

HABILIDADE COMBINATÓRIA DE LINHAGENS ENDOGÂMICAS DE
MILHO-PIPOCA PARA ATRIBUTOS AGRONÔMICOS E
RESISTÊNCIA A FERRUGEM POLISSORA

KÁTIA FABIANE MEDEIROS SCHMITT

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
AGOSTO – 2017

HABILIDADE COMBINATÓRIA DE LINHAGENS ENDOGÂMICAS DE
MILHO-PIPOCA PARA ATRIBUTOS AGRONÔMICOS E
RESISTÊNCIA A FERRUGEM POLISSORA

KÁTIA FABIANE MEDEIROS SCHMITT

“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. Antônio Teixeira do Amaral Junior
Coorientador: Prof. Marcelo Vivas

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
AGOSTO – 2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCH / UENF

071/2017

S653 Schmitt, Kátia Fabiane Medeiros.

Habilidade combinatória de linhagens endogâmicas de milho-pipoca para atributos agronômicos e resistência a ferrugem polissora / kátia Fabiane Medeiros Schmitt – Campos dos Goytacazes, RJ, 2017.

55 f. : il.

Bibliografia: f. 32 – 41.

Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2017.

Área de Concentração: Tecnologia de Alimentos e Constituintes Químicos Vegetais.

Orientador: Antônio Teixeira do Amaral Junior.

Coorientador: Marcelo Vivas.

1. Milho-Pipoca - Linhagem. 2. Ferrugem Polissora. 3. *Zea mays* L. var. everta. 4. Dialelo. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

633.15

HABILIDADE COMBINATÓRIA DE LINHAGENS ENDOGÂMICAS DE
MILHO-PIPOCA PARA ATRIBUTOS AGRONÔMICOS E
RESISTÊNCIA A FERRUGEM POLISSORA

KÁTIA FABIANE MEDEIROS SCHMITT

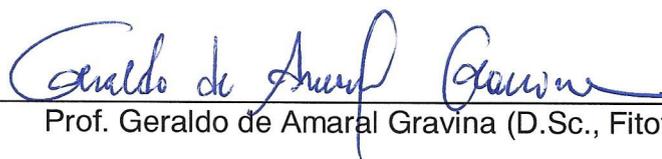
"Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas."

Aprovada em 23 de agosto de 2017.

Comissão Examinadora:



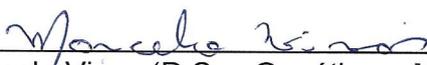
Dr. Roberto dos Santos Trindade (D.Sc., Genética e Melhoramento de Plantas)
EMBRAPA



Prof. Geraldo de Amaral Gravina (D.Sc., Fitotecnia) - UENF



Dr. Gustavo Hugo Ferreira de Oliveira (D.Sc., em Agronomia - Genética e
Melhoramento de Plantas - UENF



Prof. Marcelo Vivas (D.Sc., Genética e Melhoramento) - UENF
(Coorientador)



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

*A melhor parte de mim, minha pequena Helena,
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, criador de todas as coisas, minha força em todos os momentos difíceis, sustento no dia-a-dia;

À minha família, por acreditar e investir em mim. Agradeço, em especial, aos meus pais Gelson e Marlene, que são meus exemplos de vida pelo amor, confiança e apoio incondicional depositados em mim ao longo da minha vida. Aos meus irmãos, João Paulo e Mateus, pela cumplicidade e amizade de sempre, pelo incentivo e apoio constante;

Ao meu esposo Leandro, por todo carinho, paciência, apoio, força e incentivo desde o início dessa caminhada, por acreditar que a realização desse seria possível;

Ao meu orientador, professor Antônio Teixeira do Amaral Júnior, pela oportunidade oferecida, pela confiança em meu trabalho e por todos os ensinamentos;

Ao meu Coorientador, professor Marcelo Vivas, pela confiança, paciência, auxílio, troca de experiências e disponibilidade em todos os momentos;

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;

Aos professores do LMGV pelos ensinamentos, em especial, ao meu Conselheiro, professor Alexandre Pio Viana;

Ao Pós-Doutorando Dr. Gustavo Hugo, pela preocupação e auxílio durante a elaboração da dissertação;

Aos amigos que fiz ao longo da vida, em especial à Cristiane, Poliana, Samara, que, mesmo com a distância, sempre estiveram presentes, e aos amigos que Campos me trouxe, em especial, ao Valter, Samuel, Luana Burg, Gabriel Moreno, Paola e Luzimara;

Ao querido Daniel, competente secretário da Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pela inestimável e constante ajuda e paciência;

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, à Juliana Saltires e Gabrielle Mafra – meninas, sem vocês esse trabalho não seria possível –, aos demais amigos e companheiros de laboratório, Adriano, Amanda, Divino, Fabio, Guilherme, Ismael Schegoscheski, Ismael Schwantes, Janeo, Jhean, Railan, Samuel, Shahid, Valter e Yure, pela força, amizade e ajuda durante essa caminhada;

Aos técnicos de campo, Geraldo, Valdinei e Luzimara, por toda paciência, conselho, experiência de campo, dedicação e disponibilidade em ajudar. Aos bolsistas de campo, Jaqueline e Marcia, pela dedicação e por toda ajuda prestada na condução do experimento;

A todos que contribuíram direta ou indiretamente. Muito obrigada.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo Geral	3
2.2 Objetivos Específicos	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1 Origem, botânica e importância econômica	4
3.2 Produção de milho-pipoca no Brasil	6
3.3 Ferrugem polissora	7
3.4 Resistência genética	8
3.5 Análise dialéctica	9
4 MATERIAL E MÉTODOS	13
4.1 Obtenção dos híbridos	13
4.2 Ensaios para avaliação dos híbridos.....	14
4.3 Características avaliadas	15
4.3.1 Avaliações da ferrugem polissora.....	15
4.3.2 Avaliações das características agronômicas	16
4.4 Análises genéticas e estatísticas	17

4.4.1	Análise de Variância.....	17
4.4.2	Análise dialélica de Griffing	18
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
5.1.	Análise de variância.....	19
5.2.	Agrupamento de média por Scott-Knott (1974)	20
5.3.	Análise dialélica de Griffing.....	24
5.3.1.	Análise da capacidade combinatória e efeito recíproco.....	24
5.3.2.	Estimativas de capacidade geral de combinação	25
6.	CONCLUSÕES	31
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Escala diagramática para avaliação de incidência de moléstias com base na planta, proposta por Agrocerec (1996). 16
- Figura 2.** Escala diagramática para avaliação da severidade de ferrugem polissora com base na folha, proposta por Fantin (1997). 16
- Figura 3.** Estimativa da capacidade geral de combinação, avaliada em um dialelo completo com oito genitores. a) duas características de resistência a ferrugem polissora; b) duas características morfoagronômicas em milho-pipoca.26

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Linhagens de milho-pipoca utilizadas nos cruzamentos dialélicos com base nos resultados de Kurosawa et al. (2015) para ferrugem polissora. 13
- Tabela 2:** Análise de variância para duas características de resistência à ferrugem polissora e três variáveis morfoagronômicas, avaliadas em dialelo completo em linhagens de milho-pipoca. 19
- Tabela 3.** Médias de cinco características avaliadas em oito genitores e 56 híbridos, seguidas pelo agrupamento Scott Knott, ao nível de 5% de probabilidade.....21
- Tabela 4.** Análise de variância para a capacidade geral combinação (CGC), capacidade específica de combinação (CEC), efeito recíproco (ER) e média dos quadrados dos efeitos para cinco características avaliadas em dialelo completo de milho-pipoca.....24
- Tabela 5.** Estimativa de capacidade específica de combinação (CEC), avaliadas em um dialelo completo de oito genitores, com os recíprocos.....29

RESUMO

SCHMITT, Kátia, Fabiane Medeiros; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Agosto, 2017. Habilidade combinatória de linhagens endogâmicas de milho-pipoca para atributos agronômicos e resistência a ferrugem polissora. Orientador: Antônio Teixeira do Amaral Júnior. Coorientador: Marcelo Vivas. Conselheiro: Alexandre Pio Viana.

A ferrugem polissora é uma das ferrugens mais destrutivas da cultura do milho, tornando-se ainda mais agressiva na cultura do milho-pipoca. A seleção de material genético é considerada uma das formas mais eficientes de controle. Diante disso, o presente trabalho objetivou avaliar a capacidade combinatória de linhagens de milho-pipoca em cruzamentos dialélicos, no intuito de identificar genótipos resistentes a *Puccinia polysora*, bem como, averiguar os efeitos gênicos preponderantes na resistência da ferrugem polissora. Para tanto, utilizaram-se oito linhagens da Coleção de Germoplasma da UENF, as quais foram cruzadas para obtenção de 56 híbridos de milho-pipoca, que foram avaliados em delineamento em blocos casualizados com quatro repetições no município de Campos dos Goytacazes, RJ. Foram avaliadas: incidência na planta toda (INC), severidade na folha da espiga principal (SEV), produção de grãos (RG), capacidade de expansão (CE) e volume de pipoca (VP). Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias agrupadas pelo algoritmo Scott-Knot a 5% de probabilidade. A análise dialélica foi realizada pelo método de Griffing empregando-se o modelo I. Com as análises genético-estatísticas, constataram-se diferenças significativas entre os genótipos para todas as

características investigadas, indicando a existência de variabilidade entre os genótipos avaliados, situação favorável para obtenção de ganho genético com a seleção de segregantes superiores. O desdobramento dos tratamentos em CGC revelou efeito significativo para todas as características avaliadas. Para a CEC, somente a característica CE não apresentou significância, assumindo assim, que os efeitos de genes aditivos são importantes para a expressão dessa característica. Para as características INC, SEV, RG e VP, predominaram os efeitos gênicos não-aditivos. Foi observada significância de efeito recíproco (ER), para todas as características avaliadas. Com base na CGC, o genitor mais promissor foi a linhagem L61. As combinações híbridas que se sobressaíram foram L77xL76 L88xL61, L77xL70, P8xL61, L76xL88, P1xL61, L76xL70, P8xL55, P1xL70.

ABSTRACT

SCHMITT, Kátia, Fabiane Medeiros; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Agosto, 2017. Combinatorial ability of inbred lines of popcorn corn for agronomic attributes and resistance to polissora rust. Orientador: Antônio Teixeira do Amaral Júnior. Co-orientador: Marcelo Vivas. Conselheiro: Alexandre Pio Viana.

Polissora rust is one of the most destructive rusts in maize crops, becoming even more aggressive in popcorn. The selection of genetic material is considered one of the most efficient forms of control. Therefore, the present work aimed to evaluate the combinatorial capacity of popcorn maize lines in diallel crosses in order to identify genotypes resistant to *Puccinia polysora*, as well as to investigate the preponderant gene effects on polissora rust resistance. For this, eight lines of the Germplasm Collection of UENF were used, which were crossed to obtain 56 corn-popcorn hybrids, which were evaluated in a randomized complete block design with four replications in Campos dos Goytacazes, RJ. The following were evaluated: whole plant incidence (INC), main leaf severity (SEV), grain yield (RG), expansion capacity (CE) and popcorn volume (VP). Data were submitted to analysis of variance and the means grouped by the Scott-Knot algorithm at 5% probability. The diallel analysis was performed by the Griffing method using the model I. Genetic-statistical analysis revealed significant differences between genotypes for all traits investigated, indicating the existence of variability among the evaluated genotypes, a favorable situation to obtain genetic gain with the selection of superior segregators. The unfolding of CGC treatments revealed a

significant effect for all evaluated characteristics. For CEC, only the CE characteristic did not present significance, assuming that the effects of additive genes are important for the expression of this characteristic. For the characteristics INC, SEV, RG and VP, non-additive gene effects predominated. Significance of reciprocal effect was observed for all characteristics evaluated. Based on CGC, the most promising parent was the L61 lineage. The hybrid combinations that stood out were L77xL76 L88xL61, L77xL70, P8xL61, L76xL88, P1xL61, L76xL70, P8xL55, P1xL70.

1. INTRODUÇÃO

O consumo de milho-pipoca [*Zea mays* L. var. *everta* (Sturtev) L. H. Bailey] vem crescendo no Brasil desde os anos 2000 e a produção é altamente rentável, quando comparada ao milho comum (Moterle et al., 2006; Von Pinho et al., 2010; Amaral Junior et al., 2016a). Em 2012, o Conselho Monetário Nacional (CMN), estipulou o preço mínimo para o milho-pipoca de R\$ 0,53 kg⁻¹, enquanto para o milho comum a média ficou em torno de R\$ 0,27 kg⁻¹ (MAPA, 2012), revelando assim, o milho-pipoca como excelente opção de renda aos produtores rurais.

Os dados oficiais ainda são incipientes sobre o cultivo total de pipoca no Brasil (Amaral Junior et al., 2016a; Carvalho et al., 2016). Porém, segundo Carvalho et al. (2016), em 2016 a estimativa da área plantada totalizou 21.835 hectares nos municípios mato-grossenses, com a produção projetada em 90.180 toneladas. A produção da cultura ocorre, principalmente, por meio do sistema integrado entre as empresas empacotadoras e os produtores. De acordo com o Grupo de Coordenação de Estatísticas Agropecuárias (GCEA/IBGE/MT, 2013), o estado do Mato Grosso é um dos maiores produtores de milho comum e o maior produtor nacional de milho-pipoca, onde as grandes empresas empacotadoras disponibilizam as sementes e garantem a compra da safra (Carvalho et al., 2016; Carvalho et al., 2016).

Porém, quando comparada ao milho comum, a cultura ainda apresenta baixa produtividade e, dentre as razões da produção do grão ser minorada, Santos (2016) destaca o 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 do milho-pipoca, destaca-se a *Puccinia polysora* Underw. Conhecida por ferrugem, é tida como uma das mais agressivas das doenças que atacam a cultura, causando perdas de até 65% em lavouras com histórico de incidência da doença (Costa et al., 2012).

Práticas de manejo como a irrigação proporcionam o cultivo durante todo o ano, permitindo que existam plantas em fases distintas de desenvolvimento em áreas próximas, o que contribui para maior sobrevivência de fitopatógenos (Silva et al., 2002).

A UENF é mantenedora de uma Coleção Ativa de Germoplasma de milho-pipoca, que reúne cerca de 40 acessos de origem tropical e temperada. Desde 1998, por meio de programas de melhoramento genético de milho-pipoca, vem-se buscando desenvolver cultivares adaptadas às regiões Norte e Noroeste do Estado do Rio de Janeiro, que culminou com o lançamento da cultivar UENF 14 (Amaral Junior et al., 2013). A resistência do milho-pipoca ao complexo de doenças foliares também vem sendo investigada. Nesse sentido, citam-se: Kurosawa (2015), Mafra (2016), Santos (2016) e Schwantes (2016), como trabalhos visando à resistência a doenças foliares.

A resistência genética é a melhor estratégia para o controle de doenças de plantas cultivadas, sendo que o melhoramento genético tem contribuído de maneira expressiva e eficiente no desenvolvimento de cultivares resistentes (Niks e Lindhout, 2004). Uma das formas de identificação de fontes de variabilidade genética é por meio de cruzamentos dialélicos (Carson, 2001; Pegoraro et al., 2002; Silva et al., 2003; Silva e Moro, 2004). As estimativas obtidas por meio de esquemas de cruzamentos dialélicos são importantes na escolha de genitores e no entendimento dos efeitos genéticos envolvidos na determinação dos caracteres (Cruz et al., 2004).

Considerando as perdas econômicas que ocorrem com a cultura do milho-pipoca, em decorrência ao ataque do patógeno causador da ferrugem polissora, bem como a variabilidade apontada por Kurosawa et al. (2016), a seleção e indicação de genótipos promissores é de grande relevância para os programas de melhoramento.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Obter e avaliar 56 híbridos simples (F₁'s e recíprocos) de milho-pipoca e seus genitores, visando à resistência para ferrugem polissora.

2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Obter os híbridos dialélicos;
- ✓ Estimar a capacidade combinatória dos genitores e híbridos em relação à incidência e severidade de *Puccinia polysora*, rendimento de grãos, capacidade de expansão e volume de pipoca, a partir da análise dialélica;
 - ✓ Identificar a predominância de efeitos gênicos aditivos e não-aditivos na expressão dos caracteres avaliados;
 - ✓ Avaliar combinações híbridas superiores resistentes a *Puccinia polysora*, que atendam as qualidades exigidas no mercado quanto à produção de grãos e à 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 Origem, botânica e importância econômica

Ao longo do tempo, o homem promoveu uma crescente domesticação do milho por meio da seleção visual no campo, considerando importantes características que deram origem às variedades hoje conhecidas.

O milho caracteriza-se por ser uma planta herbácea anual, pertencente à família Poaceae, subfamília Panicoideae, tribo Maydeae, gênero *Zea* e espécie *Zea mays* L., com ciclo completo entre quatro a cinco meses (Paterniani e Campos, 2005). As folhas são alternadas e presas à bainha superposta que envolve o colmo e a inflorescência. O sistema radicular é fasciculado (Goodman e Smith, 1987). É uma planta monoica, apresentando flores unissexuadas no mesmo indivíduo. As flores masculinas são dispostas em panículas apicais e as flores femininas em espigas laterais, característica denominada diclinia. A fecundação cruzada também é favorecida pela protandria, que é caracterizada pelo amadurecimento das anteras antes dos estigmas (Goodman e Smith, 1987). O milho é, portanto, uma planta alógama com praticamente 100% de reprodução cruzada (Paterniani e Campos, 2005). É uma espécie alotetraploide, que se comporta como diploide, com $2n=2x=20$ cromossomos e com cerca de 32 mil genes, sendo quase 85% de seu genoma composto por elementos transponíveis (Schnable et al., 2009).

Diversas hipóteses são sugeridas para a genealogia do milho-pipoca, dentre elas, a mais aceita refere-se ao teosinto como ancestral silvestre (Galinat, 1977). As hipóteses prolatadas sobre a origem do milho-pipoca carecem de informações e explicações para serem conclusivas. Segundo Zinsly 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* (Goodman, 1980; Zinsly e Machado, 1987).

A principal característica que difere o milho-pipoca dos demais milhos é o tipo de grão, que são duros e pequenos e, quando aquecidos a aproximadamente 180°C, são capazes de estourar, formando a pipoca (Silva et al., 1993; Freitas Júnior et al., 2009; Scapim et al., 2010). Os grãos de maior valor comercial são os redondos, tipo pérola, e com endosperma amarelo (Ziegler e Ashman, 1994), porém, o formato pode variar entre redondo, chato ou pontiagudo e a coloração entre branca, amarela, creme, vermelha e roxa (Zinsly e Machado, 1987).

As cultivares de milho-pipoca possuem menor rusticidade em relação ao milho comum, além de possuírem menor altura, colmo mais fino, sendo por essa razão, a quebra de colmos mais comum do que o acamamento. Também possuem menor número de folhas, são quase sempre mais prolíficas, o pendão normalmente é maior, produzindo assim mais pólen, além de possuir a maturação e secagem dos grãos mais precoces quando comparados ao milho comum (Cruz et al., 2004).

O milho é o segundo cereal em importância no mundo, atrás somente do trigo. É uma cultura bem diversificada na utilização pela sociedade moderna e um dos produtos agrícolas de ampla distribuição mundial, tanto na produção, quanto no consumo (Buchweitz, 2010).

Sua importância econômica é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, seja na forma de grãos secos, *commodities*, ou por meio da produção dos milhos “especiais”. A produção de milhos do tipo "especiais" envolve a produção de milho verde comum, milho verde doce, milho destinado à produção de minimilho, milho para alto teor de óleo, milho de alta qualidade proteica, milho para canjica e milho-pipoca, que possuem nichos de mercado próprios com grande valor agregado (Pereira Filho e Cruz, 2009).

3.2 Produção de milho-pipoca no Brasil

A pipoca é um alimento bastante apreciado e consumido pelo mercado brasileiro, e com isso seu cultivo tem sido economicamente importante para os produtores (Moterle et al., 2012). A produção da cultura ocorre, principalmente, por meio do sistema integrado entre as empresas empacotadoras e os produtores.

Apesar do aumento no número de cultivares disponíveis no país, atualmente, a área comercial de plantio de milho-pipoca é insuficiente para atender o mercado nacional (Vittorazzi et al., 2013), sem mencionar que as empresas empacotadoras deixam de trabalhar com o milho-pipoca produzido no Brasil, devido à pouca oferta decorrente da falta de sementes nacionais adaptadas às diferentes condições edafoclimáticas do país (Cabral et al., 2015).

Com a demanda crescente no consumo de milho-pipoca, houve também a necessidade do aumento da produção de grãos. Esse fato levou os produtores a explorarem novas áreas agrícolas para o semeio da cultura, além da busca por diferentes épocas de cultivo visando atender a demanda. Os sistemas de produção impostos à cultura no Brasil, tais como cultivos sucessivos, monocultura e irrigação, sem critérios técnicos e sistema de semeadura direta na ausência de rotação de culturas, têm ocasionado maior frequência na disseminação e no ataque de patógeno (Dourado Neto et al., 2000), resultando em maior severidade de doenças e permitindo a ocorrência de outras doenças consideradas secundárias para a cultura.

O ataque de patógenos causadores de diversas doenças foliares e podridões de espigas são apontados como causa para baixa produção brasileira, sendo que os ataques variam de ano para ano e de região para região, em função das condições climáticas e do nível de suscetibilidade das cultivares (Santos, 2016). As doenças foliares, de modo geral, têm provocado graves agravos econômicos aos produtores, causando reduções na produtividade dos grãos (Casa e Reis, 2003), especialmente no caso do milho-pipoca, por ser mais suscetível às doenças foliares do que o milho comum (Arnhold, 2008).

Com o ataque dos patógenos causadores de doenças, a área de absorção de luz acaba reduzida, comprometendo a eficiência do aparato fotossintético das plantas, com conseqüente redução no conteúdo de fotoassimilados e, por

consequente, não atendendo a demanda energética das plantas; por fim, afetando a formação e desenvolvimento dos grãos (Brito, 2010; Schipanski, 2011).

3.3 Ferrugem polissora

A ferrugem polissora – cujo agente etiológico é o fungo *Puccinia polysora* – é caracterizada como uma das doenças mais destrutivas da cultura do milho, ocorrendo em importantes áreas de produção brasileira (Dudienas et al., 2013). É favorecida por elevadas taxas de temperaturas e umidade (Casela e Ferreira, 2002; Vieira, 2010; Costa et al., 2012). Fatores, como o uso de cultivares suscetíveis e o monocultivo, também têm colaborado para o aumento na ocorrência dessa doença em lavouras brasileiras (Pinho et al., 1999a; Costa et al., 2012).

P. polysora foi observada pela primeira vez na África em 1949, causando epidemia (Pinho et al., 1999a). Pinto (2006) e Vieira (2010) relataram que o aumento da frequência e da severidade de algumas doenças fúngicas foliares tem causado redução significativa na produção de milho e na qualidade dos grãos desde os anos 90. Nas regiões Centro-Oeste e Sudeste, esta ferrugem ocorre durante todo o ano agrícola, constituindo-se um problema importante em semeaduras a partir da segunda quinzena de novembro (Pereira et al., 2005).

O principal agente dispersor é o vento, responsável pela disseminação dos esporos do fungo a distâncias intercontinentais; porém, a água e insetos também podem desempenhar papel importante na dispersão (Amorim et al., 2011).

Os sintomas são pústulas pequenas, circulares e elípticas. Os uredósporos e as pústulas têm coloração que variam de amarelo a dourado, e que nas fases mais avançadas, tornam-se marrons escuros, devido à formação dos teliósporos. É comum a ocorrência de pústulas na face superior do limbo e na bainha foliar, nas brácteas das espigas e, em condições de alta severidade, no pendão. Os uredósporos são amarelo-dourados, com forma elipsoidal e ovoide. Os teliósporos são de coloração marrom-castanho, elipsoides ou oblongos, com as duas extremidades arredondadas (Kimati et al., 2005).

O fungo causador de ferrugem se reproduz abundantemente; mesmo a partir de uma quantidade pequena de inóculo, em condições ideais, podem dar origem a epidemias devastadoras. O inverso também ocorre, ou seja, caso as

condições ambientais sejam desfavoráveis, ainda que em elevada quantidade, a presença da *Puccinia polissora* não é suficiente para garantir progresso epidêmico (Godoy et al., 2000). Uma estratégia apontada como mais eficiente e econômica no manejo da cultura do milho é a utilização de variedades resistentes aos patógenos (Colombo et al., 2014).

A resistência genética é o método melhor empregado para o controle de doenças de plantas cultivadas e tem contribuído de maneira expressiva e eficiente no desenvolvimento de cultivares resistentes (Niks e Lindhout, 2004).

3.4 Resistência genética

As interações desenvolvidas pelas plantas em relação aos patógenos podem gerar diversos efeitos, tais como a resistência, tolerância ou suscetibilidade. Segundo Strange (2006), a resistência é o retardo da infecção e crescimento do patógeno nos tecidos do hospedeiro. A tolerância é a capacidade que a planta apresenta em suportar a doença sem perdas severas em produtividade ou qualidade (Caldwell et al., 1958). Trudgill (1991) define suscetibilidade como a soma dos atributos que tornam a planta um hospedeiro adequado ao patógeno.

Existem algumas maneiras de classificar a resistência genética. A classificação com base no número de genes envolvidos considera dois tipos de resistências: monogênica e poligênica. A resistência monogênica ou qualitativa, acontece quando a presença de um único gene é suficiente para conferir resistência, inexistindo reações intermediárias na ausência de outras fontes de variação que não a genética, sendo representada pela distribuição fenotípica descontínua. A resistência poligênica ou quantitativa é caracterizada pela presença de vários genes controlando o caráter, proporcionando uma distribuição contínua de níveis de resistência (Camargo et al., 1995). Van der Plank, em 1963, definiu ainda que: "quando a resistência é uniforme contra todas as raças do patógeno é chamada de horizontal. Quando uma variedade é resistente a algumas raças de um agente patogênico é chamada de resistência vertical".

Diferentes estudos mostram a existência de grande variabilidade genética quanto à resistência à ferrugem polissora (Viveket al., 2010; Vieira et al., 2011; Nihei e Ferreira, 2012). De acordo com Casela e Ferreira (2002), no Brasil foram

observados 17 padrões de virulência de ferrugem polissora, entre 60 isolados testados, coletados em diferentes áreas de ocorrência da doença. Entre esses, três foram mais frequentes, tendo sido observados em todos os locais amostrados, indicando uma possível ausência de diferenciação geográfica entre populações do fungo prevalentes no país. A identificação desses diferentes padrões de virulência de ferrugem polissora indica a presença de variabilidade na população deste patógeno no Brasil. Neste caso, a existência de grande variabilidade do patógeno implica em dificuldades na obtenção de cultivares resistentes, o que ocasiona maiores prejuízos da doença na cultura.

Pinho et al. (1999b), em trabalho sobre o controle genético da resistência do milho às ferrugens polissora e tropical, afirmaram que a obtenção de híbridos e linhagens resistentes à ferrugem polissora é mais fácil que para ferrugem tropical, devido ao número de genes envolvidos no controle da resistência, associados às altas estimativas de herdabilidade no sentido restrito. Dessa forma, verifica-se a importância de se estudar a resistência à ferrugem em genótipos de milho-pipoca tanto *per se*, quanto em combinações híbridas. E, para tal feito, o conhecimento sobre a herança dos caracteres envolvidos é de suma importância para definir os métodos de seleção mais eficientes em programas de melhoramento (Lima et al., 1996; Silva et al., 2003).

Os conhecimentos a respeito de tais informações são obtidos por meio de estudos biométricos e de análises de experimentos com repetições e delineamentos genéticos específicos. Usando cruzamentos controlados, é possível estimar a herdabilidade, o número de locos relevantes associados à expressão do caráter, ao grau de dominância, à aditividade, à heterose e à magnitude das interações gene-gene e gene-ambiente (Tanksley, 1993). Esses estudos focam as distribuições fenotípicas dentro das populações e suas correlações com os genótipos dos indivíduos relacionados. Os resultados de tais estudos fornecem informações importantes a respeito da base genética dos caracteres quantitativos e do progresso com a seleção em programas de melhoramento (Lee, 1995; Cruz et al., 2012).

3.5 Análise dialélica

Os cruzamentos dialélicos são amplamente utilizados, sendo empregados para estimar a capacidade geral de combinação (CGC) e a capacidade específica de combinação (CEC), além de permitir estimar de maneira simples os parâmetros genéticos úteis na seleção de genitores para hibridação; assim como, obter informações acerca de combinações promissoras (Cruz et al., 2012), sendo, também, um método destinado a avaliar a divergência genética das linhagens (Costa Pinto et al., 2001).

O termo capacidade geral de combinação (CGC) é utilizado para designar o comportamento médio de um genitor em uma série de combinações híbridas; já, a expressão capacidade específica de combinação (CEC) é utilizada para discriminar certas combinações híbridas que são relativamente superiores ou inferiores diante do que seria esperado com base na CGC (Cruz e Vencovsky, 1989).

As metodologias de análises dialélicas se classificam como balanceados ou desbalanceados, completos, parciais, circulantes, etc. Dentre estes, os mais aplicados são os dialelos balanceados, propostos por Hayman (1954), Griffing (1956) e Gardner e Eberhart (1966).

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 feitos 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, representando as combinações mencionadas, são utilizadas para formar uma tabela dialélica $n \times n$. As n^2 combinações podem ser divididas em três grupos: os n genitores; um grupo de $1/2 n(n-1)$ híbridos; e o grupo de $1/2 n(n-1)$ híbridos recíprocos.

A partir destes três grupos, Griffing (1956) idealizou quatro possíveis métodos de análise, que se diferenciam pelo fato de incluir os genitores ou recíprocos ou ambos: Método 1 - são incluídos os pais, os híbridos F_1 e os híbridos recíprocos, totalizando n^2 combinações; Método 2 - são incluídos somente os pais e os híbridos F_1 , totalizando $1/2 n(n+1)$ combinações; Método 3 - são incluídos somente os híbridos F_1 e os recíprocos, totalizando $n(n-1)$ combinações; Método 4 - que inclui somente os híbridos F_1 , com um total de $1/2 n(n-1)$. Cada um desses métodos pode ser analisado considerando um modelo

fixo ou aleatório, dependendo da natureza amostral dos genitores (Cruz e Regazzi, 2014).

Segundo Cruz et al. (2014), dentre as metodologias de análise dialélica, a proposta por Griffing (1956) permite obter as estimativas da capacidade geral de combinação, além de proporcionar informações sobre a concentração de genes predominantemente aditivos em seus efeitos e são de grande utilidade na indicação de genitores a serem utilizados em programas de melhoramento intrapopulacional.

Em milho-pipoca, alguns trabalhos foram desenvolvidos com o método de Griffing (1956), envolvendo caracteres agrônômicos, citando-se: Viana et al. (2011), Moterle et al. (2012) e Cabral et al. (2015). Entretanto, quando se refere a trabalhos relacionados à resistência à ferrugem polissora, utilizando o método de Griffing (1956) em milho-pipoca, as informações ainda são inexistentes. Na cultura, têm sido relatados alguns trabalhos de análise dialélica para ferrugem polissora, utilizando a metodologia de Kempthorne e Curnow (1961). Vieira et al. (2011) avaliaram dez linhagens de milho-pipoca (grupo de Linhagens IAC 112 x grupo de Linhagens Zaeli), em esquema de dialelo circulante e concluíram que para resistência à ferrugem polissora e capacidade de expansão, os genes aditivos foram predominantes, enquanto os efeitos não-aditivos predominaram para a expressão da produção de grãos e, portanto, a seleção recorrente é a estratégia mais recomendável, sendo possível a indicação de híbridos promissores com relação à resistência à ferrugem polissora e elevado rendimento de grãos.

Kurosawa (2015) buscou fontes de resistência a doenças foliares, podridões de espiga e divergência genética entre 37 genótipos de milho-pipoca do Banco de Germoplasma da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Considerando as reações para *helminthosporiose maidis*, *helminthosporiose comum* e ferrugem polissora, bem como, as avaliações de podridões de espiga com ênfase na resistência à podridão-rosada-da-espiga, além de rendimento de grãos, prolificidade, peso de espigas, peso de 100 grãos, incidência de grãos ardidos e capacidade de expansão, verifica-se que 73% dos acessos investigados apresentaram resultados satisfatórios em pelo menos uma das características supracitadas.

Mafra (2016) avaliou, em Campos dos Goytacazes e Itaocara, respectivamente, localidades das regiões Norte e Noroeste Fluminense, 40 combinações híbridas oriundas do cruzamento entre 16 linhagens de milho-pipoca, em esquema de dialelo circulante e selecionou híbridos de milho-pipoca superiores para as principais características de importância econômica da cultura – rendimento de grãos (RG) e capacidade de expansão (CE) – além da resistência à ferrugem polissora. Os resultados revelaram a predominância dos efeitos aditivos para capacidade de expansão e resistência à ferrugem polissora e não-aditivos para rendimento de grãos. Por terem predominância de efeitos gênicos distintos, concluiu que não foi possível selecionar híbridos que apresentassem valores adequados para RG, CE e resistência à ferrugem polissora, concomitantemente.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Obtenção dos híbridos

Para a obtenção dos híbridos, foram feitos cruzamentos segundo o esquema dialélico completo proposto por Griffing (1956) entre oito linhagens de milho-pipoca (Tabela 1), previamente identificadas como de interesse para a consecução desta pesquisa em trabalho desenvolvido por Kurosawa et al. (2016).

As linhagens, pertencentes ao Programa de Melhoramento do Milho-Pipoca da UENF estavam na sétima geração de autofecundação (S_7) e, dos cruzamentos aos pares, houve a formação de 56 combinações híbridas.

Tabela 1. Linhagens de milho-pipoca utilizadas nos cruzamentos dialélicos com base nos resultados de Kurosawa et al. (2016) para ferrugem polissora.

Genitor	Genealogia	Adaptação climática	Reação à ferrugem
L88	Viçosa (Variedade)	Temperado/ Tropical	Intermediária
L77	Viçosa (Variedade)	Temperado/ Tropical	Susceptível
L55	Beija-flor (Variedade)	Temperado/ Tropical	Susceptível
L70	BRS Angela (Variedade)	Temperado/ Tropical	Intermediária
L61	BRS Angela (Variedade)	Tropical	Intermediária
P1	Zélia (Híbrido Triplo)	Temperado/ Tropical	Resistente
L76	Beija-flor (Variedade)	Temperado/ Tropical	Resistente
P8	IAC 112 (Híbrido Simples)	Temperado/ Tropical	Susceptível

Os cruzamentos foram realizados na área experimental do 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 linhagens utilizadas foi cultivada em dez fileiras de 5,00 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 sementes 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 aplicados 80 g 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, 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. Todos os tratamentos culturais foram realizados de acordo com Sawazaki (2001), sendo utilizada irrigação por aspersão quando necessário.

No florescimento das linhagens, as polinizações foram feitas manualmente entre cada par de linhagens de forma a obter 28 combinações híbridas e 28 recíprocos. Para a condução das polinizações, foi realizada a cobertura da espiga com saco plástico antes que o estigma estivesse evidente, a fim de evitar a contaminação.

Posteriormente, por ocasião do florescimento feminino e observado disponibilidade de pólen, os pendões maduros foram cobertos com saco de papel "Kraft". O cruzamento foi realizado no dia seguinte ao encobrimento do pendão. Utilizou-se o saco de papel para encobrimento de espiga após esta ser polinizada, com o intuito de prevenir contaminação por pólen de outras plantas (Tabela 2).

4.2 Ensaios para avaliação dos híbridos

Foram avaliados 64 tratamentos, constituído por 56 híbridos simples (F1's e Recíprocos) e oito genitores. O experimento foi realizado na área experimental do Colégio Estadual Agrícola Antônio Sarlo, em Campos dos Goytacazes, entre os meses de outubro de 2014 a março de 2015. O ensaio foi implantado em blocos casualizados, com quatro repetições. 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, e consistiram-se de uma linha de semeadura de 5,00 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 sementes por cova; e, após 30 dias, realizado o desbaste, deixando uma planta por cova.

Realizaram-se adubações de cobertura a 30 e 45 dias após emergência, com a formulação N-P-K 20-0-2, a 300 kg.ha⁻¹ e a 200 kg.ha⁻¹ de ureia, respectivamente. 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 da ferrugem polissora

As avaliações ocorreram no período de florescimento, no estágio de grão pastoso. Avaliou-se a ocorrência da doença uma vez por semana durante três semanas. Das 25 plantas que constituíram 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 cinco plantas por parcela.

- i. A incidência na planta de ferrugem polissora (INC) foi avaliada com o auxílio da escala de notas da Agrocerec (1996) (Figura 1), sendo avaliada a proporção de folhas lesionadas na planta inteira, considerando todas as folhas.
- ii. A severidade de ferrugem polissora (SEV) foi estimada com o auxílio da escala diagramática (Figura 2) proposta por Fantin (1997). De acordo com a escala, a avaliação foi realizada na porção mediana da face adaxial da folha da primeira espiga superior da planta.

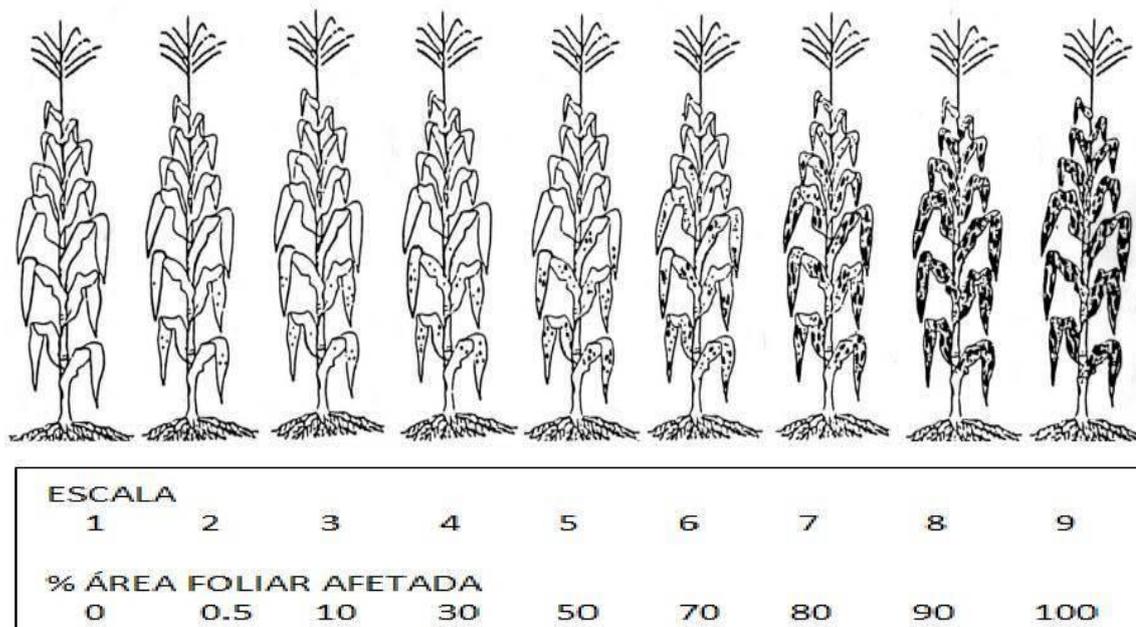


Figura 1. Escala diagramática para avaliação de incidência de moléstias com base na planta, proposta por Agroceres (1996).

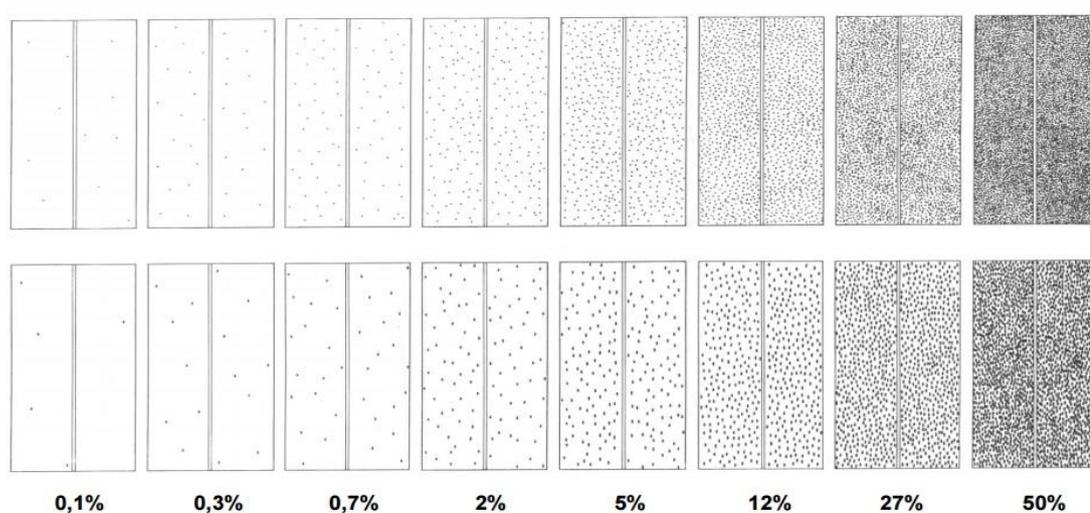


Figura 2. Escala diagramática para avaliação da severidade de ferrugem polissora com base na folha, proposta por Fantin (1997).

4.3.2 Avaliações das características agronômicas

As características agronômicas avaliadas foram:

- i. Rendimento de grãos (RG), determinado por meio da pesagem dos grãos da parcela após a eliminação do sabugo em relação à área extrapolada para hectare, sendo expressa em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$;
- ii. Capacidade de expansão dos grãos (CE) $\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}$, definida pelo quociente entre o volume de pipoca pela massa de grãos da amostra. Para tanto, a amostra foi composta por 30 g de grãos e, então, levada ao micro-ondas em sacola especial para pipocamento, na potência de 1.000 W, por dois minutos e vinte segundos. O volume da pipoca foi determinado em proveta de 2.000 mL.
- iii. Volume de pipoca expandida por hectare (VP), é uma proposta recente do Programa de milho-pipoca da UENF, cuja avaliação foi feita obtida pela multiplicação entre a produtividade média da parcela e a capacidade de expansão, gerando o volume médio de pipoca expandida por hectare de plantio, expresso em $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$.

4.4 Análises genéticas e estatísticas

4.4.1 Análise de Variância

A análise de variância foi realizada 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 significância, quando constatado efeito significativo da fonte de variação genótipo. As menores médias para as características INC e SEV foram consideradas como melhores, uma vez que se busca a redução destes caracteres.

A acurácia seletiva foi calculada utilizando o método de Resende e Duarte (2007): $AS = \sqrt{1 - 1 \div FC}$

4.4.2 Análise dialélica de Griffing

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 I, em que se considera como fixo o efeito dos genótipos. O modelo estatístico considerado para a análise é dado a seguir:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + r_{ij} + \varepsilon_{ij}, \text{ em que:}$$

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 ;

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

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

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Análise de variância

Constataram-se diferenças significativas entre os genótipos ($P < 0,01$) para todas as características avaliadas, indicando a existência de variabilidade entre os materiais utilizados e situação favorável para obtenção de ganho genético com a seleção de genótipos superiores (tabela 2).

Tabela 2: Análise de variância para duas características de resistência à ferrugem polissora e três variáveis morfoagronômicas, avaliadas em dialelo completo em linhagens de milho-pipoca.

FV	GL	Quadrados Médios				
		INC	SEV	RG	CE	VP
Blocos	3	4220,38	2042,88	7849813,53	0,50	6169,33
Genótipos	63	111,14**	150,12**	3662308,02**	46,67**	3211,65**
Resíduo	189	59,69	44,76	710220,31	6,55	627,13
Média	-	28,18	13,82	3362,60	27,97	92,66
AS	-	0,6804	0,8377	0,8978	0,9271	0,8971
Parâmetros genéticos						
σ^2g	-	12,86	26,33	738021,92	10,02	646,13
σ^2f	-	27,78	37,53	915577,00	11,66	802,91
h^2 (%)	-	46,30	70,18	80,60	85,94	80,47

INC = incidência de *P. polysora*, SEV = severidade de *P. polysora*, RG = rendimentos de grãos, CE = capacidade de expansão, VP = volume de pipoca, σ^2g : variância genotípica, σ^2f : variância fenotípica, h^2 : herdabilidade no sentido amplo ao nível de média, AS = acurácia seletiva, ** significativo em nível de 1% de probabilidade.

A acurácia seletiva pode variar de 0,10 (baixa) a 0,99 (muito alta) e tem a propriedade de informar a eficácia da inferência acerca do valor genotípico da cultivar e o correto ordenamento das cultivares para fins de seleção (Resende 2002). Sendo assim, um parâmetro adequado para avaliar a qualidade dos experimentos, o qual contempla, simultaneamente, o coeficiente de variação experimental, o número de repetições e o coeficiente de variação genotípica (Resende 2002).

Os conhecimentos das estimativas dos parâmetros genéticos permitem ao melhorista orientar a melhor estratégia de seleção no melhoramento de plantas (Cruz et al., 2012). Para os caracteres agronômicos observou-se uma σ^2g consistente seguida de uma alta h^2 (acima de 80%). Freitas Júnior (2006) observou para CE valores de 17,59; 15,59 e 88,65 para σ^2f , σ^2g e h^2 respectivamente, enquanto que para RG observou 65191,92; 54847,49 e 84,13 respectivamente σ^2f , σ^2g e h^2 .

Os caracteres de doença apresentaram valores de σ^2g e h^2 de 12,86 e 46,30% para incidência e de 26,33 e 70,18% para a severidade, respectivamente. Sanches et al. (2011), analisando a resistência à ferrugem tropical em linhagens de milho-pipoca, consideraram a herdabilidade de 41% como média, enquanto Pedrosa et al. (2003), trabalhando com seleção de progênies de milho resistentes à ferrugem comum, consideraram estimativas altas a partir de 63%.

A h^2 é um dos parâmetros genéticos de maior utilidade para os melhoristas, isto porque permite antever a possibilidade de sucesso com a seleção, uma vez que reflete a proporção da variância fenotípica que pode ser herdada (Ramalho et al., 1990).

5.2. Agrupamento de média por Scott-Knott (1974)

As médias para as duas características relacionadas à resistência *P. polysora* e três características morfoagronômicas avaliadas em Campos dos Goytacazes estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Médias de cinco características avaliadas em oito genitores e 56 híbridos, seguidas pelo agrupamento Scott-Knott (1974), ao nível de 5% de probabilidade.

Genótipos	INC		SEV		RG		CE		VP	
L88xL76	29,22	b	11,1	a	4343,91	a	24,63	d	107,13	b
P8xL76	25,43	a	12,1	a	3504,58	a	33,08	a	115,83	a
L61xL76	19,25	a	5,02	a	3613,17	a	26,71	c	96,55	b
L70xL76	19,6	a	5,49	a	3470,24	a	30,46	b	105,63	b
L77xL76	26,72	a	9,56	a	4210,48	a	30,29	b	126,35	a
L55xL76	30,87	b	13,6	a	3744,33	a	30,17	b	112,90	a
P1xL76	24,15	a	7,34	a	4561,11	a	29,38	b	133,99	a
L76xL88	31,38	b	13,7	a	3645,64	a	25,00	d	90,19	b
P8xL88	33,38	b	25,1	b	4313,39	a	28,17	c	121,73	a
L61xL88	29,11	b	14,1	a	4118,20	a	21,88	e	89,86	b
L70xL88	23,83	a	15,1	a	4311,84	a	28,46	c	120,52	a
L77xL88	35,01	b	15,1	a	4648,00	a	26,71	c	123,87	a
L55xL88	39,18	b	20,3	b	3742,28	a	24,71	d	91,94	b
P1xL88	30,39	b	15,7	a	4254,48	a	24,58	d	105,97	b
L76xP8	34,35	b	17,6	b	4018,88	a	34,46	a	138,47	a
L88xP8	37,53	b	27,9	b	3879,00	a	29,58	b	114,52	a
L61xP8	22,59	a	9,35	a	3909,59	a	30,73	b	119,82	a
L70xP8	27,27	a	13,3	a	3545,45	a	33,87	a	121,13	a
L77xP8	31,13	b	24	b	3553,60	a	33,38	a	118,98	a
L55xP8	41,56	b	28,2	b	2038,37	b	30,63	b	63,08	d
P1xP8	23,88	a	12,6	a	3611,88	a	33,42	a	120,71	a
L76xL61	29,21	b	9,89	a	4089,00	a	26,09	c	106,83	b
L88xL61	26,23	a	10,6	a	3097,45	a	22,50	e	69,10	d
P8xL61	20,28	a	9,61	a	3755,58	a	29,75	b	112,33	a
L70xL61	28,72	b	9,71	a	2557,71	b	27,38	c	69,55	d
L77xL61	22,14	a	10,5	a	3871,41	a	25,21	d	98,05	b
L55xL61	27,07	a	10,5	a	3199,01	a	26,34	c	84,00	c
P1xL61	20,55	a	10,1	a	3290,18	a	24,88	d	83,30	c
L76xL70	24,83	a	7,92	a	3830,97	a	30,33	b	116,28	a
L88xL70	28,08	a	9,74	a	4502,03	a	24,33	d	108,20	b
P8xL70	28,88	b	14	a	3625,70	a	32,71	a	119,78	a
L61xL70	23,37	a	9,19	a	2477,70	b	25,46	c	63,62	d
L77xL70	23,24	a	9,44	a	3960,76	a	30,54	b	120,89	a
L55xL70	27,21	a	15	a	3246,53	a	26,13	c	84,57	c
P1xL70	17,92	a	6,7	a	3758,75	a	28,08	c	106,56	b
L76xL77	31,11	b	9,49	a	4388,25	a	29,92	b	131,93	a
L88xL77	32,19	b	14,9	a	4495,34	a	23,96	d	109,46	b
P8xL77	25,96	a	16,6	a	4316,98	a	25,92	c	111,63	a
L61xL77	24,84	a	11,5	a	3106,65	a	27,25	c	84,55	c
L70xL77	24,38	a	7,89	a	4433,02	a	26,50	c	117,36	a
L55xL77	31,23	b	17,7	b	2199,03	b	26,25	c	57,02	d
P1xL77	25,51	a	13,2	a	3046,57	a	27,04	c	82,45	c
L76xL55	28,86	b	14,7	a	3910,11	a	28,08	c	109,70	b
L88xL55	29,88	b	18,7	b	3247,13	a	22,96	e	75,19	c
P8xL55	38,35	b	28,7	b	2432,02	b	32,54	a	79,12	c
L61xL55	23,53	a	11	a	2635,48	b	27,17	c	72,26	d
L70xL55	30,05	b	11,4	a	3513,57	a	27,46	c	96,55	b
L77xL55	37,18	b	21,7	b	3341,14	a	27,96	c	93,01	b
P1xL55	26,07	a	14,7	a	3208,88	a	27,34	c	87,87	b
L76xP1	20,59	a	7,4	a	4035,65	a	30,96	b	124,64	a
L88xP1	26,42	a	11,5	a	4767,01	a	24,96	d	119,27	a

Tabela 3 – Cont.

Genótipos	INC	SEV	RG	CE	VP
P8xP1	29,58 b	19,3 b	3382,14 a	33,87 a	113,70 a
L61xP1	26,11 a	11,1 a	3830,66 a	25,54 c	98,11 b
L70xP1	22,38 a	10,3 a	2897,08 b	28,46 c	81,82 c
L77xP1	28,12 a	12,5 a	3359,97 a	30,37 b	102,06 b
L55xP1	30,55 b	15,1 a	3001,18 a	25,59 c	76,05 c
L88	37,33 b	20,1 b	1670,11 b	18,50 f	34,44 e
L77	36,8 b	14,9 a	1071,87 b	28,38 c	30,11 e
L55	29,3 b	32,6 b	1521,88 b	27,31 c	38,41 e
L70	21,8 a	7,27 a	1638,48 b	28,50 c	46,79 e
L61	27,8 a	9,1 a	722,87 b	22,71 e	17,83 e
P1	34,39 b	16,3 a	1284,83 b	28,83 b	35,66 e
L76	29,94 b	2,82 a	1633,28 b	30,04 b	49,40 e
P8	29,91 b	23,4 b	1814,40 b	36,25 a	65,29 d

INC = incidência de *P. polysora*, SEV = severidade de *P. polysora*, RG = rendimento de grãos, CE = capacidade de expansão, e VP = volume de pipoca. Letras iguais não diferem entre si na coluna.

Para as características de resistência à *P. polysora*, observou-se a formação de dois grupos de médias para INC (Tabela 4). No grupo de menor incidência, ficaram alocados 33 genótipos, dos quais destacaram-se as combinações híbridas P1xL70 (17,9), L61xL76 (19,3), L70xL76 (19,6), P8xL61 (20,3), P1xL61 (20,6) e L76xP1 (20,6) com menores médias.

Considerando a variável SEV, houve, da mesma forma, a constituição de dois grupos, sendo que o grupo com menor severidade foi formado por 50 genótipos, dos quais destacaram-se as combinações híbridas L61xL76 (5,02), L70xL76 (5,49), P1xL70 (6,7), L76xP1 (7,4), P1xL76 (7,34) e o genitor L76 (2,82), com as menores médias (Tabela 3).

Cabe ressaltar que as combinações híbridas L61xL76, L70xL76, P1xL70 e L76xP1 apresentaram as menores médias, tanto para incidência, quanto para severidade. Observa-se que os genitores L70, L61 e L76 participaram da maioria das combinações em destaque com as menores médias, além de obterem destaque com as menores estimativas. Desta forma, tornam-se genitores para constituir combinações promissoras para serem utilizadas em programas de melhoramento visando à redução de ferrugem polissora.

Para o rendimento de grãos (RG), as médias dos genótipos foram reunidas em dois grupos, nos quais 38 combinações apresentaram médias superiores a 3.362,60kg ha^{-1} (média experimental) e observa-se o bom desempenho obtido pelos híbridos. Dentre as combinações com melhor desempenho para o RG, estão os pares L88xP1; L77xL88; L88xL70; L70xL77; L76xL77; P8xL77, com

4767,01; 4648; 4502,03; 4433,02; 4388,25; e 4316,98 kg.ha⁻¹, respectivamente (Tabela 3).

Para a capacidade de expansão (CE), houve a formação de seis grupos (Tabela 3). Dentre os conjuntos formados, o grupo com melhor desempenho destacou-se com nove genótipos, que apresentaram estimativas de médias superiores a 32.54 mL.g⁻¹. Observa-se que todos os híbridos desse grupo têm em comum como genitor, a linhagem P8; neste caso, o bom desempenho desses híbridos para essa característica pode ser explicado pela ação aditiva de genes oriunda deste genitor.

No que se refere ao volume de pipoca expandida por hectare (VP), houve a formação de cinco grupos. Destacaram-se os híbridos L76xP8, P1xL76, L76xL77, L70xP8, L77xL70, L70xL77 e P8xL61, os quais fizeram parte do grupo com maiores médias, com valores entre 138,47 a 112,33 m³.ha⁻¹. O rendimento de grãos e a capacidade de expansão são as principais variáveis do milho-pipoca, estudadas para beneficiar tanto os produtores - devido à alta produtividade -, quanto os consumidores - para com a qualidade da pipoca. Nesse contexto, a variável VP, tida como um “supercarácter” caracteriza-se por representar o volume de pipoca por unidade de cultivo (Amaral Júnior et al., 2016 Lima et al., 2016), sendo de grande importância por contemplar tanto os produtores quanto os consumidores.

Freitas Júnior (2005), avaliando a capacidade combinatória em milho pipoca por meio de dialelo circulante, em Campos dos Goytacazes, observou a formação de cinco grupos para a variável PG, enquanto que para CE observou a formação de oito grupos.

Mafrá (2016), avaliando a capacidade combinatória da resistência à *Puccinia polysora* em milho-pipoca estimada via dialelo circulante entre linhagens tropicais e temperadas, em Campos dos Goytacazes, observou a formação de três grupos para a PG e para CE houve a formação de quatro grupos. Sousa et al. (2016), avaliando o desempenho de híbridos de milho-pipoca no nordeste do Paraná, verificaram que a maior produção foi de 2.200 kg ha⁻¹ e a maior capacidade de expansão, de 31 mL.g⁻¹, cujos resultados são inferiores aos encontrados no presente estudo, mostrando, assim, o bom desempenho dos híbridos obtidos.

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 agrônômicas vêm sendo empregadas na indicação de híbridos, dentre elas a resistência a doenças. Segundo Scapim (2006), a indicação de híbridos promissores de milho-pipoca deve recair sobre aqueles que reúnem CE acima de 30 mL.g⁻¹ e produtividade superior a 3.000 kg.ha⁻¹; desse modo, as combinações híbridas P1xL70, P8xL61, P1xL61, L77xL61, L61xP8, L77xL70, P1xP8, L70xL77, L61xL77, P1xL77, P8xL77, L61xP1, L70xP8 e L70xP1 apresentaram desempenho médio satisfatório para todas as características, sendo, pois, indicadas para utilização em plantios experimentais.

5.3. Análise dialélica de Griffing

5.3.1. Análise da capacidade combinatória e efeito recíproco

O quadrado médio devido a genótipos apresentou significância para todas as características avaliadas, indicando diversidade entre os genitores e híbridos avaliados (Tabela 4).

Tabela 4. Análise de variância para a capacidade geral combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC), efeito recíproco (ER) e média dos quadrados dos efeitos para cinco características avaliadas em dialelo completo de milho-pipoca.

FV	Quadrados Médios					
	GL	INC	SEV	RG	CE	VP
Genótipos	63	111,14**	150,12**	3662308,02**	46,65**	3759,81**
CGC	7	118,53*	188,93**	12166362,92**	350,38**	9236,11**
CEC	28	123,99**	148,12**	1150004,97 **	6,96 ^{n.s}	2489,82**
ER	28	96,44*	142,41**	4048597,34**	10,40**	3660,72**
Resíduo	189	59,69	44,76	710220,27	6,55	627,13
		Médias dos quadrados dos efeitos				
CGC	-	0,919402	2,25	72201,26	5,37	134,51
CEC	-	16,07	25,83	1410978,22	0,10	465,67
ER	-	4,59	12,20	417297,12	0,48	379,19

INC = incidência de *P. polysora*, SEV = severidade de *P. polysora*, RG = rendimento de grãos, CE = capacidade de expansão, e VP = volume de pipoca. **significativo em nível de 1% de probabilidade, * significativo em nível de 5% de probabilidade, n.s = não significativo.

O desdobramento dos tratamentos em CGC revelou efeito significativo para todas as características avaliadas. Para a CEC, somente a característica CE não

apresentou significância; assumindo assim, que os efeitos de genes aditivos são mais importantes para a expressão dessa característica. Para as características INC, SEV, RG e VP, predominaram os efeitos não-aditivos e, desta forma, para a seleção da melhor fonte para tais características, deve-se dar ênfase não somente ao desempenho médio das linhagens nas combinações híbridas, mas também às combinações híbridas específicas.

Diversos autores relatam efeitos aditivos e não-aditivos para INC, SEV, RG, CE e VP, tais como Coimbra et al. (2008), Colombo et al. (2014), Mafra (2016) e Santos (2016).

Sprague e Tatum (1942) mostraram que as estimativas de CGC e CEC são relativas e dependentes do conjunto particular de genótipos incluídos nas combinações híbridas sob teste; portanto, suportando os resultados diferentes advindos de distintos *pools* gênicos.

Quanto ao ER, houve significância para todos os caracteres avaliados. O ER é dividido em efeito materno – quando os genes são provenientes do núcleo do genitor utilizado como mãe – e efeito extracromossômico – quando os genes são provenientes da mitocôndria e dos cloroplastos (Ramalho; Santos; Pinto, 2008).

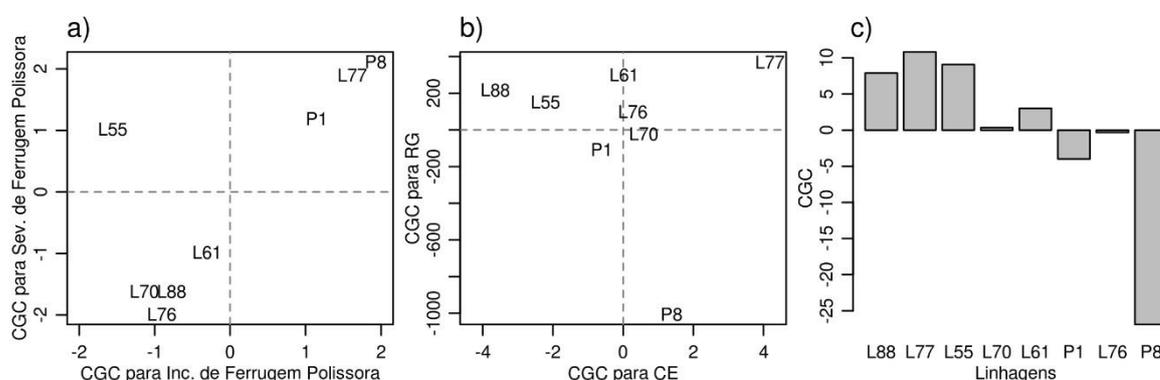
Segundo Wu e Matheson (2001), apenas as estimativas das capacidades geral e específica de combinação não permitem obter informações quando os genitores são utilizados ora como macho, ora como fêmea; por isso, a importância de avaliar o ER.

De acordo com Colombo et al. (2014), existe uma provável influência dos genes citoplasmáticos na expressão do caráter de resistência a *P. polysora*, enquanto que Cabral et al. (2015) relatam o ER para a produtividade em milho-pipoca; porém, esses mesmos autores não observaram o mesmo efeito para CE, diferindo do encontrado no presente trabalho. O ER para VP é explicado pelos efeitos de RG e CE, uma vez que VP é resultante destes caracteres.

5.3.2. Estimativas de capacidade geral de combinação

O conceito de capacidade geral de combinação apresentado por Sprague e Tatum (1942) é a capacidade do genitor em transmitir sua performance superior para seus cruzamentos. Neste estudo, genitores com alta performance e positiva

estimativa de CGC são preferidos para características como RG, CE e VP. Por outro lado, genitores com baixas estimativas e negativos valores de CGC são preferidos para características como INC e SEV. Os genitores L76, L88, L55, L61 e L70 destacaram-se por apresentarem estimativas negativas de CGC para INC. Para SEV, destacaram-se os genitores L76, L88, L70 e L61, com menores estimativas de CGC, sendo, portanto, genótipos favoráveis à seleção por apresentarem resistência à ferrugem polissora e, assim, recomendados em cruzamentos nos quais se desejam obter redução dos níveis da doença (Figura 1.a).



CGC = capacidade geral de combinação, INC = incidência de *P. polysora*, SEV = severidade de *P. polysora*, RG = rendimento de grãos, CE = capacidade de expansão, e VP = volume de pipoca.

Figura 3. Estimativa da capacidade geral de combinação, avaliada em um dialelo completo com oito genitores. a) duas características de resistência a ferrugem polissora; b) duas características morfoagronômicas em milho-pipoca.

Considerando as estimativas positivas de CGC, os melhores genitores, ou seja, aqueles que expressaram os valores mais elevados para rendimento de grãos foram: L77, L61, L88, L55 e L76. Enquanto os genitores L77, P8, L70, L76 e L61 destacaram-se por apresentarem estimativas positivas de CGC para CE (Figura 1.b). Para programas de melhoramento de milho-pipoca, prioriza-se selecionar genótipos que reúnam genes favoráveis para RG e CE, por serem as de maior importância econômica, além de outras características desejáveis em um genótipo superior. Observa-se que 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 à correlação inversamente proporcional existente entre RG e CE, como verificado por Brunson (1937), Sawazaki (1996), Daros et al. (2004) e Cabral et al. (2015).

VP está diretamente relacionada às características RG e CE. Neste contexto, o genitor L77 destaca-se por apresentar maior média para esta característica, revelando também alta estimativa de CGC para RG e CE (Figura 1).

Com a finalidade de destacar o genitor mais promissor, tem-se que a linhagem L61 revelou estimativas positivas de CGC para as características RG, CE e VP e estimativas negativas para INC e SEV. Apesar de somente um genitor apresentar características favoráveis, é possível identificar algumas estratégias para a obtenção de genótipos superiores. Uma delas é reunir em combinações híbridas genitores que apresentem elevadas estimativas de CGC para RG, CE e baixas estimativas para INC e SEV e, assim, obter híbridos com caracteres favoráveis.

5.3.3. Estimativas de capacidade específica de combinação

A significância dos efeitos de CEC em termos genéticos indica que, na herança do caráter, parte da variação genotípica se deve à manifestação de ações gênicas não-aditivas (dominância e epistasia), sendo interpretada como desvio de um híbrido em relação ao que seria esperado com base somente na CGC de seus genitores (Gorgulho, Miranda Filho, 2001). Em programas de melhoramento visando resistência a doenças, exigem-se estimativas negativas de CEC, haja vista a busca por genótipos que contribuem para redução dessas características (Gorgulho e Miranda Filho, 2001; Aguiar et al., 2004).

Na Tabela 5 encontram-se os resultados referentes à CEC. Para os caracteres visando resistência à ferrugem polissora (INC, SEV) destacaram-se 16 combinações híbridas das 56 avaliadas, que apresentaram estimativas altas e negativas; e, destas, sobressaíram-se os híbridos L55xL61, L6xP8, L77xP1, P1xL76, L88xL61, L88xL70, L77xL76, P1xL61, L70xL88 e L70xP8, que apresentaram menores estimativas de médias para ambos os caracteres (Tabela 3).

Para RG, dos 56 híbridos avaliados, destacaram-se 25 pares, por apresentarem estimativas altas e positivas para CEC; destes, somente L70XL61, L55XP8 e L55XL77 não fazem parte do rol com maiores médias para o caráter (Tabela 3). Assim, como desejam-se altas e positivas estimativas de produtividade, estas combinações não são interessantes. As combinações L70xL77, L88xL76, P8xL88, L70xL88, P1xL88, L77xL76, L61xL88 e L76xP1 destacaram-se por apresentarem altas estimativas de CEC e estimativas de médias acima de 4 mil kg por hectare; sendo, portanto, combinações promissoras para esta característica.

As análises de CEC para CE indicam 12 combinações com estimativas elevadas, sendo que destas, P8xP1, P8xL55, L61xP8 e L77xL76 expressaram estimativas de médias acima de 30 mL.g⁻¹ (Tabela 3). Nota-se que os genitores P8 e L77 que contribuíram para as melhores combinações híbridas, também se sobressaíram por apresentarem elevados valores de CGC (Figura 1).

Tabela 5. Estimativa de capacidade específica de combinação (CEC), avaliadas em um dialelo completo de oito genitores, com os recíprocos para duas características de resistência à ferrugem polissora e três relacionadas a características morfoagronômicas em milho-pipoca;

Híbridos						Recíprocos					
Híbridos	INC	SEV	RG	CE	VP	Híbridos	INC	SEV	RG	CE	VP
L88 X L77	0,39	4,52	-39,86	0,35	-0,70	L77 X L88	-3,98	-6,51	-404,41	0,71	-2,95
L88 X L55	-4,92	-6,04	30,67	0,06	27,91	L55 X L88	-1,67	-2,17	-148,21	0,31	-11,64
L88 X L70	-2,10	-2,99	-543,07	1,46	4,65	L70 X L88	-4,56	-2,11	456,27	-2,07	18,04
L88 X L61	-2,10	-1,73	208,25	0,97	32,71	L61 X L88	1,74	0,06	124,86	-1,38	2,73
L88 X P1	2,50	2,30	-497,35	0,10	-18,12	P1 X L88	-0,18	-2,05	772,65	-0,88	27,94
L88 X L76	-1,38	0,80	206,60	0,15	-19,96	L76 X L88	-0,96	-3,67	676,11	0,19	23,06
L88 X P8	5,02	2,59	85,34	-0,90	-3,83	P8 X L88	-2,98	-3,18	987,77	-0,19	27,88
L77 X L55	-2,69	-2,58	43,58	0,29	16,38	L55 X L77	-1,72	0,88	383,19	-0,49	-0,30
L77 X L70	-0,09	-1,30	548,32	0,53	-1,36	L70 X L77	6,44	2,31	388,29	-0,58	12,91
L77 X L61	3,71	2,89	-537,31	-2,54	-18,45	L61 X L77	5,99	2,62	247,87	-3,73	3,69
L77 X P1	-3,01	-2,43	27,15	0,03	-9,40	P1 X L77	2,44	1,26	603,95	0,96	11,76
L77 X L76	-1,42	-1,22	194,53	1,20	7,81	L76 X L77	6,88	5,10	-8,38	0,23	6,92
L77 X P8	5,43	3,60	-251,44	0,23	-7,44	P8 X L77	0,36	6,51	1403,56	-0,69	42,20
L55 X L70	8,83	6,16	-874,56	0,06	-22,48	L70 X L55	7,25	8,85	-580,32	-0,96	-10,46
L55 X L61	-5,41	-4,22	-128,27	0,44	-16,25	L61 X L55	2,98	2,95	-73,44	1,02	7,08
L55 X P1	1,26	-3,75	594,31	1,59	8,24	P1 X L55	0,18	-2,39	89,45	0,42	-1,44
L55 X L76	0,62	-1,84	317,62	-0,84	-7,53	L76 X L55	-0,09	-0,45	-834,78	0,33	-25,08
L55 X P8	-3,76	4,17	129,98	-0,74	-7,45	P8 X L55	-4,51	-11,52	1116,85	0,31	36,96
L70 X L61	1,24	-2,52	469,70	-0,08	7,90	L61 X L70	-3,14	-0,78	-278,64	-2,02	-7,82
L70 X P1	0,78	0,82	643,01	-1,17	-1,21	P1 X L70	-0,90	-4,48	627,45	0,67	16,50
L70 X L76	3,09	6,42	62,98	-0,58	17,57	L76 X L70	-0,35	-2,65	121,78	0,19	3,04
L70 X P8	-6,40	-6,09	-276,98	0,45	1,29	P8 X L70	0,79	0,96	419,61	0,07	8,41
L61 X P1	3,13	8,60	-177,40	-0,29	11,82	P1 X L61	-6,20	-6,02	942,48	0,86	16,25
L61 X L76	-1,48	0,43	-292,61	0,42	-28,52	L76 X L61	-0,64	0,18	-362,00	1,67	42,28
L61 X P8	-3,71	-6,46	-77,46	0,73	10,97	P8 X L61	-1,71	-0,61	1855,08	0,19	49,76
P1 X L76	-2,21	-2,20	-147,59	-1,19	9,89	L76 X P1	3,84	0,55	308,24	-0,88	-0,78
P1 X P8	4,52	1,86	65,93	0,38	-18,83	P8 X P1	1,40	2,71	1028,16	1,05	28,68
L76 X P8	1,04	-5,00	-139,20	0,54	-15,49	P8 X L76	0,31	6,12	683,95	-0,79	13,33

INC = incidência de *P. polissora*, SEV = severidade de *P. polysora*, RG = rendimento de grãos, CE = capacidade de expansão, e VP = volume de pipoca.

Considerando VP, nota-se que 15 híbridos dos 56 avaliados se destacaram, por revelarem estimativas altas e positivas; e, destes, as combinações P8xL61, P8xL77, P8xP1, P8xL88, L70xL88 e L77xL76 expressaram as maiores médias (Tabela 3). Observa-se que a linhagem P8 contribuiu para os melhores valores nas combinações híbridas, tornando-se um genitor importante para a citada característica, embora tenha apresentado a pior estimativa de CGC (Figura 1). Isso indica que as combinações híbridas envolvendo esse genitor foram melhores do que o esperado com base na CGC parental.

Pinho et al. (1999a) relatam a redução na produtividade de milho causada principalmente pelo aumento de ferrugem polissora, portanto, é de extrema importância a seleção de genótipos que sejam resistentes. No presente estudo, com base em todos os caracteres, as combinações L88xL61, L77xL76, e os recíprocos P1xL61 e P8xL55 destacaram-se com valores negativos para INC e SEV e positivos para RG, CE e VP.

6. CONCLUSÕES

- ✓ Houve efeito recíproco para INC, SEV, RG e VP;
- ✓ Houve predominância de efeitos aditivos e não-aditivos para as características INC, SEV, RG e VP, favorecendo a exploração de efeitos heteróticos;
- ✓ Para a característica capacidade expansão, houve a predominância de efeitos aditivos no controle do caráter;
- ✓ Os híbridos experimentais que exibiram superioridade para incidência e severidade de *P. polysora* e características agronômicas foram L88xL61, L77xL76 e os recíprocos P1xL61 e P8xL55, com estimativas altas e positivas para RG, CE e VP e altas e negativas para INC e SEV;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrocerec. (1996). Guia Agrocerec de sanidade. São Paulo: *Sementes Agrocerec*, 72p.
- Aguiar, C. G., Scapim, C. A., Pinto, R. J. B., Amaral Júnior, A. T. do., Silvério, L., Andrade, C. A. B. (2004) Análise Dialéctica de Linhagens de Milho na Safrinha. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.34, n.6, p.1731-1737.
- Amaral Júnior, A. T., Dos Santos, A., Gerhardt, I. F., Kurosawa, R. N., Moreira, N. F., Pereira, M. G., Gravina G. A. & Silva L, S. F. (2016) Proposal of a super trait for the optimum selection of popcorn progenies based on path analysis. *Genetics and molecular research: GMR*, 15(4).
- Amaral Júnior., A. T do et al. (2013) UENF 14: a new popcorn cultivar. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 13, n. 3, p. 218-220,
- Amorim, L., Rezende, J. A. M., Bergamin Filho, A. (Ed.) (2011) Manual de fitopatologia: volume 1: princípios e conceitos. 4. ed. São Paulo: *Agronômica Ceres*: 704p.
- 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.

- Bordallo, P. N., Pereira, M. G., Amaral Júnior, A. T., Gabriel, A. P. C. (2005) Análise dialélica de genótipos de milho doce e comum para caracteres agrônômicos e proteína total. *Horticultura Brasileira*, v.23, p.123-127.
- Brito, A. H. (2010) *Controle genético e químico de doenças foliares e grãos ardidos em milho*. Tese (Doutor em Agronomia) – Lavras – MG, Universidade Federal de Lavras, 89p.
- Brunson, A. M. (1937) Popcorn breeding. In: U.S. Department Agricultural. Year *Book Agricultural*, Washington D.C: 395-404.
- Buchweitz, E. D. (2010) *Potencial heterótico de linhagens S3 e S4 de milho (Zea mays L.) para obtenção de híbridos*. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Jaboticabal – SP, Universidade Estadual Paulista – UNESP, 78p.
- Cabral, P. D., Amaral Junior, A. T., Viana, A. P., Vieira, H. D., Freitas, I. L. J., Vittorazzi, C., Vivas, M. (2015) Combining ability between tropical and temperate popcorn lines of seed quality and agronomic traits. *Australian Journal of Crop Science*, v.9, p.256-263.
- Caldwell, R., Compton, L., Patterson, F. (1958) Tolerance to cereal leaf rusts. *Science*, v. 128, p. 714-715.
- Camargo, L. E. A., Bergamin, F. A. (1995) Controle genético. In: Bergamin Filho, A.; Kimati, H.; Amorim, L. (Eds.) *Manual de Fitopatologia: Princípios e conceitos*. v.1, 3.ed. São Paulo: Agronômica Ceres. p.729-758.
- Carson, M. L. (2001) Inheritance of resistance to *Phaeosphaeria* leaf spot of maize. *Plant Disease*, v.85, p.798-800.
- Carvalho, C., Kist, B. B., Santos, C. E., Muller, I., Beling, R. R. (2016) Anuário brasileiro de milho. Santa Cruz do Sul: *Editora Gazeta Santa Cruz LTD*.
- Casa, R. T., Reis, E. M. (2003) Doenças na cultura do milho. In: Fancelli, A. L., Dourado Neto D. (Eds.) *Milho: estratégia de manejo para alta produtividade*. Piracicaba, ESALQ/USP, p 01-18.

- Casela, C. R., Ferreira, A. S. (2002) Variability in isolates of *Pucciniapolysora* in Brazil. *Fitopatologia Brasileira*, v. 27, p. 414-416.
- Coimbra, R. R., Martins, E. C. A., Miranda, G. V., Naoe, L. K., Cardoso, E. A., Archangelo, E. R. (2008) Capacidade de combinação de genótipos de milho para solos com baixos níveis de fertilidade. *Revista de Ciências Agrárias*, v.50, p.23-34.
- Colombo, A. G., Vaz-de-Melo, A., Taubinger, M., Tavares, R. C., Silva, R. R. (2014) Análise dialéctica para resistência a ferrugem polissora em milho em diferentes níveis de adubação fosfatada. *Bragantia*, Campinas, v.73, n.1, p.65-71.
- Costa, D. F., Vieira, B. S., Lopes, E. A., Moreira, L. C. B. (2012) Aplicação de fungicidas no controle de doenças foliares na cultura do milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.11, 26 p.98-105.
- Costa Pinto, R. M., Garcia, A. A. F., Souza Jr., C. L. (2001) Alocação de linhagens de milho derivadas das populações BR-105 e BR-106 em grupos heteróticos. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 58, n. 3.
- 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, C. D., Vencovsky, R. (1989) *Comparação de alguns métodos de análise dialéctica*. *Revista Brasileira de Genética*, Ribeirão Preto, 12(2):425-438.
- Cruz, J. C; Pereira Filho, I. A; Corrêa, L. A. (2004) Manejo Cultural do Milho Pipoca. *Embrapa Milho e sorgo*.
- Cruz, C. D., Regazzi, A. J., Carneiro, P. C. S. (2012) *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 3.ed. Viçosa: Ed. da UFV. 480p.
- Cruz, C. D., Carneiro P. C. S., Regazzi, A. J. (2014) *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 2. Vol. / 3. Ed. Viçosa: UFV, 668p.

- Daros, M., Amaral Júnior, A. T., Pereira, M. G., Santos, F. S., Gabriel, A. P. C., Freitas Júnior, S. P. (2004) Recurrent selection in inbred popcorn families. *Scientia Agricola*, Piracicaba-SP, 61(6):609-614.
- Dourado Neto, D., Fancelli, A. L. (2000) Produção de milho. *Guaíba: Agropecuária*.
- Dudienas, C., Fantin, G. M., Duarte, A. P., Ticelli, M., Bárbaro, I. M., Freitas, R. S., Pântano, A. P. (2013) Severity of southern rust in maize cultivars and its effect on yield. *Summa Phytopathologica*, v.39, p.16-23.
- Fantin, G. M. (1997) *Avaliação de resistência do milho a ferrugem causada por Puccinia polysora UNDERW.* Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 136p.
- 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 Darcy Ribeiro, 54p.
- Freitas Júnior, S. P. (2005) *Capacidade combinatória em milho-pipoca por meio de diallelo circulante.* Dissertação (Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes, RJ, 140 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.
- 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) Analysis and interpretation of the variety cross diallel 16 and related populations. *Biometrics*, v.22, p. 439-452.
- Godoy, C. V. (2000) O clima que traz a ferrugem. *Cultivar: Grandes Culturas*, Pelotas, v.20, p.52-54.

- Goodman, M. M., Smith, J.S.C. (1987) Botânica In: *Paterniani, E., Viegas, G. P.* (Ed.). Melhoramento e produção de milho. Campinas: Fundação Cargil,1:41-78.
- Goodnam, M. M (1980) *Melhoramento e produção do milho no Brasil: Botânica*. Piracicaba/ESALQ, Marprint, 2ª impressão.650p ilus.
- 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. (1956) Concept of general and specific ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Sciences*, v.4, p. 462-93.
- Grupo de Coordenação de Estatísticas Agropecuárias - GCEA/IBGE, Diretoria de Pesquisas, *Coordenação de Agropecuária, Levantamento Sistemático da Produção Agrícola*. 2013.
- Hayman, B. I. (1954) The theory and analysis of diallel crosses. *Genetics*, v.39, p.789- 809.
- Kempthorne, O., Curnow, R. N. (1961) The partial diallel cross. *Biometrics*, v.17, p.229- 250.
- Kimati, H. et al. (2005) *Manual de Fitopatologia: Doenças das Plantas Cultivadas*. Piracicaba, SP, v.2, 663p.
- 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.
- Kurosawa, R. N., Vivas, M., Júnior, A. T. A., dos Santos, A., Mafra, G. S., Guimarães, A. G., & Schwantes, I. A. (2016) Reaction of popcorn germplasm to polysora rust under field conditions and natural inoculation. *Tropical Plant Pathology*, 41(6), 415-422.
- Lee, M. DNA markers and plant breeding programs. *Advances in Agronomy*, v.55, p.265-344, 1995.

- Lima, M. L., Paterniani, M. E. A. G. Z., Dudienas, C., Siqueira, W. J., Sawazaki, E., Sordi, G. (1996) Avaliação da resistência à ferrugem tropical em linhagens de milho. *Bragantia*, 55: 269-273.
- Lima, V. J., do Amaral, J. A., Kamphorst, S. H., Pena, G. F., Leite, J. T., Schmitt, K. F., Vittorazzi, C., & Mora, F. (2016) Combining ability of S3 progenies for key agronomic traits in popcorn: comparison of testers in topcrosses. *Genetics and molecular research: GMR*, 15(4).
- Mafra, G. S. (2016) *Capacidade combinatória da resistência à Puccinia polysora em milho-pipoca estimada via dialelo circulante entre linhagens tropicais e temperadas*. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes- RJ, 84p.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento MAPA. (2012) Capturado em 10 Fev. 2012. Online. Disponível na Internet: <http://www.agricultura.gov.br/>.
- 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.
- Paterniani, E., Campos, M.S. (1999) *Melhoramento do milho*. In: Boren, A. Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: Editora UFV, p. 429–447.
- Pedrosa, M. G., Juliatti, F. C., Silva, H. D., Gomes, L. S., & De Brito, C. H. (2003). Seleção de progênies de milho resistentes a ferrugem comum (*Puccinia sorghi*). *Bioscience Journal*, 19(3).

- Pegoraro, D. G., Barbosa Neto, J. F., Dal Soglio, F. K., Vacaro, E., Nuss, C. N., Conceição, L. 22 D. H. (2002) Herança da resistência à mancha foliar de feosféria em milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, p.329-336.
- Pereira Filho, I. A., & Cruz, J. (2009) Milhos especiais: alternativas para agregar valor. *Embrapa Milho e Sorgo* -Artigo de divulgação na mídia (INFOTECA-E).
- 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, O. A. P., Carvalho, R. V., Camargo, L. E. A. Doenças Do Milho. In: Kimati, H.; Amorim, L., Rezende, J. A. M., Bergamin Filho, A., Camargo, L. E. A. Manual de Fitopatologia: doenças das plantas cultivadas. São Paulo: Agron. Ceres, 2005. v.4, cap.55, p.477-488.
- Pinho, R. G. V., Ramalho, M. A. P., Silva, H. P., Resende, I. C., Pozar, G. (1999a) Danos causados pelas ferrugens polissora e tropical do milho. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, DF, v.24, n.3, p.400-409.
- Pinho, R. G. V., Ramalho, M. A. P., Resende, I. C., Pozar, G., Olivatto, A. N. D (1999b) Controle genético da resistência do milho às ferrugens polissora e tropical. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, DF, v.24. n.3, p.394-399.
- Pinto, N. F. J. de A., Santos, M. A. dos, Wruck, D. S. M. (2006) Principais doenças da cultura do milho. *Informe Agropecuário: Cultivo do milho no sistema de plantio direto*, Belo Horizonte, v.27, n.233, p.7-12. Bimestral.
- Ramalho, M. A. P., Santos, J. B., Pinto, C. A. B. P. (2008) *Genética na Agropecuária*. 4. ed. Lavras: UFLA, 460 p.
- Ramalho, M. A. P., Santos, J. B., Zimmermann, M. J. O. (1990) *Genética Quantitativa em Plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro*. Goiânia - GO, 271p.

- Resende, M. D. V., & Duarte, J. B. (2007) Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 37(3).
- Sanches, R. E., Scapim, C. A., Tessmann, D. J., Vieira, R. A., Rodovalho, M. D. A., & Milani, K. F. (2011) Genetic analysis of tropical rust resistance in popcorn lines. *Ciência Rural*, 41(6), 967-971.
- Santos, J. S. (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*. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes- RJ, 83p.
- Sawazaki, E. (1996) *Parâmetros genéticos em milho pipoca (Zea mays L.)*. Tese (Doutorado), Piracicaba - SP, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, 157p.
- Sawazaki, E. (2001) *A cultura do milho pipoca no Brasil*. O Agrônomo, v.1, p.11-13.
- 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.
- 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.
- Schipanski, C. A. (2011) *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) – Ponta Grossa – PR, Universidade Estadual de Ponta Grossa, 73p.
- Schnable, P. S., Ware, D., Fulton, R. S., Stein, J. C., Wei, F., Pasternak, S., ... & Minx, P. (2009) The B73 maize genome: complexity, diversity, and dynamics. *Science*, 326(5956), 1112-1115.

- Schwantes, I. A. (2016) *Habilidade De Combinação Para A Incidência E Severidade De Fusarium Spp Na Espiga Em Milho-pipoca*. Dissertação (Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes, RJ, 72p.
- Silva Cabral, P. D., Teixeira do Amaral Júnior, A., de Jesus Freitas, I. L., Moreira Ribeiro, R., & Rodrigues da Conceição Silva, T. (2016) Relação causa e efeito de caracteres quantitativos sobre a capacidade de expansão do grão em milho-pipoca. *Revista Ciência Agronômica*, 47(1).
- Silva, H. P. da., Moro, J. R. (2004) Diallel Analysis of Maize Resistance to *Phaeosphaeria maydis*. *Scientia agricola*, v.61, p.36-42
- Silva, R. G., Galvão, J. C. C., Miranda, G. V., Oliveira, E. (2002) Identificação dos níveis e fontes de resistência aos enfezamentos do milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 01: 18-28 29.
- Silva, R. M. da., & Miranda Filho, J. B. de. (2003) Heterose em cruzamentos entre populações de milho: peso de espigas. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.60, n.3, p.519-524.
- Silva, W. J., Vidal, B. C., Martins, M. E. Q., Vargas, H.; Pereira, A. C., Zerbetto, M.; Miranda, L. C. M. (1993) What makes popcorn pop. *Nature*, 362:417.
- Sousa, H. M. V., Câmara, T. M. M., De Oliveira, N. N. S., & Da Silva, C. R. N. (2016) Desempenho agronômico de genótipos de milho pipoca no nordeste do estado do Pará. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 15(2), 305-317.
- Sprague, G. F., Tatum, L. A. (1942) General vs. specific combining ability in single crosses of corn. *Journal of the American Society of Agronomy, Madison*, 34(10):923-932.
- Strange, R. N. (2006) Introduction to plant pathology. *John Wiley & Sons*.
- Tanksley, S. D. Mapping polygenes. *Annual Review of Genetics*, v.27, p.205-233, 1993.
- Trudgill, D. L. (1991) Resistance to and tolerance of plant parasitic nematodes in plants. *Annual Review of Phytopatology*, v. 29, n. 1, p. 167-192.

- Vanderplank, J.E. (1963) *Plant diseases: epidemics and control*. New York. *Academic Press*.
- 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. (2010) *Melhoramento genético da resistência à helmintosporiose comum, cercosporiose e ferrugem-polissora em milho-pipoca*. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento Vegetal), Maringá-PR, Universidade Estadual de Maringá, 103p.
- 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.
- Vittorazzi, C., Amaral Júnior, A. T. D., Gonçalves, L. S. A., Candido, L. S., & Silva, T. R. D. C. (2013) Selecting pre-cultivars of popcorn maize based on nonparametric indices. *Revista Ciência Agronômica*, 44(2), 356-362.
- 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.
- Wu, H. X., Matheson, A. (2001) Reciprocal, maternal and non-maternal effects in radiata pine diallel mating experiment on four Australia sites. *Forest genetics*, v. 8, n. 3, p. 205-212.
- 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. (1987) *Milho-pipoca*. In: Paterniani, E.; Viegas, G. P. eds. *Melhoramento e produção do milho no Brasil*. Campinas, Fundação Cargill, p. 413-421.