas e doenças. E, os cruzamentos dialélicos destacam-se em função de sua importância e abrangência de utilização, uma vez que por meio desta metodologia, é possível selecionar os parentais mais promissores com base na sua capacidade geral de combinação, capacidade específica de combinação e potencial heterótico (Griffing, 1956). Para Cruz e Regazzi (2012), dentre as metodologias de análise dialélica, os dialelos do tipo balanceado, propostos por Griffing (1956), Gardner e Eberhart (1966) e Hayman (1954), são os mais utilizados.

Griffing (1956) denominou de sistema de cruzamento dialélico aquele pelo qual um grupo de n genótipos (podendo ser linhagens, híbridos, dentre outros) são escolhidos e os cruzamentos são realizados entre eles. Este procedimento dá origem a um máximo de n^2 combinações. As combinações são avaliadas em experimentos com repetições e as médias de tratamentos representam as combinações mencionadas, que são utilizadas para formar uma tabela dialélica $n \times n$. As n^2 combinações podem ser divididas em três grupos: a) as próprias linhas puras; b) os $n(n-1)/2$ híbridos F_1 ; e c) um conjunto de $n(n-1)/2$ híbridos F_1 recíprocos.

A metodologia proposta por Griffing (1956) permite obter as estimativas da capacidade geral de combinação (CGC), que consiste na resposta média de um genitor em uma série de cruzamentos e está associada aos efeitos aditivos dos alelos. Já a capacidade específica de combinação (CEC) representa o desvio da resposta esperado de um dado genótipo, tomando como base as capacidades gerais de combinação de seus parentais; é relativa aos efeitos não-aditivos de dominância e de epistasia (Vencovsky 1987; Ramalho et al., 1993), sendo de grande utilidade na indicação de genitores a serem utilizados em programas de melhoramento interpopulacional.

A utilização de dialelos em milho-pipoca pode fornecer, de maneira simples, informações importantes sobre o estudo de populações, como capacidade combinatória, variância genética e herdabilidade (Vacaro et al., 2002), além de permitirem a escolha dos genitores promissores com base, principalmente, nos conceitos de capacidade geral de combinação, capacidade específica de combinação e heterose (Oliveira et al., 2004; Rodrigues, 2007).

Entretanto, existem poucos trabalhos em relação à análise dialélica em milho-pipoca, envolvendo caracteres agronômicos, sendo a maioria obtida de dialelos intervarietais. Dentre esses, destacam-se os trabalhos de Freitas Júnior et al. (2006), Rinaldi et al. (2007), Rangel et al. (2007) e Vieira et al. (2009). E, quanto a trabalhos relacionados a informações sobre dialelos entre linhagens de milho-pipoca, destacam-se os estudos de Pinto et al. (2007), Pajic et al. (2008), Silva et al. (2010), Viana et al. (2011), Vieira et al. (2011), Moterle et al. (2012) e Cabral et al. (2013).

Vieira et al. (2011) utilizaram o esquema dialelo completo sem híbridos recíprocos em milho-pipoca para analisar a resistência para doenças foliares - helmintosporiose e cercosporiose, com base na metodologia de Griffing (1956). Os autores concluíram que houve variabilidade genética aditiva e não-aditiva para a resistência a helmintosporiose comum, caracterizando uma condição favorável para o melhoramento, porém os genes de efeitos aditivos foram mais importantes que os dominantes, no controle dessa doença.

Cabral (2013), ao utilizar o esquema dialélico com dez linhagens de milho-pipoca, para estimação da análise combinatória para peso de grãos, adotando a metodologia de Griffing (1956) evidenciou maior importância dos efeitos aditivos em relação aos não aditivos no controle gênico dessa característica. Segundo Cabral (2013), esse resultado não era esperado, pois comumente é relatada para produtividade de grãos maior importância dos efeitos associados à CEC do que dos associados à CGC.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1- Obtenção dos híbridos

Para a obtenção dos híbridos, oito linhagens de milho-pipoca (Tabela 1) previamente identificadas como de interesse para a consecução desta pesquisa em trabalhos desenvolvido por Kurosawa (2015), em sétima geração de autofecundação (S₇), pertencentes ao Programa de Melhoramento do Milho-Pipoca da UENF, foram cruzadas em um esquema de dialelo completo, conforme a metodologia proposta por Griffing (1956), com os recíprocos, provendo 56 combinações híbridas.

Os cruzamentos foram realizados no Colégio Estadual Agrícola Antônio Sarlo, em Campos dos Goytacazes, região Norte do Estado do Rio de Janeiro, situado a 21° 45' latitude sul e 41° 20' longitude oeste e altitude de 11 m (Fontes, 2002). Cada uma das oito linhagens utilizadas foi cultivada em dez fileiras de 5 m, em espaçamento de 0,90 m entre linhas e 0,20 m entre plantas. A semeadura foi realizada a 0,05 m de profundidade com três grãos por cova e, após 30 dias, realizou-se o desbaste, deixando duas plantas por cova.

A adubação foi feita utilizando-se 800 kg.ha⁻¹, sendo aplicadas 80 gramas por metro de NPK, na formulação 04-14-08. A primeira adubação de cobertura foi realizada aos 30 dias após o plantio, utilizando-se 300 kg.ha⁻¹ de nitrogênio por hectare, na forma de sulfato de amônio. A segunda adubação de cobertura foi realizada, aos 40 dias após o plantio, utilizando-se 200 kg.ha⁻¹ de ureia por

hectare. Todos os tratos culturais foram realizados de acordo com Sawazaki (2001), sendo utilizada irrigação por aspersão quando necessário.

Tabela 1. Linhagens de milho-pipoca utilizadas nos cruzamentos dialélicos.

Genótipos	Variedade Originária	Instituição de Desenvolvimento	Reação a <i>E. Turcicum</i>	Reação a <i>B. maydis</i>	Adaptação Climática
L88	Viçosa: UFV	UENF	Resistente	Resistente	Temperado/ Tropical
L70	BRS Ângela – EMBRAPA	UENF	Suscetível	Resistente	Temperado/ Tropical
L77	Viçosa – UFV	UENF	Intermediária	Suscetível	Temperado/ Tropical
L76	Beija-flor – UFV	UENF	Resistente	Suscetível	Temperado/ Tropical
L55	Beija-flor – UFV	UENF	Suscetível	Resistente	Temperado/ Tropical
L61	BRS Ângela – EMBRAPA	UENF	Intermediária	Suscetível	Tropical
P1	Híbrido Zélia	UEM	Intermediária	Suscetível	Temperado/ Tropical
P8	Híbrido IAC 112	UEM	Resistente	Resistente	Temperado/ Tropical

No florescimento, as polinizações foram feitas manualmente para cada par de linhagens. Para a condução das polinizações, foi realizada a cobertura da espiga apta para polinização pelo uso de saco plástico. Após realizar um corte de cerca de 5 cm dos estiletos, estas espigas foram protegidas do pólen de plantas indesejáveis, anteriormente ao aparecimento dos estilo-estigmas.

Posteriormente, os pendões maduros foram cobertos com saco de papel “Kraft”, de determinada planta de uma fileira, correspondente a uma linhagem. Foram certificadas que as sacolas estavam bem ajustadas, com o intuito de prevenir contaminação por pólen de outras plantas. Foram realizados 20 cruzamentos de cada híbrido, com a finalidade de obter quantidades suficientes de sementes para a continuidade do processo (Tabela 2).

Tabela 2. Esquema dos cruzamentos do dialelo completo, incluindo genitores, combinações híbridas experimentais com os recíprocos.

Linhagens	L76	L88	P8	L61	L70	L77	L55	P1
L76	L76	L76 x L88	L76 x P8	L76 x L61	L76 x L70	L76 x L77	L76 x L55	L76 x P1
L88	L88 x L76	L88	L88 x P8	L88 x L61	L88 x L70	L88 x L77	L88 x L55	L88 x P1
P8	P8 x L76	P8 x L88	P8	P8 x L61	P8 x L70	P8 x L77	P8 x L55	P8 x P1
L61	L61 x L76	L61 x L88	L61 x P8	L61	L61 x L70	L61 x L77	L61 x L55	L61 x P1
L70	L70 x L76	L70 x L88	L70 x P8	L70 x L61	L70	L70 x L77	L70 x L55	L70 x P1
L77	L77 x L76	L77 x L88	L77 x P8	L77 x L61	L77 x L70	L77	L77 x L55	L77 x P1
L55	L55 x L76	L55 x L88	L55 x P8	L55 x L61	L55 x L70	L55 x L77	L55	L55 x P1
P1	P1 x L76	P1 x L88	P1 x P8	P1 x L61	P1 x L70	P1 x L77	P1 x L55	P1

4.2- Ensaios para avaliação dos híbridos, linhagens genitoras e testemunhas

Foram avaliados 70 tratamentos, constituído por 56 híbridos simples (F_{1s} e Recíprocos), oito genitores e seis testemunhas que foram selecionadas de acordo com o seu desempenho quanto a atributos agronômicos e de resistência às doenças em estudo, para fins de comparação dessas características nas testemunhas em relação aos híbridos. Segundo Embrapa (2008), a cultivar BRS Angela apresenta resistência moderada a *E. turcicum* enquanto, a cultivar IAC 125 suscetibilidade moderada. De forma que, para rendimento de grãos e capacidade de expansão as testemunhas utilizadas foram: UFV-Barão de Viçosa, UENF 14, híbrido L70xL54 e híbrido P8xL54.

Os ensaios foram realizados no Colégio Estadual Agrícola Antônio Sarlo, em Campos dos Goytacazes, durante os períodos de primeira época de cultivo - outubro de 2014 a março de 2015 - e segunda época de cultivo - abril a agosto de 2015. Os ensaios foram implantados em blocos casualizados, com quatro repetições. A alocação das linhagens no croqui experimental foi realizada separando estas dos híbridos para evitar efeito de competição. As parcelas consistiram de uma linha de semeadura de 5 m com 25 plantas, sob espaçamento de 0,90 m entre linhas e 0,20 m entre plantas. A semeadura foi realizada a 0,05 m de profundidade com três grãos por cova; e, após 30 dias, realizado o desbaste, deixando uma planta por cova. As parcelas foram adubadas por ocasião da

semeadura com 60 kg ha⁻¹ de K₂O, 30 kg ha⁻¹ de N, e 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, e com 100 kg ha⁻¹ de N. A irrigação foi feita por aspersão e as aplicações de herbicidas e inseticidas foram realizadas sempre que necessárias.

4.3- Características avaliadas

4.3.1- Avaliações de intensidade de doenças

- i. A incidência na planta de *B. maydis* (IBM) e *E. turcicum* (IET) foi realizada com o auxílio da escala de notas da Agroceres (1996) (Figura 1), sendo avaliada a proporção de folhas lesionada na planta inteira, considerando todas as folhas. A escala apresenta intervalo entre 1 a 7, em que nota 1: 0% de incidência; nota 2: 0,5% de incidência; nota 3: 10% de incidência; nota 4: 30% de incidência; nota 5: 50% de incidência; nota 6: 70% de incidência; nota 7: 80% de incidência; nota 8: 90% de incidência e nota 9: 100% de incidência.
- ii. A severidade de *B. maydis* (SBM) foi realizada com o auxílio da escala diagramática de James (1971) (Figura 2).
- iii. Severidade de *E. turcicum* (SET), realizada com o auxílio da escala diagramática de Viera et al. (2013) (figura 3).

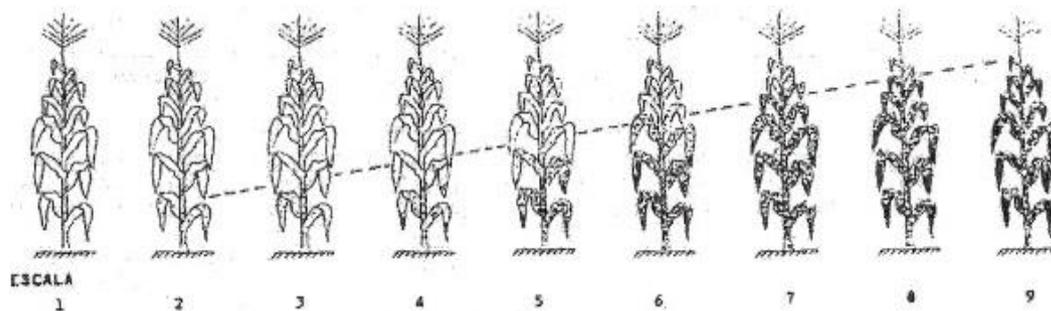


Figura 1. Escala diagramática para avaliação de incidência de moléstias com base na planta, proposta por Agrocerees (1996).



Figura 2. Representação diagramática para avaliação de severidade de helmintosporiose causada por *B. maydis* em folhas de milho, proposta por James (1971).

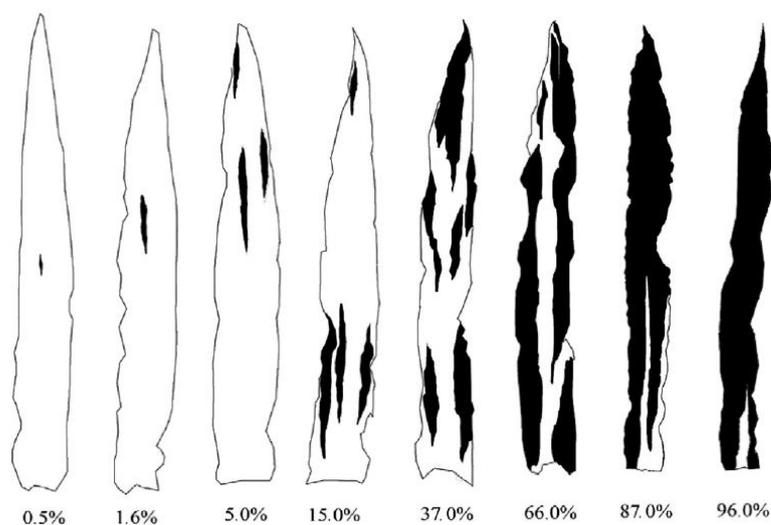


Figura 3. Escala diagramática para avaliação da severidade foliar de helmintosporiose, causada por *E. turcicum*, proposta por Vieira et al. (2013).

As avaliações de severidade ocorreram no período de florescimento, no estágio de grão pastoso. Foram realizadas três avaliações, sendo uma por semana. Das 25 plantas que constituíam a parcela, foram eliminadas das avaliações as cinco plantas iniciais e finais, considerando, então, as 15 plantas centrais como a parcela útil. A primeira planta da parcela útil foi marcada e avaliada e, as duas subsequentes foram omitidas, repetindo, assim, o procedimento. Dessa maneira, foram avaliadas, em cada parcela, cinco plantas. Para fins de avaliação, foi considerada apenas a folha da primeira espiga superior da planta.

4.3.2- Avaliações das características agronômicas

As características agronômicas avaliadas foram:

- i. Número total de espigas por parcela (NE), que foi quantificado pelo número de espigas colhidas em cada parcela;
- ii. Rendimento de grãos (RG), determinado por meio da pesagem dos grãos após a eliminação do sabugo em relação à área extrapolada para hectare, sendo expressa em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$;
- iii. Capacidade de expansão dos grãos (CE) $\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}$, em que a massa de 30 g de grãos foi levada ao micro-ondas em sacola especial para pipocamento, na potência de 1000 W, por dois minutos e vinte segundos. O volume da pipoca foi medido em proveta de 2000 mL, sendo o quociente do volume pipocado dividido por 30 (massa de grão).

4.4 - Análise estatística

As análises estatísticas foram conduzidas para as duas épocas de cultivo. Os resultados foram submetidos à análise de variância, individual para cada época e submetidas ao agrupamento de médias por meio do algoritmo Scott-Knott (1974).

A análise de variância foi realizada utilizando-se os recursos computacionais do Programa GENES (Cruz, 2013), empregando-se o modelo genético-estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + b_j + \xi_{ij}, \text{ em que;}$$

Y_{ij} = valor fenotípico da ij -ésima observação referente ao i -ésimo genótipo no j -ésimo bloco;

μ = média geral da característica;

g_i = efeito do i -ésimo genótipo;

b_j = efeito do j -ésimo bloco; e

ξ_{ij} = erro experimental médio.

O agrupamento das médias foi obtido por meio do algoritmo Scott-Knott (1974) ao nível de 5 % de probabilidade, quando constatado efeito significativo da fonte de variação genótipo.

4.5- Análise dialélica de Griffing (1956)

As análises de capacidade combinatória foram realizadas de acordo com o Método 1 de análise dialélica proposta por Griffing (1956), no qual são incluídas as p^2 combinações. Empregou-se o Modelo B, em que se considera como fixo o efeito dos genótipos. O modelo estatístico considerado para a análise é dado a seguir:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + r_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Em que:

Y_{ij} = valor médio da combinação híbrida ($i \neq j$) ou do genitor ($i=j$);

μ = média geral;

g_i, g_j = efeitos da capacidade geral do i -ésimo ou j -ésimo genitor ($i, j = 1, 2, 3, \dots, p$);

s_{ij} = efeito da capacidade específica de combinação para os cruzamentos entre os genitores de ordem i e j ;

r_{ij} = efeito recíproco que mede as diferenças proporcionais pelo genitor i, ou j, quando utilizado como genitor masculino ou genitor feminino no cruzamento ij;

\mathcal{E} = erro experimental médio associado à observação de ordem ij [NID $(0, \sigma^2)$].

Para as análises foram utilizados os recursos computacionais do Programa GENES (Cruz, 2013).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Análise de variância univariada da primeira e segunda época de cultivo

Na análise de variância para a primeira época de cultivo, foram constatadas diferenças significativas para todas as características ($p < 0,01$), com relação à fonte de variação genótipos, exceto para severidade de *B. maydis* (SBM), demonstrando que para essa característica não há diferenças entre os genótipos avaliados. Por um raciocínio imediato, deduz-se que a população possui reduzida diversidade para SBM. Para as demais variáveis observa-se significância, indicando o potencial de ganho genético em futuros trabalhos de melhoramento, devido à existência de variabilidade genética entre os genótipos utilizados (Tabela 3).

Para segunda época de cultivo, a análise de variância revelou a existência de diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,01$), entre os genótipos, em relação a todas as características avaliadas, (Tabela 4). Essas verificações são indicativas da existência de variabilidade entre os genótipos avaliados, portanto, se tornam, a princípio, promissores para trabalhos visando à seleção ou hibridações objetivando a melhoria das características avaliadas.

As estimativas da herdabilidade na primeira época de cultivo revelaram elevadas estimativas para as características IBM, IET, CE e RG, acompanhadas de valores de herdabilidade acima de 60%. De tal modo, há a possibilidade de identificação de genótipos superiores para as características mencionadas,

sobretudo quanto à incidência de *B. maydis* e rendimento de grãos. Em diversos trabalhos, a capacidade de expansão é destacada por apresentar alta herdabilidade, no entanto, as estimativas nesta época de cultivo foram inferiores às relatadas na literatura. Segundo Pereira e Amaral Júnior (2001), a capacidade de expansão é uma característica poligênica em germoplasma tropical de milho-pipoca e apresenta estimativa de herdabilidade que variam entre 70 a 90%. Por sua vez, a estimativa de herdabilidade pode ser facilmente comprometida por alterações em equipamento de avaliação, por danos no pericarpo e endosperma, teor de umidade do grão, secagem e grãos imaturos (Machado, 1997).

Na segunda época de cultivo, para todas as características (IBM, SMB, IET, SET, RG e CE), foram observadas herdabilidade acima de 80 % (Tabela 4). Os altos valores de herdabilidade indicam que, havendo interesse no programa de melhoramento, há possibilidade de ganhos expressivos no processo de seleção para todas as características. Sendo a segunda época, considerada melhor para a seleção de genótipos promissores.

No que se refere a herdabilidade para as características IBM e IET, na primeira época de cultivo e para IBM, SBM, IET e SET na segunda época de cultivo, observa-se que os valores foram superiores a 50 % (Tabela 3 e 4). Estes valores indicam que o processo de seleção será eficiente, demonstrando a eficácia das avaliações na discriminação de genótipos mais resistentes a estas doenças. Esses resultados estão em consonância com os obtidos por Arnhold (2008), na estimação da herdabilidade de *B. maydis* em famílias S₁ de milho-pipoca. Portanto, os genótipos utilizados revelam um bom desempenho para as características que inferem a resistência a helmintosporiose e poderão ser utilizados para redução no nível da doença na cultura.

Tabela 3. Análise de variância com as significâncias dos quadrados médios (QM) e a estimação da herdabilidade de seis características avaliadas em combinações híbridas, incluindo as recíprocas e seus respectivos oito genitores, na primeira época de cultivo.

FV	GL	Quadrados Médios					
		IBM	SBM	IET	SET	RG	CE
Bloco	3	3020,1304	0,4003	2472,6483	170,3731	6982826,4918	0,5639
Genótipos	69	125,5076**	0,0522 ^{n.s.}	139,1808**	27,4556**	3430195,8011**	54,2446**
Resíduo	207	20,4077	0,0496	46,9587	14,2567	708297,5895	6,5352
h^2		0,83	0,05	0,66	0,48	0,79	0,58

FV = fonte de variação, GL = graus de liberdade, IBM = incidência de *B. maydis*, SBM = severidade de *B. maydis*, IET = incidência *E. turcicum*, SET = Severidade *E. turcicum*, RG = rendimento de grãos, CE = capacidade de expansão, h^2 = herdabilidade, * * significativo em nível de 1 % de probabilidade, ^{n.s.} = não significativo em nível de 1 % de probabilidade.

Tabela 4. Análise de variância com as significâncias dos quadrados médios (QM) e a estimação da herdabilidade de seis características avaliadas em combinações híbridas, incluindo as recíprocas e seus respectivos oito genitores, na segunda época de cultivo.

FV	GL	Quadrado Médio					
		IBM	SBM	IET	SET	RG	CE
Bloco	3	60,6413	0,0810	219,59116	15,0451	1750847,3211	15,6002
Genótipos	69	241,8538**	2,3447**	1104,9504*	54,7417**	4184915,4371**	72,4998**
Resíduo	207	21,1748	0,4108	78,7139	7,8021	434748,0672	5,3931
h^2		0,91	0,82	0,92	0,85	0,89	0,81

FV = fonte de variação, GL = graus de liberdade, IBM = incidência de *B. maydis*, SBM = severidade de *B. maydis*, IET = incidência *E. turcicum*, SET = Severidade *E. turcicum*, RG = rendimento de grãos, CE = capacidade de expansão, h^2 = herdabilidade, * * significativo em nível de 1 % de probabilidade, ^{n.s.} = não significativo em nível de 1 % de probabilidade.

5.2. Agrupamento de média na primeira e segunda época de cultivo

Observou-se a formação de quatro grupos de médias (teste de Scott-Knott) para incidência de *B. maydis* (IBM), avaliados na primeira época de cultivo (Tabela 4). No grupo de menor incidência ficaram alocados 44 genótipos, dos quais destacam as combinações híbridas L77 x L70 (2,55), L77 x P8 (4,42), L55 x L77 (5,46) e L76 x L77 (5,60) por apresentarem médias inferiores a 5,70 %. Na segunda época de cultivo para IBM, houve a formação de cinco grupos, no qual, 19 genótipos constituíram o grupo de menor incidência, em que, as estimativas variaram entre 7,50 a 15,50 %. As combinações L76 x P1 (7,50 %), L55 x L77

(8,92 %), L77 x P1 (10,00 %) e P1 x L61(10,50 %), destacaram-se por apresentarem as menores estimativas presentes no grupo de menor incidência. Cabe ressaltar, que a combinação L55 x L77 obteve bom desempenho nas duas épocas de cultivo, sendo, portanto, promissora para ser utilizada em programas de melhoramento visando à redução da incidência de *B. maydis*.

Para severidade de *B. maydis* (SBM), avaliada na primeira época de cultivo, não houve a formação de grupos (Tabela 4), ou seja, não há diferença entre os genótipos para esta característica. O resultado obtido está em consonância com a análise de variância (Tabela 3), que revelou ausência de significância para genótipos para essa característica. Assim, os genitores, híbridos e testemunhas não diferiram significativamente para SBM, nesta época de cultivo. Por outro lado, na segunda época de cultivo, houve a formação de quatro grupos de médias, sendo que apenas a linhagem P8 constituiu um único grupo, que revelou a maior média para severidade, dentre os genótipos avaliados, indicando seu baixo desempenho a ser utilizado em combinações nessa condição de cultivo. As combinações L55 x L76 (0,02 %), L76 x P1 (0,03 %), L76 x P8 (0,04 %), L77 x P1 (0,04 %), P1 x L61 (0,04 %), obtiveram melhor desempenho com as menores estimativas para o grupo. Observa-se que o genitor L76 (0,18%) participa da maioria das combinações destacadas com as menores médias, por sua vez, obteve destaque com a menor estimativa entre os genitores. Desta forma, torna-se um genitor potencial a ser utilizado na redução da severidade da helmintosporiose causado pelo patógeno *B. maydis*.

Na primeira época de cultivo para incidência *E. turcicum* (IET), as testemunhas BRS Angela, P8 x L54, B. Viçosa e UENF-14 alocaram-se no grupo que revelou incidência entre 6,45 a 17,22 %, sendo as combinações P8 x L76, L76 x L77, L55 x L76, L88 x L70, com menores magnitudes. Os híbridos experimentais destacados revelaram médias inferiores ao híbrido comercial BRS Angela, que apresenta resistência moderada ao patógeno *E. turcicum*, sendo assim, tornam-se potenciais para redução da helmintosporiose ocasionada por esse patógeno.

Na segunda época de cultivo para IET, houve a formação de quatro grupos de genótipos, no qual destacou-se o grupo que deteve médias entre 3,69 a 15,56 %. As combinações que apresentaram as menores médias foram: L88 x L55, L88 x L77, L88 x L70, L77 x L76, L88 x L76. O genitor L76 obteve desempenho

superior estatisticamente em relação aos demais genitores, com média de 9,14 %. No entanto, L88 com média (25,81%) participou de quase todas as combinações selecionadas, o que indica o seu potencial quando em combinações híbridas específicas. Cabe ressaltar que o híbrido L88 X L70 foi o único classificado com menor estimativa nas duas épocas de cultivo, revelando o potencial dessa combinação a ser utilizada para redução de incidência de *E. turcicum*.

A característica severidade de *E. turcicum* (SET), na primeira época de cultivo proporcionou aos genótipos a formação de dois grupos, nos quais 38 genótipos apresentaram médias inferiores 4,55 %. As combinações L61 x L76, L55 x L76, L88 x L70 detiveram as menores estimativas para o grupo. Cabe ressaltar, que todos os híbridos experimentais foram agrupados com as testemunhas BRS Angela, UENF-14, B. Viçosa e P8 x L54, no entanto, as magnitudes dos híbridos experimentais selecionados foram inferiores ao das testemunhas que se apresentaram no mesmo grupo, demonstrando a potencialidade desses híbridos.

Na segunda época de cultivo, houve a formação de quatro grupos de médias para severidade de *E. turcicum* (SET), na qual a testemunha BRS Angela (5,01%), alocou-se no grupo com as menores estimativas. Entre os híbridos experimentais que obtiveram o melhor desempenho e apresentaram média inferior ao obtido pela testemunha acima citada, destacaram-se: L88 x L77(0,04%), L88 x L70(0,07%), L55 x L88 (0,13 %), L88 x L76 (0,20 %), L61 x L88 (0,32 %) e L77 x L76 (0,35%). Sendo que, todas as combinações exceto a L88 x L61, foram apontadas também com ótimo desempenho para IETna segunda época de cultivo. Nota-se que os genitores L88 e L76 contribuíram de forma significativa nas combinações que revelaram menor severidade de *E. turcicum*, indicando a contribuição desses genitores para a formação de combinações híbridas com baixa estimativa para severidade de *E. turcicum*.

Para a característica rendimento de grãos (RG), as médias dos genótipos foram agrupadas em três grupos, nos quais 24 combinações apresentaram média superior a 3.830,33 kg.ha⁻¹. Neste caso, observa-se o bom desempenho obtido pelos híbridos uma vez, que a média obtida supera os valores de produtividade (3.000,00 kg.ha⁻¹). Dentre os genótipos que apresentaram na primeira época de cultivo, o melhor desempenho para rendimento de grãos (RG), estão os híbridos

P8 x L61, L61 x L88, L77 x L55 e L88 x L77, com estimativas de 4.767,01; 4.648,00; 4.502,03; 4.495,34 kg.ha⁻¹, respectivamente. Observou-se ainda que, entre os valores de RG mais baixos próximos ao da produtividade média da cultura (2.500,00 kg.ha⁻¹), foram obtidos por duas testemunhas (BRS Angela e B. Viçosa). Portanto, essas testemunhas podem não apresentar boa adaptação para Campos dos Goytacazes, nessa época de cultivo.

Na segunda época de cultivo, 20 genótipos revelaram médias para RG entre 4.197,92 a 5.411,23 kg.ha⁻¹. Observa-se que a maior média para a característica foi obtida na segunda época de cultivo. Os híbridos experimentais com valores médios mais elevados para RG foram: L77 x L55, L61 x L77, L61 x L55, L77 x P1, com estimativa de 5.411,23; 4.969,94; 4.946,64; 4.787,83 kg.ha⁻¹ respectivamente. A combinação híbrida L77 x L55 obteve bom desempenho nas duas épocas de cultivo, o que pode representar sua boa adaptação em Campos dos Goytacazes.

Para capacidade de expansão (CE), na primeira época de cultivo, houve a formação de cinco grupos. Dentre os grupos formados, 15 genótipos, com estimativa média superior a 32,71 mL.g⁻¹, constituíram o grupo que demonstrou melhor performance. No entanto, o genitor P8 e as testemunhas L70 x L54 e IAC 125 apresentaram o melhor desempenho, com estimativas de 36,25; 34,79 e 34,71 mL.g⁻¹, respectivamente. Observa-se que todos os híbridos que constituíram o grupo de melhor média apresentaram P8 como um dos genitores, neste caso, o bom desempenho desses híbridos para essa característica pode ser explicada pela ação aditiva de genes oriundas deste genitor.

Dentre os híbridos, L76 x P8 apresentou elevada capacidade de expansão, no entanto, seu valor de rendimento de grãos foi somente 3.290,00 kg.ha⁻¹. Embora, a estimativa para rendimento de grãos nesse híbrido não tenha sido uma das maiores obtidas pelos híbridos experimentais, o RG supera a produtividade da cultura. Segundo Scapim (2006), a indicação de híbridos promissores para capacidade expansão e rendimento de grãos pode ser realizada quando os híbridos reúnem CE acima de 30 mL.g⁻¹ e produtividade superior a 3.000 kg.ha⁻¹. Portanto, L76 x P8 obteve resultados satisfatórios para tais características e pode ser indicado para utilização em plantios experimentais, já que também possuem boa produtividade.

Para CE, avaliada na segunda época de cultivo, os genótipos foram alocados em quatro grupos. Os genitores L61 (33,71) e P8 (31,09) obtiveram as melhores médias do grupo, enquanto as testemunhas IAC 125 e P8 x L54 apresentaram o melhor desempenho nesta época de cultivo, com estimativa 33,08; 31,92 mL.g⁻¹. A média superior do genitor P8 nas duas épocas de cultivo demonstra o seu potencial entre os genitores avaliados, portanto, promissores para serem utilizados em programas de melhoramento visando ao aumento da capacidade expansão. Os híbridos experimentais L61 x P8, P8 x P1, L77 x L61 e P1 x L77 destacaram-se por apresentar melhor *performance* para capacidade expansão com estimativas de 31,83; 31,59; 31,58; 31,33 mL.g⁻¹, respectivamente. Observando os demais valores de CE, conjuntamente com RG, identificaram-se os híbridos L61 x L70 e L61 x P1 com resultados promissores, visto que a CE supera o limite comercial de 30 mL.g⁻¹ (com valores respectivos de 31,17 e 31,00 mL.g⁻¹) e a RG supera a produtividade de 3.00,00 kg.ha⁻¹ (com valores estimados de 3.828,60 e 3.614,79 kg.ha⁻¹).

Os programas de melhoramento genético de milho-pipoca, em sua maioria priorizam conciliar a produção e qualidade de grãos, sendo esta última expressa, sobretudo, pela capacidade de expansão. Assim, torna-se necessária a indicação de híbridos que reúnam valores desejáveis de RG e CE. No entanto, outras características agrônomicas vêm sendo empregadas na indicação de híbridos, dentre elas a resistência a doença, assim, às combinações L77 x P8, L77 x P1, L70 x L76, P8 x L76, L77 x L76, obtiveram bom desempenho pelo teste de média na primeira época de cultivo para rendimento de grãos, capacidade expansão, incidência e severidade de *B. maydis*, sendo as três últimas combinações, com médias satisfatórias também para incidência e severidade *E. turcicum*.

Na segunda época de cultivo, os híbridos P8 x L61 e L61 x L55 obtiveram médias aceitáveis para incidência e severidade *E. turcicum*, rendimento de grãos e capacidade expansão, enquanto L77 x P1 e L61 x P1 revelaram bom desempenho para *B. maydis*. Em resumo, os genitores que contiveram os valores mais promissores de CE não foram capazes de alcançar os melhores resultados obtidos para RG, no entanto, os resultados apontam para as combinações híbridas que apresentaram resultados positivos para ambas as características.

Tabela 4. Estimativas de médias na primeira e segunda época de cultivo de seis características avaliadas em oito genitores, 56 híbridos e seis testemunhas, seguidas pelo agrupamento entre médias de Scott Knott, ao nível de 5% de probabilidade, Campos dos Goytacazes, RJ.

Genótipos	IBM (%)		SBM (%)		IET (%)		SET (%)		RG (kg.ha ⁻¹)		CE (mL.g ⁻¹)	
	1º época	2º época	1º época	2º época	1º época	2º época						
L55xL61	13,55d	20,75d	0,09a	0,20d	11,85c	10,69f	1,53c	1,65d	4343,91a	3674,22b	26,34c	27,75a
L55xL70	11,19d	19,33d	0,11a	0,29d	9,56c	9,99f	1,61c	1,49d	3504,58b	3743,56b	26,13c	24,84b
L55xL76	6,91d	10,33e	0,07a	0,02d	6,77c	11,30f	0,76c	0,65d	3613,17b	4716,69a	30,17b	21,09c
L55xL77	5,46d	8,92e	0,05a	0,05d	13,76c	17,42e	4,55c	3,37d	3470,24b	4621,03a	26,25c	24,26b
L55xL88	11,57d	15,50e	0,06a	0,10d	13,26c	5,26f	2,13c	0,13d	4210,48a	4544,87a	24,71d	20,67c
L55xP1	12,97d	13,50e	0,06a	0,18d	10,44c	21,94e	2,68c	3,88d	3744,33b	3130,30c	25,59c	26,17b
L55xP8	9,92d	17,75d	0,07a	0,25d	9,64c	10,14f	2,80c	2,08d	4561,11a	3463,94b	30,63b	25,25b
L61x 55	14,03d	24,25c	0,11a	0,18d	18,95b	9,32f	3,06c	0,47d	3645,64b	4946,64a	27,17c	30,00a
L61xL70	16,14c	35,50b	0,05a	1,70b	16,37c	10,48f	5,45b	1,81d	4313,39a	3828,60b	25,46c	31,17a
L61xL76	8,72d	19,67d	0,05a	0,12d	7,58c	8,30f	0,64c	1,15d	4118,21a	4492,78a	26,71c	29,63a
L61xL77	9,87d	20,50d	0,03a	0,34d	12,93c	11,94f	1,72c	1,73d	4311,84a	4969,94a	27,25c	31,50a
L61xL88	19,78c	29,09c	0,06a	0,29d	18,36b	8,23f	2,12c	0,32d	4648,00a	4380,38a	21,88e	24,42b
L61xP1	16,78c	20,17d	0,67a	0,24d	21,73b	21,14e	6,29b	1,76d	3742,28b	3614,79b	25,54c	31,00a
L61xP8	18,44c	31,83c	0,07a	0,93d	14,87c	20,97e	2,38c	4,60d	4254,48a	3681,30b	30,73b	31,83a
L70xL55	10,80d	20,67d	0,16a	0,26d	7,57c	10,69f	1,41c	1,16d	4018,89a	4197,92a	27,46c	23,34b
L70xL61	19,78c	31,75c	0,07a	2,28b	17,22c	17,24e	6,76b	3,69d	3879,00a	3940,50b	27,38c	30,75a
L70xL76	7,08d	14,58e	0,05a	0,12d	8,29c	28,68e	2,92c	5,60d	3909,59a	3734,11b	30,46b	26,00b

Tabela 4 – Cont.

Genótipos	IBM (%)		SBM (%)		IET (%)		SET (%)		RG (kg.ha ⁻¹)		CE (mL.g ⁻¹)	
	1 ^o época	2 ^o época	1 ^o época	2 ^o época	1 ^o época	2 ^o época						
L70xL88	15,07c	27,50c	0,08a	1,74b	13,42c	7,63f	3,10c	0,73d	3553,60b	3666,81b	28,46c	22,00c
L70xL77	8,48d	18,42d	0,16a	0,24d	10,88c	23,56e	4,87b	5,22d	3545,45b	4286,40a	26,50c	30,25a
L70xP1	15,78c	19,92d	0,07a	0,37d	19,92b	21,71e	9,52b	6,69c	2038,37c	2943,92c	28,46c	30,56a
L70xP8	13,35d	27,58c	0,08a	1,35c	14,98c	23,64e	5,29b	7,03c	3611,88b	2536,97c	33,87a	30,59a
L76 x P1	10,34d	7,50e	0,05a	0,03d	10,93c	21,01e	2,70c	2,82d	4089,00a	4390,84a	30,96b	25,75b
L76x L55	8,71d	18,33d	0,03a	0,07d	11,60c	19,37e	1,32c	1,80d	3097,46b	4485,45a	28,08c	21,92c
L76xL61	6,19d	15,50e	0,05a	0,06d	8,22c	31,68e	1,10c	6,25c	3755,58b	3732,35b	26,09c	28,33a
L76xL70	10,12d	11,75e	0,02a	0,05d	22,20b	52,33c	4,18c	10,85b	2557,71c	2894,31c	30,33b	26,25b
L76xL77	5,60d	15,08e	0,09a	0,12d	7,08c	9,78f	1,59c	0,59d	3871,41a	3898,32b	29,92b	22,08c
L76xL88	6,05d	11,02e	0,02a	0,15d	14,76c	50,50c	3,58c	10,32b	3199,02b	3524,20b	25,00d	19,09d
L76xP8	6,07d	13,92e	0,05a	0,04d	8,62c	27,98e	1,38c	5,18d	3290,18b	3197,01c	34,46a	28,83a
L77 x P1	8,99d	10,00e	0,07a	0,04d	10,30c	17,56e	3,84c	2,56d	3830,97a	4787,83a	30,37b	30,84a
L77xL55	10,94d	17,83d	0,09a	0,11d	12,03c	16,57e	1,40c	2,20d	4502,03a	5411,23a	27,96c	22,92b
L77xL61	9,00d	18,00d	0,03a	0,18d	10,53c	26,04e	1,91c	5,05d	3625,70b	4210,63a	25,21d	31,58a
L77xL70	2,55d	12,08e	0,07a	0,06d	14,81c	50,50c	3,29c	8,56c	2477,70c	2804,77c	30,54b	30,08a
L77xL76	6,92d	19,67d	0,09a	0,15d	7,74c	5,32f	1,21c	0,35d	3960,76a	4582,80a	30,29b	25,42b
L77xL88	7,82d	12,00e	0,04a	0,04d	11,21c	43,94d	3,69c	7,52c	3246,53b	3310,99b	26,71c	17,70d
L77xP8	4,42d	16,92d	0,05a	0,08d	10,75c	35,93d	1,63c	6,93c	3758,75b	3095,58c	33,38a	30,42a
L88xL55	12,84d	17,42d	0,13a	0,13d	12,19c	3,69f	4,86b	0,55d	4388,25a	4235,68a	22,96e	21,50c

Tabela 4 – Cont

Genótipos	IBM (%)		SBM (%)		IET (%)		SET (%)		RG (kg.ha ⁻¹)		CE (mL.g ⁻¹)	
	1 ^o época	2 ^o época	1 ^o época	2 ^o época	1 ^o época	2 ^o época						
L88xL77	16,28c	28,00c	0,15a	0,31d	16,70c	4,54f	2,40c	0,04d	4495,34a	4107,79b	23,96d	23,33b
L88xL61	14,14d	26,00c	0,06a	1,26c	15,01c	7,86f	3,15c	2,27d	4316,98a	4305,62a	22,50e	24,34b
L88xL70	12,37d	17,17d	0,10a	0,16d	7,54c	4,60f	0,84c	0,07d	3106,65b	4501,46a	24,33d	22,58b
L88xL76	5,73d	18,25d	0,05a	0,16d	9,57c	5,69f	1,97c	0,20d	4433,02a	4647,67a	24,63d	18,83d
L88xP1	16,96c	18,92d	0,06a	0,27d	18,79b	13,82f	9,18b	2,76d	2199,03c	3016,15c	24,96d	22,96b
L88xP8	12,30d	28,08c	0,10a	0,99d	12,91c	13,27f	3,09c	3,36d	3046,57b	2616,87c	29,58b	23,02b
P1 x L55	12,60d	13,83e	0,03a	0,12d	13,38c	16,65e	2,53c	4,57d	3910,11a	3876,68b	27,34c	26,13b
P1x L70	13,93d	20,77d	0,03a	0,20d	19,79b	23,04e	5,16b	3,86d	3247,13b	3019,11c	28,08c	30,63a
P1x L77	15,77c	21,42d	0,05a	0,69d	12,88c	21,00e	5,84b	4,76d	2432,02c	3158,94c	27,04c	30,59a
P1xL61	6,08d	10,50e	0,05a	0,04d	15,56c	45,00d	5,51b	8,24c	2635,48c	3353,60b	24,88d	31,33a
P1xL76	9,29d	9,25e	0,03a	0,04d	16,05c	51,75c	5,72b	11,57b	3513,57b	3576,33b	29,38b	25,42b
P1xL88	15,29c	18,75d	0,05a	0,33d	16,70c	14,02f	5,37b	2,46d	3341,14b	2820,74c	24,58d	22,09c
P1xP8	9,23d	18,42d	0,07a	0,30d	14,26c	45,26d	6,92b	7,75c	3208,88b	2556,71c	33,42a	30,92a
P8x L55	10,48d	18,83d	0,03a	0,17d	12,22c	10,99f	6,55b	0,98d	4035,65a	3654,52b	32,54a	23,00b
P8xL61	10,69d	33,58b	0,35a	1,13c	13,50c	15,56f	1,53c	2,00d	4767,01a	3832,40b	29,75b	31,92a
P8xL70	18,23c	25,25c	0,06a	0,89d	16,23c	16,32e	6,51b	3,98d	3382,14b	3673,81b	32,71a	30,25a
P8xL76	7,74d	11,25e	0,06a	0,03d	6,45c	25,47e	3,79c	2,47d	3830,66a	3916,17b	33,08a	26,54b
P8xL77	6,22d	13,25e	0,06a	0,13d	15,73c	25,86e	8,61b	4,54d	2897,08b	4538,59a	25,92c	30,22a
P8xL88	12,81d	26,25c	0,10a	0,39d	13,02c	14,19f	4,38c	1,48d	3359,97b	3230,11c	28,17c	23,08b

Tabela 4 – Cont

Genótipos	IBM (%)		SBM (%)		IET (%)		SET (%)		RG (kg.ha ⁻¹)		CE (mL.g ⁻¹)	
	1 ^o	2 ^o	1 ^o	2 ^o	1 ^o	2 ^o						
	época	época	época	época								
P8 X P1	8,19d	20,09d	0,05a	0,32d	13,54c	53,43c	6,25b	13,98a	3001,18b	2394,37b	33,87a	31,59a
L88	36,20a	48,92a	0,06a	0,92d	36,03a	25,81e	6,08b	3,69d	1670,11d	2031,41c	18,50f	15,75d
L77	26,48b	28,83c	0,72a	1,34c	28,29a	30,89e	5,43b	6,94c	1071,87d	1035,91d	28,38c	29,25a
L55	22,87c	24,83c	0,06a	0,37d	34,79a	75,78a	16,09a	17,40a	1521,88d	730,83d	27,31c	20,50c
L70	13,15d	16,33d	0,07a	0,27d	21,65b	52,59c	5,14b	10,44b	1638,48d	1992,93c	28,50c	29,92a
L61	9,93d	21,25d	0,09a	0,13d	28,42a	61,33b	3,77c	8,21c	722,88d	475,26d	22,71e	33,71a
P1	19,16c	37,34b	0,13a	1,37c	20,53b	47,75c	5,44b	8,69c	1284,83d	664,69d	28,83c	29,58a
L76	19,50c	18,84d	0,07a	0,18d	16,47c	9,14f	1,23c	1,46d	1633,28d	1998,29c	30,04b	23,00b
P8	21,89c	36,25b	0,04a	5,12a	20,52b	40,28d	4,00c	6,04c	1814,40d	2553,24c	36,25a	31,09a
IAC 125	15,40c	26,59c	0,13a	0,76d	14,53c	31,61e	5,74b	8,04c	3215,19b	2817,62c	34,71a	33,08a
BRS Angela	8,78d	23,00d	0,05a	0,26d	9,20c	17,13e	3,44c	5,01d	2560,12c	2768,61c	34,38a	28,83a
L70xL54	9,91d	12,11e	0,02a	0,09d	19,70b	60,65b	9,30b	12,3b	3797,68b	3355,37b	34,79a	25,00b
P8xL54	11,89d	26,75c	0,03a	2,04b	14,24c	40,85d	4,29c	6,68c	3762,86b	3205,60c	32,79a	31,92a
UENF-14	14,71c	22,58d	0,06a	1,13c	16,90c	20,70e	4,21c	3,28d	3191,20b	3778,18b	33,50a	28,38a
B.Viçosa	13,20d	22,08d	0,07a	0,44d	15,07c	10,14f	3,84c	2,61d	2685,74c	3142,96c	33,71a	27,75a

5.3. Análise dialética de Griffing (1956), para o experimento instalado na primeira época de cultivo

Os resultados submetidos à estimação da capacidade combinatória, capacidade geral e capacidade específica de combinação serão apresentados em primeira época e segunda época de cultivo, separadamente.

5.3.1. Análise da capacidade combinatória univariada na primeira época de cultivo

Com relação à fonte de variação genótipos, houve significância para todas as características ($p < 0,01$), exceto para SBM (Tabela 5). O desdobramento dos tratamentos em CGC revelou efeito significativo apenas para severidade de *E. turcicum* (SET), rendimento de grãos (RG) e capacidade de expansão (CE). Quanto a CEC, não foi observado diferença significativa para as características relacionadas à severidade a *B. maydis* e *E. turcicum* (SBM e SET) e para a característica agrônômica CE. Tais resultados indicam que todas as combinações híbridas foram semelhantes à média dos genitores, tendo, portanto, limitadas chances de se obter combinação híbrida superior para o conjunto de híbridos avaliados, nessa época de cultivo. No entanto, para RG, houve significância tanto para CGC quanto CEC, indicando que a variabilidade é resultante de efeitos aditivos e não-aditivos no controle da expressão gênica dessa característica. Desta forma, para a seleção da melhor fonte para aumento de RG, deve-se dar ênfase não só ao desempenho médio da linhagem nas combinações híbridas, mas também às combinações específicas.

Não foram observados efeitos recíprocos para as características avaliadas, indicando a inexistência de diferenciação na escolha do genitor masculino para expressões das características. Não há informações, em milho-pipoca, sobre a manifestação de efeito recíproco para resistência a mancha de helmintosporiose. Por outro lado, em milho comum, quanto à helmintosporiose ocasionada pelo fungo *B. maydis*, a resistência pode estar relacionada ao genitor no cruzamento; havendo, portanto, influência recíproca para a resistência/suscetibilidade de acordo com a ordem do genitor no cruzamento. Um exemplo histórico, foi a ocorrência da severa epidemia nos Estados Unidos da América, em 1970, na qual, cultivares de milho que continham o citoplasma T, apresentaram-se

altamente suscetíveis ao fungo da raça T, gerando prejuízos naquele ano, superiores a 1 bilhão de dólares (Costa et al., 2014). Neste caso, existiu uma relação de efeito, envolvendo genes citoplasmáticos no controle da expressão da resistência dessa característica, de maneira que a epidemia assolou os genótipos que apresentaram um determinado tipo de citoplasma.

Tabela 5. Análise de variância para a capacidade geral (CGC) e específica de combinação (CEC) e média dos quadrados dos efeitos de CGC e CEC para seis características, avaliadas em oito genitores e 56 híbridos de milho-pipoca inter cruzados em dialelo completo, com os recíprocos, na primeira época de cultivo, em Campos dos Goytacazes – RJ, 2015.

FV	GL	Quadrados médios					
		IBM	SBM	IET	SET	RG	CE
Genótipos	63	24438,1439**	6,8788 ^{n.s.}	27454,8390**	4468,2837**	3662308,1049**	46,6543**
CGC	7	101714,4614 ^{n.s.}	10,1684 ^{n.s.}	60583,8321 ^{n.s.}	18258,8802**	5331101,3828**	350,3801**
CEC	28	25385,1855**	8,5268 ^{n.s.}	41796,5796**	3623,0738 ^{n.s.}	6354133,1696**	6,9675 ^{n.s.}
Recíproco	28	4172,0229 ^{n.s.}	4,4083 ^{n.s.}	4830,8501 ^{n.s.}	1865,8445 ^{n.s.}	553284,7207 ^{n.s.}	10,4096 ^{n.s.}
Resíduos	189	4632,2361	6,5320	9084,9527	2305,2210	710220,2771	6,5599
Média dos quadrados dos efeitos							
CGC		1516,9098	0,0568	804,6700	249,2759	72201,2673	5,3722
CEC		5188,2373	0,4987	8177,9067	329,4632	1410978,2231	0,1019
Recíproco		-57,5266	-0,2655	-531,7628	-54,9221	-19616,9445	0,4812

FV = fonte de variação, GL = graus de liberdade, IBM = incidência de *B. maydis*, SBM = severidade de *B. maydis*, IET = incidência *E. turcicum*, SET = Severidade *E. turcicum*, RG = rendimento de grãos, CE = capacidade de expansão, CGC = capacidade geral de combinação, CEC = capacidade específica de combinação, * * significativo em nível de 1 % de probabilidade, ^{n.s.} = não significativo em nível de 1 % de probabilidade.

Não houve a ocorrência de efeito recíproco significativo para helmintosporiose causada pelos fungos *B. maydis* e *E. turcicum*. Uma das explicações plausíveis para não ter ocorrido significância de efeito recíproco deve-se a ausência de influência significativa de genes provenientes do núcleo do genitor utilizado como mãe ou de genes citoplasmáticos. Portanto, independente de qual genótipo será utilizado como genitor masculino ou como genitor feminino em uma combinação híbrida, o seu desempenho como doador ou como receptor

de pólen será o mesmo, para as características avaliadas. Esses resultados são de grande importância para os programas de melhoramento de milho-pipoca, uma vez que não havia informações sobre a resposta dos híbridos recíprocos para resistência à mancha helmintosporiose, até então.

Para as estimativas das médias dos quadrados dos efeitos, os valores de CEC foram superiores à CGC para IBM, SBM, IET, SET e RG (Tabela 5), demonstrando que as ações gênicas e a estrutura genética dos híbridos estudados, favorecem a manifestação de efeitos gênicos não-aditivos. Sendo, portanto, a utilização de hibridações a melhor alternativa para o melhoramento visando à obtenção de ganhos para essas características. No milho-pipoca, a maior importância dos efeitos não-aditivos tem consequência direta na exploração de variedades híbridas. Por outro lado, se o interesse fosse o desenvolvimento de linhagens, esses resultados indicariam que a seleção para os caracteres avaliados seriam mais eficientes em gerações avançadas quando os efeitos de dominância fossem menos pronunciados.

Para incidência e severidade de helmintosporiose, houve superioridade para CEC na média dos quadrados dos efeitos em relação à CGC. Para algumas doenças, é constatada a maior importância da CEC sobre a CGG. Nihei e Ferreira (2012) observaram, em trabalho com análise dialélica utilizando linhagens de milho para diversas doenças foliares, que a resistência a *E. turcicum* apresentou os efeitos dominantes como os mais importantes, o que difere das respostas encontradas por Carson (1995), Paterniani et al. (2000) e Vivek et al. (2010). Este fato pode ocorrer quando se trabalha com cruzamentos, cujas linhagens envolvidas não são aparentadas, aumentando a possibilidade de ocorrência de não obter similaridade dos *loci* que controlam a característica e, assim, obter uma complementação genética nos híbridos que expressam os efeitos de dominância gênica, acarretando diminuição do efeito de CGC. No presente trabalho, observou-se para resistência a *E. turcicum* maiores efeitos não-aditivos, o que indica que neste caso, a complementação entre os híbridos nos *loci* apresentou algum grau de dominância; portanto, o melhoramento envolvendo hibridações é a melhor alternativa para a exploração do efeito da complementação gênica, que poderá propiciar ganhos superiores.

Para o caráter CE, é observado que a estimativa dos quadrados dos efeitos da CGC foi altamente superior às estimativas dos quadrados dos efeitos da CEC,

indicando a importância de genes com efeitos aditivos; portanto, métodos interpopulacionais são os mais recomendados para se obterem ganhos na capacidade de expansão. Os resultados, obtidos neste trabalho, concordam com os resultados encontrados para CEC nos trabalhos de Silva et al. (2010). Vieira et al. (2011) e Cabral (2013), que avaliando a capacidade de combinação em milho-pipoca, relataram, também, a maior importância dos efeitos aditivos no controle da capacidade de expansão. A variância aditiva, no controle gênico das características, é um indicativo de maior facilidade na seleção de populações, obtidas por meio da combinação de genitores superiores. Já a variância dos efeitos não-aditivos indica a viabilidade do uso “per se” de combinações híbridas, entre os genitores avaliados (Freitas Junior et al., 2006).

Para RG, as médias dos quadrados dos efeitos associados à CGC foram menores do que as associadas à CEC, evidenciando maior importância dos efeitos não-aditivos em relação aos aditivos no controle gênico dessa característica. De forma análoga a esses resultados, efeitos significativos superiores de CEC em relação à CGC, foram encontrados por Aguiar et al. (2004) e por Santos (2009), em milho comum, e por Pereira e Amaral Júnior (2001) e Freitas Júnior et al. (2006) em milho-pipoca. Alguns trabalhos têm evidenciado a predominância dos efeitos de CGC em relação aos efeitos de CEC, em milho-pipoca, para o caráter rendimento de grãos, como os trabalhos desenvolvidos por Paterniani et al. (2008) e Vieira et al. (2011).

5.3.2. Estimativa de capacidade geral de combinação na primeira época de cultivo

As estimativas dos efeitos de \hat{g}_i , para as características estudadas expressaram valores cujo sinal variou entre positivo e negativo em função do genitor em uso (Tabela 6). É interessante que a seleção recaia sobre os indivíduos com estimativas elevadas de \hat{g}_i e sinal positivo, porém, dependendo da característica, valores com sinal negativo de \hat{g}_i podem ser mais convenientes (Trindade, 2010), como é o caso de características relacionadas a resistência a doenças.

Tabela 6. Estimativa da capacidade geral de combinação (\hat{g}_i), avaliada em um dialelo completo de oito genitores, com os recíprocos na primeira época de cultivo (Dezembro/2014) em Campos dos Goytacazes, RJ.

Genitores	Características Avaliadas					
	IBM	SBM	IET	SET	RG	CE
L88	61,8709	0,2734	41,5519	-7,4022	431,5150	-3,6400
P8	22,5184	-0,2222	- 12,3813	3,4578	-17,8590	1,3740
L61	- 57,3891	-0,3572	- 21,0606	- 17,9584	- 300,2580	0,0250
L70	- 51,0828	-0,3028	-9,7463	-1,4622	-24,5870	0,5940
L77	24,0309	0,8603	3,5888	-6,2791	79,5770	4,1840
L55	14,3134	-0,1316	50,7094	36,7572	- 456,1800	-2,2100
P1	- 5,9253	-0,0147	- 15,4450	6,1866	- 14,1570	-0,6070
L76	- 8,3366	-0,1053	- 37,2169	-13,2997	301,9490	0,2790

IBM = incidência de *B. maydis*, SBM = severidade de *B. maydis*, IET = incidência de *E. turcicum*, SET = severidade de *E. turcicum*, RG = rendimento de grãos, CE = capacidade de expansão.

Os genitores que expressaram as maiores estimativas negativas de capacidade geral de combinação, para as características relacionadas à incidência *B. maydis* (IBM) e severidade de *B. maydis* (SBM) foram: L61, L70, L76 e P1 (Tabela 6). O genitor L61 apresentou a maior estimativa negativa para às características IBM - 57,3891 e SBM -0,3572. Por se tratar de resistência a doenças, afirma-se que o genótipo, ao apresentar CGC negativa, é potencialmente superior para utilização em programas de melhoramento (Cruz et al., 2012).

Para IET e SET, variáveis relacionadas, respectivamente, à incidência e severidade de *E. turcicum*, os genitores que expressaram as maiores estimativas negativas para as duas características foram L76, L61 e L70 (Tabela 6); enquanto que, os demais genitores apresentaram estimativas negativas apenas para uma característica, não sendo, portanto, uma fonte de resistência interessante. No teste de médias (Tabela 4), os híbridos que apresentam as melhores médias, em relação às duas características, exibem em sua constituição, pelo menos um dos genitores destacados com alta estimativa negativa de CGC. Estes resultados indicam a contribuição destes genitores para um possível aumento da resistência de plantas oriundas de cruzamentos que os envolvam.

Diferentemente do considerado para características relacionadas a doenças, quando se avalia rendimento de grãos (RG), as estimativas positivas mais elevadas de \hat{g}_i são preteridas, posto que os efeitos da complementação alélica sejam preponderantes para gerar genótipos superiores. Para esta variável, as maiores estimativas de CGC para RG foram observadas no genitor L88, seguido por L76 e L77. Embora, o genitor L88 tenha apresentado para incidência e severidade de helmintosporiose, valores altamente positivos, a estimativa da capacidade combinatória geral para RG superou as estimativas dos demais genitores, indicando a elevada frequência de alelos favoráveis para o aumento de rendimento de grãos nesse genitor. Segundo Cruz e Venconsky (1989), apresentar-se á maior \hat{g}_i o genitor que possuir as maiores frequências de alelos favoráveis. Neste caso, as altas estimativas positivas para incidência e severidade de helmintosporiose não afetaram o rendimento de grãos, sendo possível observar a elevada estimativa de CGC para este genitor.

Resultados similares para outras doenças no milho também foram encontrados. Buiate (2008), em avaliação de doenças em grãos de milho utilizando diferentes híbridos, verificou que o híbrido com maior resistência foi o mesmo que expressou os menores rendimentos nos locais avaliados. Engelsing et al. (2011), em avaliação de linhagens de milho para resistência a *Cercospora zae-maydis*, verificou que os genitores com maior grau de resistência à cercosporiose, conforme a CGC, foram também os que expressaram os menores rendimentos de grãos. Acredita-se, que os genótipos que são mais expostos a patogenia tendem a apresentar menor rendimento de grãos, por sua vez, o que foi observado é que não houve interferência da CGC da doença em relação CGC do rendimento de grãos.

Os genitores L77, P8 e L70 foram os que apresentaram maiores estimativas positivas de \hat{g}_i para capacidade expansão (CE). Para programas de melhoramento de milho-pipoca, prioriza-se encontrar genótipos que reúnam genes favoráveis para rendimento de grãos e capacidade de expansão, por serem as de maior importância econômica, além, claro, de outras características que possam tornar o genótipo superior. Neste caso, o que foi observado é que para a maioria dos genitores que apresentaram as maiores frequências de alelos favoráveis para RG foram também os que apresentaram as menores frequências

de alelos favoráveis para capacidade de expansão, isso se deve a correlação inversamente proporcional existente entre RG e CE.

O genitor L77, por outro lado, destacou-se com estimativa de \hat{g}_i positiva para RG, embora não tenha expressado a maior estimativa dentre os genitores avaliados; e, também deteve uma das mais altas estimativas de \hat{g}_i para capacidade de expansão; no que se refere às doenças, apresentou estimativas favoráveis apenas para redução da severidade de *E. turcicum*. Por sua vez, para o genitor L76, ocorreu o contrário, uma vez que a estimativa de \hat{g}_i para rendimento de grãos foi uma das mais elevadas, ao passo que a estimativa de \hat{g}_i para capacidade de expansão foi positiva. Com relação às doenças, esse genitor revelou potencial para redução dos níveis de incidência e severidade de helmintosporiose, por exibir estimativas negativas de \hat{g}_i . Portanto, L76 pode ser considerado o genitor mais promissor a ser utilizado em programas de melhoramento, quando se deseja a exploração simultânea de características relacionadas à produção, qualidade de grãos e resistência a doenças.

Embora neste trabalho não tenha sido possível identificar vários genitores que reunissem, concomitantemente, elevado rendimento de grãos e com expressiva capacidade de expansão, algumas estratégias para a obtenção deste tipo de material podem ser utilizadas. Uma delas é reunir em combinações híbridas genitores que apresentem elevada estimativa de \hat{g}_i para rendimento de grãos e, identicamente, elevada estimativa de \hat{g}_i para capacidade expansão; e, assim, obter híbridos com estimativas positivas de \hat{g}_i para os dois caracteres.

Com a finalidade de destacar o genitor mais promissor na primeira época de cultivo, é observado que L76 revelou estimativas positivas de \hat{g}_i para as características RG e CE e estimativas negativas para IBM, SBM, IET e SET. Embora, haja expressado estimativas negativas de \hat{g}_i para IBM e SBM, estas foram de magnitudes baixas. Portanto, L76 é um genitor de interesse para produzir segregantes superiores em gerações avançadas, uma vez, que se obteve destaque para a maioria das características avaliadas. Assim, a utilização desse genitor nas hibridações, aumenta a possibilidade de obter combinações híbridas com estimativas de s_{ij} favoráveis para todos os caracteres.

5.3.3. Estimativa de capacidade específica de combinação na primeira época de cultivo

O parâmetro \hat{s}_{ij} refere-se ao efeito de capacidade de combinação de um genitor consigo próprio e é de fundamental importância para indicar a direção dos desvios de dominância do caráter. Quando a estimativa é negativa, os desvios serão predominantemente positivos e, quando positivas, os desvios serão negativos. Quando os valores forem positivos e negativos há evidência de dominância bidirecional (Cruz e Vencovsky, 1989). Com base na estimativa de \hat{s}_{ii} , ficou constatado que para IBM e IET, houve desvios de dominância negativos e herança unidirecional o que infere que os genes de dominância contribuem para diminuir a expressão dessas características (Tabela 7).

Tabela 7. Estimativa de \hat{s}_{ij} e os efeitos para \hat{s}_{ii} , avaliadas em um dialelo completo de oito genitores, com os recíprocos, na primeira época de cultivo (Dezembro/2014) em Campos dos Goytacazes, RJ.

Efeitos de \hat{s}_{ii} e \hat{s}_{ij}	Características Avaliadas					
	ICH	SCH	ISS	SSS	RG	CE
L88 X L88	217,2116	-0,9172	215,0313	38,0791	-2555,5260	-2,2000
L88 X P8	-5,5009	-0,4866	-1,1456	28,0791	319,9320	-0,8980
L88 X L61	-63,2784	-0,5816	-92,7863	-11,9997	113,9720	0,9710
L88 X L70	-34,7247	-0,2209	-62,2206	-19,8709	637,4010	1,4610
L88 X L77	-21,7134	-1,1141	-15,6306	-5,8841	697,9720	0,3510
L88 X L55	-29,3559	2,3428	-0,8013	-2,6953	156,7640	0,3510
L88 X P1	-21,5422	0,9809	-37,7619	-24,6947	730,7810	0,1030
L88 X L76	-41,0959	-0,0034	-4,6850	-1,0134	-101,2950	0,1510
P8 X P8	74,0166	-0,0759	79,5575	-10,3509	-1512,4900	-0,6860
P8 X L61	-44,9859	0,1441	-50,0981	-6,0397	788,0950	0,1850
P8 X L70	-19,6422	0,4797	-32,1875	-7,2459	265,4140	0,0650
P8 X L77	-24,5259	-0,9134	0,1975	-8,4891	510,9650	-0,6900
P8 X L55	19,0016	-0,0616	0,5769	8,9347	-653,3730	0,3100
P8 X P1	31,9553	-0,0184	39,9713	13,1853	166,4190	1,0450
P8 X L76	-30,3184	0,9322	-36,8719	-18,0734	115,0380	-0,7900
L61 X L61	99,8416	0,7741	214,7563	27,4616	-2039,2110	0,3520
L61 X L70	37,6053	-0,0053	86,5219	16,3003	-520,0560	-2,0200
L61 X L77	-5,3534	-0,2584	-81,1131	-11,0328	347,1040	-3,7300
L61 X L55	-36,5909	-0,1916	-14,3988	-10,7241	311,0810	1,0200
L61 X P1	-9,3922	-0,0484	-53,5494	-6,6784	512,2280	-0,2920
L61 X L76	22,1541	0,1672	-9,3325	2,7128	486,7870	0,4220
L70 X L70	119,2791	0,5653	112,5275	24,6791	-1674,9520	-0,6670

Tabela 7. Cont.

Efeitos de $\hat{\sigma}_{ij}$ e $\hat{\sigma}_{ji}$	Características Avaliadas					
	ICH	SCH	ISS	SSS	RG	CE
L70 X L77	-56,0797	-0,7028	-73,2275	-21,9941	779,2940	-0,5800
L70 X L55	-10,1222	-0,2009	-52,2681	-26,5653	498,2100	-0,9600
L70 X P1	-31,4934	-0,1178	8,8563	13,6653	4,0520	-1,1710
L70 X L76	-4,8222	0,2028	11,9981	21,0316	10,6370	-0,5820
L77 X L77	126,5516	5,5191	176,4175	27,5328	-2449,8910	-0,0970
L77 X L55	18,6641	-1,2241	-7,5481	8,7216	-215,9190	0,2860
L77 X P1	-7,3772	-0,6409	-7,4138	-6,1428	-224,7570	0,0290
L55 X L55	92,4366	-0,1272	173,1763	75,6003	-928,3670	-0,8500
L55 X L76	1,9066	-0,3384	-52,4525	-39,6078	618,8440	-0,8390
P1 X P1	113,4841	0,4091	99,8650	-1,8184	-2049,4630	0,5450
P1 X L76	-19,6947	-0,3653	-3,6831	26,1478	647,9810	-1,1860
L76 X L76	102,0366	0,0703	86,7088	-8,4859	-2333,2250	0,2930
Recíprocos						
P8 X L88	28,6150	0,1350	9,8000	7,1800	-217,1950	-0,1850
L61 X L88	3,3700	-0,0750	24,5400	3,8450	-510,3750	-1,3750
L70 X L88	8,9400	0,4900	-10,8600	-1,1700	95,0950	-2,0650
L77 X L88	-31,4150	0,4300	-11,2850	2,7100	-76,3300	0,7050
L55 X L88	-21,9050	-3,3650	-14,5250	-6,5350	-247,5750	0,3100
P1 X L88	-51,9200	1,4900	-3,6300	-3,7250	256,2650	-0,8750
L76 X L88	8,6950	-0,0350	-45,7850	-10,2500	349,1350	0,1900
L61 X P8	-5,6200	-0,0050	-4,8150	-13,7750	-77,0050	0,7280
L70 X P8	13,1700	-0,7750	-2,7100	-19,5150	40,1250	0,4480
L77 X P8	5,5000	-0,1150	15,9700	1,9950	381,6900	0,2330
L55 X P8	-2,6700	-0,2350	-55,2400	-25,9850	196,8250	-0,7430
P1 X P8	18,9650	-0,0350	3,0200	4,1850	-114,8700	0,3800
L76 X P8	14,3500	-0,2450	17,3650	4,6400	-257,1550	0,5380
L70 X L61	-56,2200	0,2550	-62,4300	-8,1050	-40,0050	-0,0780
L77 X L61	52,9350	0,0950	8,4000	-3,3750	-382,3800	-2,5380
L55 X L61	-1,4000	0,2900	6,8250	11,3000	-281,7700	0,4360
P1 X L61	12,2900	0,0600	-14,8300	12,2250	270,2400	0,8550
L76 X L61	-22,4450	0,1650	-32,3750	-11,8800	-237,9150	1,6650
L77 X L70	-3,7050	-0,3150	12,1200	5,4600	236,1300	0,5330
L55 X L70	19,9950	-0,0850	38,6300	15,7350	133,5200	0,0560
P1 X L70	15,5750	0,1150	36,7500	48,7050	-430,8350	0,6650
L76 X L70	-23,7750	-0,1150	18,9100	4,6450	-180,3650	0,1900
L55 X L77	-20,8250	-0,0750	-21,4350	-22,8850	571,0550	-0,4900
P1 X L77	4,3750	-0,1650	-8,1850	8,4100	156,0700	0,9550
L76 X L77	-2,2750	-0,4900	2,0550	-18,0350	-88,8850	0,2250
L77 X L76	-30,1659	-0,6653	8,3181	17,2884	555,2320	1,2030
P1 X L55	-13,3850	-0,0950	-12,4050	-1,3350	-103,8500	0,4150
L76 X L55	12,3800	0,2150	-22,3550	-1,3650	-82,8900	0,3300
L76 X P1	-3,8200	0,2350	-13,4900	-30,2500	262,7300	-0,8750

IBM = incidência de *B. maydis*, SBM = severidade de *B. maydis*, IET = incidência *E. turcicum*, SET = Severidade *E. turcicum*, RG = rendimento de grãos, CE = capacidade de expansão.

Para RG, os desvios de dominância foram positivos e a herança unidirecional. Desta forma, os genes de dominância contribuem para aumentar rendimento de grãos. Para SBM, SET e CE, foi constatada a herança bidirecional, ou seja, os genes dominantes ora atuam para reduzir ora atuam para aumentar a expressão dessas características.

Com referência às características relacionadas à incidência e severidade de *B. maydis*, os resultados de \hat{s}_{ij} mostram que 14 combinações foram negativas para ambas as características, dentre as combinações foram destacadas: L70 x L77, L88 x L70, L77 x L76, L88 x L61, L88 x L76, L76 x L70, P8 x L77, P1 x L76, por apresentarem maior estimativa negativa para capacidade específica de combinação, menor média (Tabela 4) e pelo menos um de seus genitores com valores negativos de \hat{g}_i . Somente a combinação P8 x L77 apresentou estimativa positiva para \hat{g}_i . No entanto, os dois genitores que compõem a combinação híbrida apresentaram desempenho satisfatório, com elevada estimativa negativa para \hat{s}_{ij} frente as características; isso revela que esta combinação foi melhor do que a esperada com base na CGC parental, por não apresentar em sua formação sequer um genitor com estimativa negativa de \hat{g}_i .

Das 28 combinações híbridas avaliadas, 17 apresentaram estimativas negativas para incidência e severidade de *E. turcicum*. As combinações mais promissoras para reduzir os níveis de helmintosporiose, causada pelo patógeno *E. turcicum* na primeira época de cultivo, considerando as duas características avaliadas em conjunto foram L88 x L61, L88 x L70, L61 x L77, L55 x L76, P8 x L61, P8 x L76 e L88 x L76, destacando-se como híbridos potenciais, no entanto, somente as combinações L88 x L70, L55 x L76 e P8 x L76, foram destacadas no teste de média com as menores estimativas para o grupo (Tabela 4). Ainda, em relação à IET e SET, o híbrido experimental L88 x L76, embora tenha revelado baixa CEC negativa para as duas características e um dos genitores com alta estimativa para CGC, a média desse híbrido foi uma das menores para incidência e severidade, revelando o potencial dessa combinação (Tabela 4). As combinações que se destacaram com o melhor desempenho para incidência e severidade de *E. turcicum*, exceto a L88 x L70 apresentam em sua constituição as linhagens L61 e L76, que foram caracterizadas por exibir estimativas negativas de \hat{g}_i , portanto, o desempenho desses genitores pode ter influenciado no potencial das combinações híbridas promissoras.

Normalmente, atribui-se a severidade a danos na produção (Belasque et al., 2005) e alguns trabalhos consideram em avaliações de doenças, apenas a severidade como característica para estimar a resistência ou suscetibilidade de genótipo. No presente trabalho, houve a preocupação de avaliar e indicar híbridos promissores em relação à doença, com base não somente na severidade, mais também na incidência. Para isso, a seleção e indicação dos híbridos, com relação à $\hat{\sigma}_{ij}$, foram realizadas com embasamento naqueles que foram superiores para incidência na planta e severidade na folha.

Para rendimento de grãos (RG), obteve-se um grande número de combinações com estimativas de $\hat{\sigma}_{ij}$ positivas. Somente as combinações L88 x L76, P8 x L55, L61 x L70 e L77 x L55 expressaram estimativas negativas para o caráter. Como para rendimento de grãos, é interessante obter-se combinações que apresentem estimativas positivas, no intento de elevação das médias de rendimento de grãos, não é interessante, pois, a seleção dessas combinações. Desta forma, as combinações com estimativas de $\hat{\sigma}_{ij}$ positivas, que se podem destacar, foram: L88 x L55, L88 x L77, L61 x L77, L61 x L76, P8 x L77, L77 x L76, P8 x L61; no entanto, a combinação P8 x L61 não apresentou pelo menos um genitor com valor de $\hat{\sigma}_i$ favorável positivo, comportando-se melhor do que o esperado com base na CGC dos parentais.

A análise das estimativas de $\hat{\sigma}_{ij}$ para CE revelou que 19 combinações apresentaram magnitudes positivas – L76 x P8, P8 x P1, L70 x P8, P8 x L77, P8 x L55, P8 x L61, L76 x L70, L77 x L76-, as demais combinações podem ser consideradas promissoras para tal característica, pois revelaram valores positivos para $\hat{\sigma}_{ij}$, média satisfatória (Tabela 4) para o caráter e provêm de pelo menos um genitor com potencial para aumento da capacidade de expansão. Isso demonstra que o efeito desejável de acumulação gênica dos genitores L70, L77 e P8 traduziu-se em efeito satisfatório de complementação gênica nas combinações.

Com base no conjunto de características avaliadas, sobretudo para RG e CE, os híbridos P8 x L77 e L77 x L76 expressaram valores satisfatórios para resistência à helmintosporiose causada por *B. maydis*; e P8 x L61, e destacou-se por seus valores altos e negativos para incidência e severidade de *E. turcicum*, contribuindo para redução dessas características.

5.4. Análise dialélica de Griffing (1956), para o experimento instalado na segunda época de cultivo.

5.4.1. Análise da capacidade combinatória univariada na segunda época de cultivo

Houve diferenças significativas ($p < 0,01$) para as fontes de variação genótipos, CGC e CEC, em todas as características avaliadas (Tabela 9). A existência de variabilidade genética entre os híbridos avaliados pode ser demonstrada pelos efeitos significativos dos quadrados médios para todas as características.

Em relação ao quadrado médio para os caracteres IBM, SBM, IET, SET, RG e CE, tanto para a fonte de variação CGC, quanto para CEC, observaram-se efeitos significativos ($p < 0,01$), indicando a existência de efeitos aditivos e não-aditivos controlando estes caracteres. O efeito significativo para as capacidades combinatórias revelam a existência de variabilidade resultante de ambos os efeitos, permitindo concluir que a avaliação neste ambiente favoreceu a ocorrência de significativa variabilidade entre os genótipos quanto às características avaliadas, resultante dos efeitos da capacidade de combinação. Deste modo, é possível identificar híbridos superiores, a partir de combinações obtidas com os genitores utilizados.

Para a média dos quadrados dos efeitos, as estimativas de \hat{s}_{ij} foram superiores às estimativas de \hat{g}_i , para todas as características avaliadas, exceto CE, de forma idêntica ao que ocorreu com as resultantes da avaliação no período de primeira época de cultivo, portanto a melhor alternativa para obtenção de ganhos para essas características é a utilização de hibridações.

Tabela 9. Estimativas dos quadrados médios de genótipos de milho-pipoca (genitores e F₁s), das capacidades geral e específica de combinação (CGC e CEC), efeito recíproco e do resíduo, bem como da média dos quadrados dos efeitos da capacidade combinatória para seis características avaliadas em dialelo completo entre oito genitores, com os recíprocos, na segunda época de cultivo – (Maio/2015) – em Campos dos Goytacazes, RJ.

FV	GL	Quadrados médios					
		IBM	SBM	IET	SET	RG	CE
Genótipos	63	57378,0724**	368,9778 **	218117,5369**	4367,1203**	4503644,1416**	74,2646**
CGC	7	384486,2704**	1769,8194**	1203867,4560**	23109,1557**	10253968,3452**	613,2601**
CEC	28	31368,6386**	373,2015**	179669,4416**	3277,1100**	6957148,1128**	8,9460**
Recíproco	28	1610,4566 ^{n.s.}	14,5436 ^{n.s.}	10128,1523 ^{n.s.}	771,6218 ^{n.s.}	612559,1194 ^{n.s.}	4,8343 ^{n.s.}
Resíduos	189	24,9434	59,5202	15824,1628	517,0652	458242,0666	3,9158
Média do quadrado dos efeitos							
CGC		5933,9371	26,72343	18563,1765	353,0014	153058,2231	9,5210
CEC		6663,5858	78,42034	40961,3197	690,0112	1624726,5115	1,2576
Recíproco		-387,9799	-5,62207	-712,0013	31,8196	19289,6316	0,1148

FV = fonte de variação, GL = grau de liberdade, IBM = incidência de *B. maydis*, SBM = severidade de *B. maydis*, IET = incidência *E. turcicum*, SET = Severidade *E. turcicum*, RG = rendimento de grãos, CE = capacidade de expansão, CGC = capacidade geral de combinação, CEC = capacidade específica de combinação, * * significativo em nível de 1 % de probabilidade, ^{n.s.} = não significativo em nível de 1 % de probabilidade.

A incidência e severidade de doenças fúngicas são agravadas, a depender das condições climáticas, sobretudo, temperatura e umidade existentes em uma região. Devido às condições climáticas em Campos dos Goytacazes não serem bem definidas de acordo com a época de semeadura imposta, a infestação e proliferação dos patógenos causadores da helmintosporiose, pode variar, devido à instabilidade climática existente. Trabalhos relacionados à produtividade de grãos e resistência a doenças revelam que as estimativas de CGC e CEC podem ser influenciadas pelo ambiente (Rojas e Sprague, 1952; Matzinger et al., 1959; Parodas e Hayes, 1971; Pixley e Bjarnason, 1993). Este fato é intensificado em regiões tropicais, onde a interação é de particular interesse, pois há uma expressiva variação entre locais, mesmo entre locais próximos. Variações na latitude, comprimento do dia, umidade e temperatura são maiores nessas regiões, alterando o que se espera encontrar em avaliações de doenças, quando se impõe

diferenças nas épocas de cultivo. Deste modo, o trabalho do melhorista torna-se mais laborioso, o que tende a ser mais desafiador (Miranda Filho, 1985; Paterniani, 1990).

Como, no geral, as estimativas de \hat{s}_{ij} foram as mais importantes para as características avaliadas, a utilização e seleção baseada na capacidade específica de combinação na segunda época de cultivo é preferencial para este caráter. Quanto a CE, as fontes de variação \hat{g}_i e \hat{s}_{ij} obtiveram-se maiores estimativas na segunda época de cultivo em relação à primeira época, neste caso, a seleção será favorecida para este caráter, se ela for realizada com base nas fontes de variação da segunda época.

5.5.2. Estimativa de capacidade geral de combinação na segunda época de cultivo

Na segunda época de cultivo, para as características relativas à incidência e severidade de *B. maydis*, o genitor L61 foi o que apresentou maior estimativa de \hat{g}_i negativa, para incidência (-91,2664), e para severidade (-4,9361), seguido dos genitores L70, L76 e L55, nesta ordem, com valores de -78,8658 e -4,1280; -62,4608 e -3,9873; -40,5027 e -2,7005, para incidência e severidade, respectivamente (Tabela 10).

É verificado que existe a prevalência da superioridade da resistência dos três primeiros genitores citados, nas duas épocas de cultivo, portanto, são linhagens mais favoráveis para conter alelos de resistência a esta doença e, assim, são recomendáveis para serem utilizados em cruzamentos nos quais se desejam obter redução dos níveis de helmintosporiose na cultura.

Nos resultados obtidos para IET e SET, os genitores L77, L76, L88 e P8 apresentaram estimativa negativa elevada para essas duas características avaliadas. Porém, considerando-se as duas épocas de cultivo apenas sobressaiu-se L76. Alguns autores relatam que as estimativas de \hat{g}_i , para resistência a doença, podem ser facilmente influenciáveis pelo ambiente, possivelmente pelas variações provocadas na latitude, temperatura, adubação, que podem influenciar na expressão do gene que confere a resistência (Engelsing et al., 2011; Nihei e Ferreira, 2012). Deste modo, a manifestação de alta estimativa de \hat{g}_i , negativa,

para os dois caracteres apenas por um genitor quando consideradas as duas épocas, pode ser explicada, por possíveis influências de fatores abióticos na expressão de genes envolvidos na resistência a *E. turcicum*.

Tabela 10. Estimativas da capacidade geral de combinação, avaliadas em um dialelo completo com oito genitores, incluindo os recíprocos, na segunda época de cultivo – Maio de 2015 -, em Campos dos Goytacazes, RJ.

Genitores	Características Avaliadas					
	IBM	SBM	IET	SET	RG	CE
L88	115,8905	1,8470	-107,4250	-17,8440	403,6550	-5,4520
P8	63,3211	11,0089	-33,1384	-0,6050	67,3220	2,2060
L61	-91,2664	-4,9361	118,0447	7,8530	-87,3050	3,6650
L70	-78,8658	-4,1280	103,6778	12,8540	358,4060	1,5500
L77	39,3680	1,1508	-169,1720	-21,6050	39,8520	0,9600
L55	-40,5027	-2,7005	194,2666	31,0370	-639,4360	-2,7810
P1	54,5161	1,7452	52,5791	9,7040	-516,9830	1,9250
L76	-62,4608	-3,9873	-158,8330	-21,3940	374,4900	-2,0720

IBM = incidência de *B. maydis*, SBM = severidade de *B. maydis*, IET = incidência *E. turcicum*, SET = Severidade *E. turcicum*, RG = rendimento de grãos, CE = capacidade de expansão.

Considerando as linhagens com estimativas de \hat{g}_i positivas para RG os genitores L88, L76 e L70 expressaram, de forma hierárquica, os valores mais elevados para rendimento de grãos. A linhagem L70 não expressou o mesmo desempenho na primeira época, mas se destacou na segunda época de cultivo com alta estimativa de \hat{g}_i . O desempenho dos genitores P8, L61, L70 e L76 foram superiores para esta época de cultivo, sendo, mais viável a utilização destes na segunda época de cultivo, quando se deseja obter elevadas frequências de alelos favoráveis para rendimento de grãos.

Para o caráter CE, as linhagens L61, P8, P1 e L70 foram as que apresentaram as mais expressivas estimativas positivas de \hat{g}_i . Por sua vez, em relação ao rendimento de grãos e à capacidade de expansão, concomitantemente, o genitor L70 exibiu estimativas positivas em ambas as características, revelando-se de potencial para atender o produtor e o consumidor de pipoca. É possível observar que P8 e L70 se destacaram nas duas épocas de cultivo, no entanto, o desempenho para a capacidade de expansão foi superior na segunda época em relação à primeira época de cultivo, indicando que as

condições ambientais na segunda época foram mais favoráveis para a expressão da expansão da pipoca.

Com a intenção de destacar os genitores mais promissores para a segunda época de cultivo, em relação aos caracteres avaliados, foi possível identificar o genitor L70, que apresentou alta estimativa negativa para \hat{g}_i , considerando IBM e SB, e o genitor P8 com estimativa negativa para \hat{g}_i , considerando IET e SET; e alta estimativa positiva de \hat{g}_i para RG e CE indicando ser apropriada a sua utilização visando à obtenção de ganhos para a resistência a helmintosporiose.

5.5.3. Estimativa de capacidade específica de combinação na segunda época de cultivo

As estimativas de \hat{s}_{ij} foram positivas para todas as características relacionadas a doença (Tabela 10). Para IBM, SBM, IET e SET, observam-se desvios de dominância negativos, portanto, ocorrência de dominância unidirecional. Desta forma, os genes dominantes colaboram para a redução da expressão da incidência e severidade de helmintosporiose.

Tabela 11. Estimativas dos efeitos de \hat{s}_{ij} e \hat{s}_{ii} , avaliadas em um dialelo completo com oito genitores, incluindo os recíprocos, na segunda época de cultivo – Maio de 2015 -, em Campos dos Goytacazes, RJ.

Efeitos de \hat{s}_{ii} e \hat{s}_{ij}	Características Avaliadas					
	IBM	SBM	IET	SET	RG	CE
L88 x L88	187,5583	2,2767	257,5809	34,3783	-2275,2420	0,1320
L88 X P8	19,1877	4,7148	5,3247	6,2695	-85,7690	-0,0370
L88 X L61	-48,0348	-1,5202	-109,0096	-13,8836	673,4230	-1,5140
L88 X L70	-52,1255	-0,5733	-113,0770	-15,4448	929,1820	-0,3290
L88 X L77	-31,2342	-4,8720	36,1484	2,6739	301,2370	-0,2260
L88 X L55	-80,7536	-2,0758	-108,5050	-25,2373	53,3890	-0,2260
L88 X P1	25,8077	3,2836	-13,4978	1,2708	370,8370	2,7970
L88 X L76	-20,4055	-1,2339	81,1841	9,9733	32,9430	-0,4700
P8 X P8	108,9470	37,0230	288,9984	14,4808	-1080,7460	0,6240
P8 X L61	-50,1555	-10,9920	12,4703	6,7227	253,8720	1,6700
P8 X L70	-21,4311	-9,7602	-48,3228	-5,9486	323,4450	-0,1250
P8 X L77	-11,9148	0,4211	-22,6628	-2,1348	379,7000	-1,1450
P8 X L55	-12,1042	-7,5927	-177,2770	-18,4211	124,2020	0,6500

Tabela 11. Cont.

Efeitos de $\hat{\sigma}_{ii}$ e $\hat{\sigma}_{ij}$	Características Avaliadas					
	IBM	SBM	IET	SET	RG	CE
P8 X P1	-21,3780	-4,4233	-60,9691	3,4470	55,7100	-0,4150
P8 X L76	-11,1511	-9,3908	2,4378	-4,4155	29,5870	-0,1650
L61 X L61	163,4920	5,6030	308,2822	19,1445	-2849,4710	0,8100
L61 X L70	44,7814	3,7698	166,8991	30,3233	-920,9020	0,0850
L61 X L77	-12,2023	-0,3989	-180,5360	-21,6680	748,0020	-0,1000
L61 X L55	-10,9717	2,7623	28,1853	7,4708	666,3000	-0,0400
L61 X P1	-75,0355	-2,4183	-128,1520	-19,9561	661,5370	-1,1100
L61 X L76	-11,8736	3,1942	-61,9903	-8,1536	767,2390	1,3090
L70 X L70	102,8208	5,9267	218,8959	31,9420	-2223,2230	0,3000
L70 X L77	20,0220	-0,9870	-187,8740	-26,8542	717,6360	-0,1700
L70 X L55	-22,1673	1,2742	33,9322	2,1545	225,3480	0,2100
L70 X P1	-54,1911	-2,3164	-47,9003	-13,0373	476,3210	-1,2000
L70 X L76	-17,7092	2,6661	-22,5534	-3,1348	472,1930	0,5990
L77 X L77	71,9733	7,8992	480,7459	68,9695	-2543,1350	0,1560
L77 X L55	-16,5911	-0,4795	-155,9180	-25,4217	18,6680	-0,5170
L77 X P1	14,3902	-0,1052	-24,8153	-3,5486	-98,7200	-1,8210
L77 X L76	-34,4430	-1,4777	54,9116	7,9839	476,5920	0,6020
L55 X L55	164,3445	4,0717	361,7584	52,7870	-1489,6400	-0,1400
L55 X P1	-26,9292	-0,4639	113,4259	16,9052	132,6180	1,4700
L55 X L76	5,1727	2,5036	-95,6022	-10,2373	269,0950	-0,9460
P1 X P1	158,0570	7,2005	233,5934	26,9633	-1800,6850	-0,4590
P1 X L76	-20,7211	-0,7570	-71,6847	-12,0442	202,3820	0,4850
L76 X L76	111,1308	4,4955	113,2972	20,0283	-2250,0310	-0,7920
Recíprocos						
L61 X L88	-10,5000	-0,3600	75,1600	3,2750	-3,6650	2,8150
L70 X L88	-17,0600	-1,7150	34,6050	3,8550	220,6450	0,2900
L77 X L88	-5,6850	0,1750	-29,1700	-1,1950	-136,2950	-0,0300
L55 X L88	6,6750	-0,3600	20,4750	10,3050	-297,8400	-0,0400
P1 X L88	6,1250	1,2250	-38,5450	-12,7600	75,5500	0,4150
L76 X L88	-24,9350	0,2450	17,4550	4,8150	-636,2100	0,4350
L61 X P8	6,5600	-0,2800	7,0450	3,5400	-0,8800	-1,6580
L70 X P8	-5,6850	-0,5900	14,2150	0,5700	-37,8850	0,1270
L77 X P8	-10,9350	-2,8700	0,3950	7,6950	319,4050	1,0300
L55 X P8	13,1250	1,6250	5,9500	-10,5500	107,5100	0,8670
P1 X P8	-21,0000	-3,1200	-61,5100	-16,4050	568,4200	-0,1630
L76 X P8	1,7500	-0,0100	4,5950	2,4450	-227,1800	-0,7890
L70 X L61	2,1900	0,1650	5,2500	-11,4000	-44,1700	1,1350
L77 X L61	17,0600	0,2650	-35,7850	-2,3600	301,5700	0,6330

Tabela 11. Cont

Efeitos de \hat{s}_{ii} e \hat{s}_{ij}	Características Avaliadas					
	IBM	SBM	IET	SET	RG	CE
L55 X L61	-4,9200	-0,7750	-55,1250	-13,5000	-85,3000	0,3950
P1 X L61	-13,1250	-0,1300	-17,9400	-15,2500	359,5800	-0,6700
L76 X L61	20,5600	-0,0600	-64,0500	-9,7050	162,9250	0,1250
L77 X L70	-14,4350	0,0450	1,7500	-0,7350	32,4350	0,1430
L55 X L70	-20,1250	-0,0950	53,2450	14,1450	132,6700	-0,7750
P1 X L70	-22,7500	0,1700	-65,9750	-11,4400	721,5050	-0,7500
L76 X L70	-6,1250	0,1500	-9,4100	4,1350	-83,4000	-0,0350
L55 X L77	-10,9350	0,5200	-1,4450	0,7300	-97,7050	0,0450
P1 X L77	-8,3150	-3,4400	9,1400	-10,2300	306,6200	-1,1250
L76 X L77	-21,8750	-0,1850	7,3950	-2,7550	154,5950	0,3350
P1 X L55	11,3750	0,3000	44,1900	26,6050	-81,1700	1,1250
L76 X L55	7,0000	0,2250	32,5500	-4,5450	-373,1900	-0,1650
L76 X P1	-9,6250	0,6200	-10,5900	5,7150	-95,2900	0,0200

IBM = incidência de *B. maydis*, SBM = severidade de *C. heterostrophus*, IET = incidência *E. turcicum*, SET = Severidade *E. turcicum*, RG = Rendimento de Grãos, CE = Capacidade de Expansão.

Para RG, as estimativas de \hat{s}_{ij} foram negativas e os desvios de dominância foram positivos, assim, os genes dominantes contribuem para aumentar a expressão da característica. O genitor L61 apresentou as estimativas mais elevadas para RG, mostrando grande aptidão para aumentos no rendimento de grãos para ser cultivado na segunda época de cultivo. Para IBM, a maior contribuição, no sentido de redução da incidência das doenças, foi obtida pelo genitor L88. Por sua vez, para SBM, o genitor P8 foi o que se destacou para redução dos níveis de severidade de helmintosporiose causada por *B. maydis*. Para redução nos níveis de incidência e severidade ocasionadas pelo patógeno *E. turcicum*, o genitor L77 destacou-se em relação aos demais. No que se referem às estimativas de \hat{s}_{ij} para CE, verifica-se a expressão de dominância bidirecional (Tabela 11).

Griffing (1956) preconizou que, a depender do objetivo do programa de melhoramento a melhor combinação deve ser aquela com maior estimativa de CEC, em que pelo menos um dos genitores tenha alta CGC. Assim, considerando-se as estimativas que apresentaram \hat{s}_{ij} negativo para incidência e severidade *B. maydis*, 18 combinações foram destacadas, entretanto, as combinações que apresentaram estimativas mais elevadas e menores médias

para incidência e severidade foram: P8 x L76, P8 x L61, P1 x L76, L76 x L77, L77 x P8. Dessas, L61, L70, L55 e L76 são as que exibiram desempenhos favoráveis de \hat{g}_i . Isto demonstra que os genitores, destacados pelos valores de \hat{g}_i (Tabela 10), realmente podem gerar indivíduos superiores para as características incidência e severidade de *B. maydis*, visto que pelo menos um dos genitores participa das combinações apresentadas.

Com relação às características incidência e severidade de *E. turcicum*, espera-se que os melhores híbridos sejam aqueles cujos valores de \hat{s}_{ij} tenham sido negativos, uma vez que refletem a contribuição para reduzir os níveis de plantas doentes. Neste aspecto, 16 combinações híbridas expressaram estimativas negativas para incidência e severidade de *E. turcicum*, entretanto, apenas as combinações L88 x L55, L88 x L70, L88 x L61, L61 x L76, P8 x L55, L61 x L77, P8 x L70 possuem pelo menos um dos genitores com valores desejáveis de \hat{g}_i para incidência e severidade.

Com relação ao rendimento de grãos, as combinações híbridas L61 x L77, L61 x L55, L77 x L76, L88 x L70, L61 x L76, L88 x L61, L70 x L77 expressaram estimativas superiores em relação às demais, destacando-se as combinações L61 x L77 e L61 x L55 com médias equivalentes a 4.969,64 kg.ha⁻¹ e 4.946,64 kg.ha⁻¹ (Tabela 4). É interessante observar que as melhores combinações híbridas, contêm em sua constituição, pelo menos um dos genitores, destacados pelos valores de \hat{g}_i , exceto a combinação L61 x L55 que não apresentou pelo menos um de seus genitores com estimativa positiva para \hat{g}_i . No entanto, nos dois genitores que compõem a combinação híbrida, houve desempenho satisfatório, apresentando elevada estimativa positiva para \hat{s}_{ij} .

Há que se acentuar ainda, que, essas combinações também derivam de, ao menos um genitor com estimativa de \hat{g}_i pujante para redução de incidência e severidade de *B. maydis* assim como, para *E. turcicum*, o que pode explicar a superioridade dessas combinações. Por conseguinte, pode-se antever que a acumulação alélica presente nos genitores que compõem as combinações híbridas, provavelmente se manifestará em desejáveis complementações gênicas nos híbridos em que participam tanto para redução dos índices de incidência e severidade de helmintosporiose, quanto para aumentos do rendimento de grãos.

Para CE, 15 combinações expressaram estimativas positivas de \hat{s}_{ij} , dentre elas, os pares com magnitudes mais elevadas foram: P8 x L61, L77 x P8, L77 x

L70, L61 x L77, L61 x L76, L70 x P8, L61 x L70. Neste caso, P8 x L61 apresentou estimativa $\hat{\sigma}_{ij}$ superior às demais combinações selecionadas, com média equivalente a $31,92 \text{ mL.g}^{-1}$ (Tabela 4), revelando o seu potencial para essa característica. Embora haja dificuldade em reunir alta produtividade e boa capacidade de expansão em um mesmo híbrido, ficou evidenciado que o L61 x L77 conseguiu abarcar qualidade com produtividade, sendo que o genitor L61 conteve a maior estimativa de \hat{g}_i para capacidade de expansão, enquanto L77 expressou boa estimativa de \hat{g}_i para rendimento de grãos. Isso denota que o híbrido respondeu como esperado com base na GCC parental. Isso não ocorreu para as demais combinações, cujos híbridos, embora adviessem de \hat{g}_{is} desejáveis para CE e RG, não exibiram boas complementações alélicas para as características, em conjunto.

Cabe ressaltar que não foram obtidos híbridos, com altas estimativas para todas as características na segunda época de cultivo; porém, é válida a seleção de alguns híbridos promissores para aumentos de rendimentos de grãos, da capacidade de expansão e na redução da incidência e severidade de pelo menos uma doença. As combinações L61 x L76 e L61 x L77 destacaram-se, por exibir alta estimativa negativa de $\hat{\sigma}_{ij}$ para IET, SET, bem como elevadas estimativas positivas pra RG e CE. De forma análoga, a combinação P8 x L61 destacou-se por apresentar elevada estimativa positiva para CE, bem como estimativas negativas elevadas para IBM e SBM, além de revelar estimativa média positiva para RG.

6. CONCLUSÕES

1. Não houve efeito recíproco para IBM, SBM, IET, SET, RG e CE.
2. Houve predominância de efeitos não-aditivos, nas duas épocas de cultivo, para as características IBM, SBM, IET, SET e RG, favorecendo a exploração de efeitos heteróticos.
3. Para a característica capacidade expansão houve a predominância de efeitos aditivos no controle do caráter.
4. Os híbridos experimentais que mais se destacaram na primeira época de cultivo, para características agrônômicas e incidência e severidade de *B. maydis* foram L77 x L76 e P8 x L77, enquanto P8 x L61 sobressaiu-se para IBM, IET, SET, RG e CE.
5. Os híbridos experimentais que mais se destacaram na segunda época de cultivo, para incidência e severidade de *E. turcicum* e características agrônômicas, foram L61x L76 e L61 x L77 ao passo que e P8 x L61 exibiu superioridade para características agrônômicas e incidência e severidade de *B. maydis*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrocere. (1996) Guia Agrocere de sanidade. São Paulo: Sementes Agrocere, 72p.
- Agrolink. Portal do conteúdo Agropecuário. *Produção de milho pipoca cresce 67% em Mato Grosso*. Disponível em:
http://www.agrolink.com.br/culturas/milho/noticia/produção-de-milho-pipoca-cresce-67--em-mt_172070.html. Acesso em: 22 de mai. 2015.
- Aguiar, C.G., Scapim, C.A., Pinto, R.J.B., Amaral Júnior, A.T. do., Silvério, L. , Andrade, C.A.B. (2004) Análise Dialética de Linhagens de Milho na Safrinha. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.34, n.6, p.1731-1737.
- Ahmed, N., Hakim, M. A., Zargar, G. H. (1997) Combining ability studies in okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). *Vegetable Science*, v. 24, n. 2, p. 95-98.
- Allard, R.W. (1971) Princípios do melhoramento genético das plantas. São Paulo: Edgard Blücher, p.381.
- Amaral Júnior, A.T., Pereira, M.G., Daros, M., Silva, R.F., Santos, F.S., Tardin, F.D., Freitas Júnior, S.P., Carvalho, G.F., Nunes, P.R., Bressan-Smith, R.E.,

Gabriel, A.P., Carolina, P., Scapim, C.A., Viana, J.M.S. (2002) O melhoramento de milho pipoca na UENF. II Mostra de Pós-Graduação, UENF, Campos dos Goytacazes, 78p.

Amorim, L., Rezende, J.A.M., Bergamin Filho, A. (2011) Manual de Fitopatologia, 4.ed. Piracicaba: Agronômica Ceres.

Amorim, L. Avaliação de doenças. In: MANUAL de fitopatologia: princípios e conceitos. 3. ed. São Paulo: Ceres, 1995. v. 1, p. 647–671.

Arnhold, E. (2008) Seleção para resistência a doenças foliares em famílias S1 de milho-pipoca. *Revista Ceres*, Universidade Federal de Viçosa- Viçosa, vol. 55, n. 2, p. 89-93.

Associação Brasileira dos Produtores de Sementes. (2002) Anuário Abrasem. Brasília, DF, 135 p.

Baldissera, J. N. C., Valentini, G., Coan, M. M. D., Almeida, C. B., Guidolin, A. F., Coimbra, J. F. M. (2012) Capacidade combinatória e efeito recíproco em características agronômicas do feijão. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 33, n. 2, p. 471-480.

Belasque JR, J.; Bassanezi, R. B.; Spósito, M. B.; Ribeiro, L. M.; Jesus JR, W. C. De; Amorim, L. (2005) Escalas Diagramáticas para Avaliação da Severidade do Cancro Cítrico. *Revista Fitopatologia Brasileira*. v. 30, n.4, p. 387-393.

Bergamin Filho A & Amorim L (2011) Manejo integrado de doenças. In: Amorim L, Rezende JAM & Bergamin Filho A (Org.) Manual de Fitopatologia: Princípios e conceitos. 4 edição. São Paulo, Ceres, v. 1, p. 409-419.

Brandão, A. M. (2002) Manejo da cercosporiose (*Cercospora zeaemaydis* Tehon & Daniels) e da ferrugem comum do milho (*Puccinia sorghi* Schw) pelo uso da resistência genética, fungicidas e épocas de aplicação. Dissertação (Mestre em Fitopatologia). Uberlândia MG. Universidade Federal de Uberlândia, 143p.

- Brito, A.H. (2010) Controle genético e químico de doenças foliares e grãos ardidos em milho. Tese (Doutor em Produção Vegetal). Universidade Federal de Lavras. Lavras-MG, 99p.
- Brugnera, A., Von Pinho, R.G., Pacheco, C.A.P., Alvarez, C.G.D. (2003) Resposta de cultivares de milho pipoca a doses de adubação de semeadura. *Revista Ceres*, Viçosa, v.50, n.290, p.417-429.
- Buiate, E. A. S. (2008) Reaction of maize hybrid and survey of the major fungi associated to the pathogen complex causing ear rot in Minas Gerais. *Horizonte Científico*, v. 01, n. 08, p. 1-14.
- Cabral, P.D.S. (2013) Análise dialélica em milho-pipoca: capacidade combinatória, análise de trilha e efeito gênico. Tese (Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes- RJ, 93p.
- Carson, M.L., Van Dyre, C.G. (1994) Effect of light and temperature on expression of partial resistance of maize to *Exserohilum turcicum*. *Plant Disease*, v.78, n.5, p.519-522.
- Carson, M. L. (1995) Response of a maize synthetic to selection for components of partial resistance to *Exserohilum turcicum*. *Plant Disease*, St. Paul, v. 90, p. 910-914.
- Carson, M.L.(2006) A new gene in maize conferring the "chlorotic halo" reaction to infection by *Exserohilum turcicum*. *Plant Disease*, v.79, p.717-720.
- Casela, C. R., Ferreira A. S. da., Pinto, N. F. (2006) Doenças na Cultura do Milho. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. p.14. (Embrapa Agropecuária. Circular Técnica, versão eletrônica- 1ª edição).
- Conab - Companhia Nacional de Abastecimento. (2013) Proposta de Preços mínimos. Safra de 2013/2014. Conab. p. 158. (Versão Eletrônica, vol II).

- Costa, R.V. da., Silva, D.D. da., Cota, L.V. (2014) Mancha de Bipolaris do Milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. p. 4. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 207).
- Cruz, C.D., Vencovsky, R. Comparação de alguns métodos de análise dialélica.(1989) *Rev. Bras. Gen.* Ribeirão Preto, v.12,n.2, p.425-438.
- Cruz, C.D., Regazzi, A.J., Carneiro, P.C. (2012) Métodos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 4. ed. Viçosa: UFV, 512p.
- Cruz, C.D. GENES. (2013) A software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.35, n.3, p.271-276.
- Cruz, J. S., Pereira Filho, I. A., Alvarenga, R. C., Contijo Neto, M. M., Viana, J. H. M., Oliveira, M. F. de., Matrangolo, W. J. R., Albuquerque Filho, M. R. de.(2010) Sistema de Produção 1. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: Embrapa Milho e Sorgo. (Versão Eletrônica - 6ª edição).
- Dourado Neto, D., Fancelli, A.L. (2000) Produção de Milho. Guaíba: Agropecuária.
- Emygdio, B.M., Ignaczak, J.C., Cargnelutti Filho, A. (2007) Potencial de rendimento de grãos de híbridos comerciais simples, triplos e duplos de milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.6, n.1, p.95-103.
- Engelsing, M.J., Rozzetto, D.S., Coimbra, J.L.M., Zanin, C.G., Guidolin, A.F. (2011) Capacidade de combinação em milho para resistência a *Cercospora zea-maydis*. *Revista Ciência Agronômica*, v.42, n.1, p.232-241.
- Fantin, G. M., Sawazaki, E., Barros, B. C. (1991) Avaliação de genótipos de milho pipoca quanto à resistência a doenças e qualidade da pipoca. *Summa Phytopathologica*, v. 17, n. 2, p. 90-99.
- Fernandes, F.T., Oliveira, E. (2000) Principais doenças na cultura do milho. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 80p.

- Freitas Junior, S.P., Amaral Júnior, A.T., Pereira, M.G.; Cruz, C.D., Scapim, C.A. (2006) Capacidade combinatória em milho pipoca por meio de dialelo circulante. Brasília, DF, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, n.11, p.1599-1607.
- Freitas Júnior, S. P. (2008) Seleção Recorrente entre famílias de irmãos completos em geração avançada da população UNB- 2U de milho-pipoca. Tese (Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes- RJ, 96 p.
- Freitas Júnior, S. P., Amaral Junior, A. T., Rangel, R. M., Viana, A. P. (2009) Predição de ganhos genéticos na população de milho-pipoca UNB-2U sob seleção recorrente, utilizando-se diferentes índices de seleção. *Semina*, v.30, n.4, p.803-814.
- Fontes, P.S.F. (2002) Adubação nitrogenada e avaliação de cultivares de banana (*Musa spp*) no Noroeste do Estado do Rio de Janeiro. Tese (Mestrado em Produção Vegetal)- Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 54p.
- Galinat, W. C. (1977) The origin of corn. In: SPRAGUE, G.F. (Ed) corn and corn improvement. New York, *Academic Press*, p.1-48.
- Gardner, C.O., Eberhart, S. A. (1966). Análise e interpretação do dialelo variedade e populações relacionadas *Biometrics*. v. 22, p. 439-452.
- Germani, R., Pacheco, C. A. P.,Carvalho, C.W.P. (1997) Características físicas e químicas dos principais cultivares de milho-pipoca planados no Brasil. *Arquivo de Biologia e Tecnologia*.v.40, n.1, p.19-27.
- Gorgulho, E. P., Miranda Filho, J. B. (2001) Estudo da capacidade combinatória de variedades de milho no esquema de cruzamento dialélico parcial. *Bragantia*, Campinas, v. 60, n. 1, p. 1-8.

- Griffing, B.A. (1956) Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Sciences*, v.9, n.6, p.463-493.
- Hallauer, A.R. (1990) *Methods used in developing maize inbreds*. Iowa State University of Science and Technology, Ames (USA). Dept. of Agronomy. p. 1-16.
- Hayman, B. I. (1954) The analysis of variance of diallel tables. *Biometrics*, Washington, v. 10, p. 235-244.
- James, W.C. (1971) A manual of assessment keys of plant diseases. Canada Department of Agriculture Publication, n°.1458, 74p.
- Kimati, L., Amorim, L., Bergamin, A. Filho., Camargo, L.E.A., Rezende, J.A.M. (1997) Manual de Fitopatologia. São Paulo: Agronômica Ceres. Vol 2.
- Kurosawa, R.N.F. (2015) *Fontes de resistência a doenças foliares, podridões de espiga e divergência genética entre genótipos de milho pipoca*. Dissertação (Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes, RJ, 110 p.
- Lerayer, A. *Guia do Milho: Tecnologia do campo à mesa*. 07/2006. (2006) CIB, p.1-16. Disponível em: <http://www.cib.org.br>. Acesso em 10 dez. 2015.
- Lourenção, A.L.F., Barros, R. (2007) Aplicação foliar de fungicidas químicos na cultura do milho safra 2007/2008. In: *Tecnologia e produção: soja e milho 2008/2009*. Maracajú: Fundação MS, p.79-89.
- Machado, J. C., Souza, J. C., Ramalho, M. A. P., Lima, J. L. (2009) Stability of combining ability effects in maize hybrids. *Scientia Agricola*, v. 66, n. 4, p. 494-498.

- Machado, P. F. *Efeito das condições de colheita e secagem sobre a capacidade de expansão de milho-pipoca*. (1997). Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 41 p.
- Matzinger, D.F., Sprague, G.F., Cockerham, C.C.(1959) Diallel cross of maize in experiments repeated over locations and years. *Agronomy Journal*, v.51, p.346-350.
- McDONALD, B. A.; LINDE, C. (2002) Pathogen population genetics, evolutionary potential, and durable resistance. *Annual Review of Phytopathology*, Palo Alto, v. 40, n.1, p. 349-379.
- Miranda Filho, J.B. Breeding methodologies for tropical maize. (1985) In: BRANDOLINI, A.; SALAMINI, F. (Ed.) Breeding strategies for maize production improvement in the tropics. Firenze: FAO; Instituto Agronomico per l'Oltremare, p.350.
- Miranda Filho, J.B., Gorgulho, E.P. (2001) Cruzamentos com testadores e dialelos. In Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas. Rondonópolis: Fundação MT, p.649-672.
- Miranda, G. V. (2002) Reação de cultivares de milho-pipoca à helmintosporiose. *Revista Ceres*, v. 49, n. 285, p. 513- 521.
- Moterle, L. M., Braccini, A. L., Scapim, C. A., Pinto, R. J. B., Gonçalves, L. S. A., Rodrigues, R., Amaral Júnior, A. T. (2012) Combining ability of popcorn lines for seed quality and agronomic traits. *Euphytica*, v. 185, n. 3, p. 337-347.
- Nihei, T.H., Ferreira, J.M. (2012) Análise dialélica de linhagens de milho com ênfase na resistência a doenças foliares. Brasília, DF, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.47 n. 3, p.369-377.
- Niks, R. E., Lindhout,W.H. (2004) Curso sobre Mejoramento para Resistencia a Enfermedades y Plagas. 3 ed. Wangeningen: Wangeningen University. 216 p.

- Oliveira, J. P., Chaves, L.C., Duarte, J.B., Brasil, E.M., Ferreira Júnior, L.T., Ribeiro, K.O. (2004) Teor de proteína no grão em população de milho de alta qualidade proteica e seus cruzamentos. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 34, n. 1, p. 45–51.
- Oliveira, V. de P. S. (1996) Avaliação do sistema de irrigação por sulco da fazenda do alto em Campos dos Goytacazes – RJ. Dissertação (Mestre Produção Vegetal) Universidade Estadual do Norte Fluminense –RJ, 94 p.
- Ogliari, J. B.; Guimaraes, M. A.; Geraldi, I. O.; Camargo, L. E. A. (2005) New resistance genes in the *Zea mays* - *Exserohilum turcicum* pathosystem. *Genetics and Molecular Biology*, Ribeirão Preto, v. 28, n.3, p. 435-439.
- Pajic, Z., Eric, U., Srdic, J., Mladenovic Drinic, S., Filipovic, M. (2008) Popping volume and grain yield in diallel set of popcorn inbred lines. *Genetika*, v. 40, n. 3, p. 249 -260.
- Paraginski, R.T. (2014) Efeito da secagem e incidência de defeitos na qualidade de grãos de milho, e do processamento na qualidade de grãos de milho-pipoca. Tese (Doutorado em Ciência e tecnologia de Alimento) Pelotas, Universidade Federal de Pelotas, 162 p.
- Parodas, R.S., Hayes, J.D. An investigation of genotype environment interactions for rate of ear emergence in spring barley. (1971) *Heredity*, v.26, p.157-175.
- Paterniani, E. (1974) Estudos recentes sobre heterose. São Paulo: Fundação Cargill, 36 p. (Boletim n. 1).
- Paterniani, E. Maize breeding in the tropics.(1990) *CRC Critical Reviews in Plant Science*, v.9, n.2, p.125-154.
- Paterniani, E., Campos, M.S. (1999) Melhoramento do milho. In: BOREN, A. Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: Editora UFV, p. 429–447.

- Paterniani, M.E.A.G.Z., Sawazaki, E., Dudienas, C., Duarte, A.P.; Gallo P.B (2000) Diallel crosses among maize lines with emphasis on resistance to foliar diseases. *Genetics and Molecular Biology*, v.23, n.2, p.381-385.
- Parteniani, M. E. A. G. Z.; Guimarães, P. de S.; Lüders, R. R.; Gallo, P. B.; Souza, A. P. de; Laborda, P. R. e Oliveira, K. M (2008) Capacidade combinatória, divergência genética entre linhagens de milho e correlação com heterose. *Bragantia*, Campinas. v. 67, n. 3, p. 639-648.
- Pereira, L.K. (2004) Avaliação de heterozigosidade entre ciclos de seleção recorrente em um composto de milho pipoca por meio de marcadores isoenzimáticos. Dissertação (Mestre em Agronomia). Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 46p.
- Pereira, M. G.; Amaral Júnior, A. T. (2001) Estimation of genetic components in popcorn based on nested design. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 71, n. 01, p. 3-10.
- Pinto, R.M.C., Garcia, A.A.F., Souza Jr., C.L. de. (2001) Alocação de linhagens de milho derivadas das populações BR-105 e BR-106 em grupos heteróticos. *Scientia Agricola*, v.58, n.3, p.541-548.
- Pinto, N.F.J. De A. (2004) Controle químico de doenças foliares em milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.3, n.1, p.134-138.
- Pinto, N.F.J. De A., Santos, M. A. Dos., Wruck, D.S.M.(2006) Principais Doenças na Cultura do Milho. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.27, n.233, p.82-94.
- Pinto, R.J.B., Kvitschal, M.V., Scapim, C.A., Fracaro, M., Bignotto, L.S., Souza Neto, I.L D.E. (2007). Análise dialélica parcial de linhagens de milho-pipoca. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.6, n.3, p. 325-337.

- Pixley, K.V., Bjarnason, M.S.(1993). Combining ability for yield and protein quality among modified-endosperm opaque-2 tropical maize inbreds. *Crop Science*, v.33, p.1229-1234.
- Ramalho, M.A.P., Santos, J.B., Zimmermann, M.J. O. (1993) *Genética Quantitativa em Plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro*. Goiânia - GO, 271p.
- Rangel, R.M., Amaral Júnior, A.T., Viana, A.P., Freitas Júnior, S.P., Pereira, M.G. (2007) Prediction of popcorn hybrid and composites means. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v.7, n.3, p.287-295.
- Rangel, R.M., Amaral Jr., A.T., Scapim, C.A., Freitas Jr., S.P., Pereira, M.G. (2008) Genetic parameters in parents and hybrids of circulant diallel in popcorn. *Genetics and Molecular Research*, v.7, n.4, p.1020-1030.
- Rangel, M. M, Amaral Júnior AT, Gonçalves LSA, Freitas Júnior SP and Candido LS (2011) Análise biométrica de ganhos por seleção em população de milho pipoca de quinto ciclo de seleção recorrente. *Revista Ciência Agronômica* 42: 473-481.
- Reis E. M, Casa, T., Bresolin A. R. (2004) *Manual de diagnose e controle de doenças do milho*. Passo Fundo, Aldeia Norte, 141 p.
- Rinaldi, D. A., Pípolo, V. C., Gerage, A. C., Ruas, C. F., Fonseca Júnior, N. S., Souza, A. de, Souza, S. G. H. DE, Garbuglio, D. (2007). Correlação entre heterose e divergência genética estimadas por cruzamentos dialélicos e marcadores moleculares RAPD em populações de milho-pipoca. *Bragantia*, Campinas, v.66, p.183-192.
- Rodrigues, F. (2007) *Análise dialélica de linhagens visando à produção de milho verde*. Dissertação (Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG. 51 p.

- Rojas, B.A., Sprague, G.F. A comparison of variance components in corn yield trials: III. General and specific combining ability and their interaction with locations and years.(1952) *Agronomy Journal*, v.44,n.9, p.462-466.
- Ronzelli Júnior, P.(1996). Melhoramento Genético de plantas. Curitiba: Pedro. Ronzelli Júnior. 219p.
- Santos, F.M.C. (2009). Capacidade de combinação de híbridos comerciais de milho visando á obtenção de híbrido F₂. Dissertação (Mestre em Agricultura Tropical e Subtropical),Campinas-SP, 80p .
- Santos, F. S. Júnior, A. T. A. Júnior, S. P. F., Rangel, R. M., Pereira, M. G. (2007) Predição de ganhos genéticos por índices de seleção na população de milho-pipoca UNB- 2U sob seleção recorrente. *Bragantia*, Campinas, vol.66, n.3, p. 389 – 396.
- Santos, J. S. (2014) Caracterização de isolados de *Setosphaeria turcica* e *Cochliobolus heterostrophus*. Monografia (Licenciatura em Biologia)- Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro- RJ, 75 p.
- Santos, R.R. (2009) Implantação da cultura do milho verde, em sucessão com feijão-caupi, irrigado por aspersão convencional no município de Formosa-GO. In: UPIS- Faculdade Integrada / Departamento Agronomia. Planaltina – DF, p 40-41.
- Sawazaki, E., Paterniani, M.E.A.G.Z., Castro, J.L., Gallo, P.B., Galvão, J.C.G., Saes, L.A. (2000) Potencial de linhagens locais de milho-pipoca para síntese de híbridos. *Bragantia*, Campinas, v.59, n.2, p.143-151.
- Sawazaki, E. (2001) A cultura do milho pipoca no Brasil. *O Agrônomo*, v.1, p.11-13.

- Sawazaki, E., Paterniani, M.E.A.G.Z., Galvão, J.C.C., Miranda, G.V. (2004) Evolução dos cultivares de milho no Brasil. In: Tecnologias de produção do milho. 20.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, v.1, p.13-53.
- Scapim, C.A., Pacheco, C.A.P., Tonet, A., Braccini, A.L., Pinto, R.J.B. (2002) Análise dialélica e heterose de populações de milho-pipoca. *Bragantia*, v.61, n.3, p.219-230.
- Scapim, C.A.; Pinto, R.J.B.; Amaral Júnior, A.T.; Mora, F.; Dandolini, T.S.; (2006) Combining ability of white grain popcorn populations. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 6: 136-143.
- Scapim, C. A.; Amaral Júnior, A. T.; Vieira, R. A.; Moterle, L. M.; Texeira, L. R.; Viganó, J.; Sandoval júnior, G. B (2010) Novos compostos de milho-pipoca para o Brasil. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 31, n. 2, p. 321-330.
- Schipanski, C.A. (2010) Tratamento de sementes de milho com fungicidas e indutor de resistência e pulverização foliar para o controle da ferrugem comum do milho (*Puccinia sorghi Schw.*) Dissertação (Mestre em agronomia-Fitopatologia) Ponta Grossa – PR, Universidade Estadual de Ponta Grossa, 73 p.
- Shull, G.H. (1908) The composition of maize. Report “American Breeders Association”, Washington, v.4, 1908, p. 296-301.
- Silva, V.Q.R. DA, Amaral Júnior, A.T. DO, Gonçalves, L.S.A., Freitas Júnior, S.P., Candido, L.S., Vittorazzi, C., Moterle, L.M., Vieira, R.A., Scapim, C.A. (2010) Combining ability of tropical and temperate inbred lines of popcorn. *Genetics and Molecular Research*, v.9, n.3, p.1742-1750.
- Souza Sobrinho, F. (2001) Divergência genética de híbridos simples e alternativas para a obtenção de híbridos duplos de milho. Tese (Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas) Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

- Teixeira, A. (2008) Rio Grande do Sul, notícias do Piratini. Dia de campo estimulará produção de milho pipoca em áreas irrigadas. Disponível em: <http://www.estado.rs.gov.br/direciona.php?keyY2FwYT0xJmludDlub3RpY2lhJm5vdGikPTY0MTY2Jm1lbnU9MTMmc3VibWVudT0mdmc9JnZhYz0=>>. Acesso em: 09/07/2015.
- Trindade, R.S. dos. (2010) Capacidade combinatória e herança da resistência ao crestamento bacteriano comum em *Phaseolus vulgaris* L. Tese (Doutor em Genética e melhoramento de plantas). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. 190p.
- Vacaro, E., Barbosa Neto, J.F., Pegoraro, D.G., Nuss, C.N., Conceição. L.D.H. (2002) Combining ability of twelve maize populations. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 1, p. 67–72.
- Vale, F. X. R. do; Jesus Junior, W. C. de; Liberato, J. R.; Souza, C. A. de. *Quantificação de doenças e do crescimento do hospedeiro*. In: EPIDEMIOLOGIA aplicada ao manejo de doenças de plantas. Belo Horizonte: Perffil, 2004. p. 91–121.
- Veiga, R. D., Ferreira, D. F., Ramalho, M. A. P. (2000) Eficiência dos dialelos circulantes na escolha dos genitores. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1395-1406.
- Vencovsky. R. (1987) Herança quantitativa. In: Paterniani E; Viégas GP [Ed.]. Melhoramento e produção do milho. 2.ed. Campinas: Fundação Cargill, p.137-214.
- Viana, J.M.S., Valente, M.S.F., Scapim, C.A., Resende, M.D.V. DE, Silva, F.F. (2011) Genetic evaluation of tropical popcorn inbred lines using BLUP. *Maydica*, v. 56, p. 273–281.

- Vieira, R.A., Scapim, C.A., Tessmann, D.J., Hata, F.T. (2011) Diallel analysis of yield, popping expansion, and southern rust resistance in popcorn lines. *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, n. 3, p. 774-780.
- Vieira, R.A., Mesquini, R.M. Silva. C.N., Hata. F.T., Tessmann.D.J., Scapim.C.A. (2013) A new diagrammatic scale for the assessment of northern corn leaf blight. *Crop Protection*. v. 56, p. 55-57.
- Vieira, R.A., Tessmann, D.J., Hata, F.T., Souto, E.R., Mesquini, R.M. (2009) Resistência de Híbridos de milho pipoca a *Exserohilum turcicum* Agente causal da Helmintosporiose do milho. *Scientia Agraria*, v.10, n.5, p. 391-395.
- Vivek, B., Odongo, O., Njuguna, J., Imanywoha, J., Bigirwa, G., Diallo, A., Pixley, K. (2010) Diallel analysis of grain yield and resistance to seven diseases of African maize (*Zea Mays* L.) inbred lines. *Euphytica*, v.172, p.329-340.
- Von pinho, R.G., Ramalho, M.A.P., Resende, I.C., Silva, H.P., Pozar, G. (2001) Reação de híbridos comerciais de milho às ferrugens polissora e tropical. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, n.3, p.439-445.
- Ziegler, K.E., Ashman, B. (1994) Popcorn. In:Hallauer, A. (ed. Specialty corns. Iowa: CRC Press,v. 7, p.189-223.
- Zinsly, J.R., Machado, J.A. (1978) Milho-pipoca. In: Fundação Cargil. Melhoramento e produção do milho no Brasil. Piracicaba, ESALQ, p.339-347.
- Zinsly, J.R., Machado, J.A. (1987) Milho-pipoca. In: Paterniani, E.; Viegas, G.P.eds. Melhoramento e produção do milho no Brasil. Campinas, Fundação Cargill, p. 413-421.