

**ANÁLISE DIALÉLICA EM MILHO-PIPOCA: CAPACIDADE
COMBINATÓRIA, ANÁLISE DE TRILHA E EFEITO GÊNICO**

PABLO DIEGO SILVA CABRAL

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO – UENF**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
AGOSTO - 2013**

**ANÁLISE DIALÉLICA EM MILHO-PIPOCA: CAPACIDADE
COMBINATÓRIA, ANÁLISE DE TRILHA E EFEITO GÊNICO**

PABLO DIEGO SILVA CABRAL

“Tese 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 Doutor em Genética e Melhoramento
de Plantas.”

Orientador: Prof. Antônio Teixeira do Amaral Júnior

**CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
AGOSTO – 2013**

ANÁLISE DIALÉTICA EM MILHO-PIPOCA: CAPACIDADE
COMBINATÓRIA, ANÁLISE DE TRILHA E EFEITO GÊNICO

PABLO DIEGO SILVA CABRAL

“Tese 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 Doutor em Genética e Melhoramento
de Plantas.”

Aprovada em 20 de agosto de 2013.

Comissão Examinadora:

Prof. Adésio Ferreira (D.Sc., Genética e Melhoramento) - UFES

Prof. Messias Gonzaga Pereira (Ph.D., Melhoramento de Plantas) – UENF

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

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

À minha mãe,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial minha mãe, por me fortalecer nos momentos difíceis;

À Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro, pela formação, pelo auxílio na condução da pesquisa e pela concessão da bolsa;

À Fundação Carlos Chagas de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, pelo financiamento da pesquisa;

Ao Prof. Antônio Teixeira do Amaral Júnior, por todo conhecimento transmitido e pela confiança em me aceitar como orientado;

Ao Prof. Alexandre Pio Viana e ao Prof. Messias Gonzaga Pereira, pelo conhecimento transmitido durante a condução dos experimentos;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pelos ensinamentos transmitidos para minha formação de melhorista, e ao secretário José Daniel, pela forma prestativa com que atende todos os alunos;

À Dra. Liliam e ao Dr. Leandro, nossos eternos pós-doutores, pelo companheirismo, auxílio na condução dos experimentos e conhecimento transmitido;

A todos os amigos, colegas e companheiros do Laboratório de Melhoramento Genético Vegetal, em especial ao Cássio, Fernando, Rodrigo, Thiago, Ismael, Pedro e Guilherme, pelo companheirismo dentro e fora da UENF, pois sem o auxílio de vocês, eu não conseguiria fazer a conclusão dessa tese;

Ao Geraldo, funcionário da UENF, pelos conhecimentos transmitidos e companheirismo nas atividades de campo;

À Juliana, Luzimara e Valdinei, pelo auxílio na condução dos experimentos;

Aos amigos de república, Enio, Victor e João Paulo, pela convivência e incentivo para continuar no trabalho; e

Em especial, à minha namorada Ana Carolina, por ser meu porto firme em todos os momentos.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	5
3. CAPÍTULOS	6
3.1 Efeitos gênicos da qualidade de sementes em cruzamentos dialélicos de milho-pipoca.....	6
3.1.1 Introdução.....	6
3.1.2 Revisão.....	8
3.1.3 Material e Métodos	11
3.1.4 Resultados e Discussão	14
3.1.5 Conclusões	22
3.2 Correlação entre características agronômicas e análise de trilha da capacidade de expansão em híbridos dialélicos em milho-pipoca.....	24
3.2.1 Introdução.....	24
3.2.2 Revisão.....	26
3.2.3 Material e Métodos	28
3.2.4 Resultados e Discussão	30
3.2.5 Conclusões	38
3.3 Capacidade combinatória e efeito recíproco de características agronômicas em linhagens tropicais e temperadas de milho-pipoca	39
3.3.1 Introdução.....	39
3.3.2 Revisão.....	41
3.3.3 Material e Métodos	46
3.3.4 Resultados e Discussão	50
3.3.4.1 Avaliação dos híbridos dialélicos em safra e safrinha	50
3.3.4.2 Análise da capacidade de combinação e efeito recíproco de linhagens tropicais e temperadas de milho-pipoca em épocas de safra e safrinha.....	62
3.3.4.2.1 Análise conjunta da capacidade de combinação e efeito recíproco para safra e safrinha.....	62

3.3.4.2.2 Análise da capacidade de combinação e efeito recíproco para época de safra.....	67
3.3.4.2.3 Análise da capacidade de combinação e efeito recíproco para época de safrinha	75
3.3.5 Conclusões.....	82
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS	83

RESUMO

CABRAL, Pablo Diego Silva; D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Agosto, 2013. Análise dialética em milho-pipoca: capacidade combinatória, análise de trilha e efeito gênico. Orientador: Antônio Teixeira do Amaral Júnior. Conselheiros: Alexandre Pio Viana e Messias Gonzaga Pereira.

A quantidade e a qualidade agronômica dos cultivares de milho-pipoca disponíveis no mercado brasileiro são restritas. Nesse contexto, os programas de melhoramento são de suma importância para o desenvolvimento de novos cultivares, com características agronômicas superiores, que estimulem o cultivo. Portanto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a capacidade combinatória e o efeito recíproco entre linhagens tropicais e temperadas de milho-pipoca para a qualidade de sementes e caracteres agronômicos e estimar a correlação entre os caracteres. Foi realizado um dialelo completo, com os recíprocos entre dez linhagens de milho-pipoca. Os híbridos e a testemunha IAC 112 foram submetidos a dois experimentos. O primeiro foi realizado no Laboratório de Sementes da UENF, onde se avaliou a qualidade das sementes através do teste de germinação (TG) e dos testes de vigor de frio modificado (TFM) e da matéria seca das plântulas (MS). Para TG, foram computadas plântulas normais fortes (PNft) e fracas (PNfr), plântulas anormais (PA) e sementes não germinadas (SNG) e para TFM, plântulas normais (PNF) e anormais (PAF) e sementes não germinadas (SNGF). O segundo experimento foi conduzido no Colégio Agrícola Antônio Sarlo em Campos dos Goytacazes, RJ,

em duas épocas de semeadura, safra e safrinha. As características avaliadas foram: ciclo (CO), altura de planta (AP), altura de espiga (AE), diâmetro do colmo (DC), massa de cem grãos (M100), capacidade de expansão (CE), produtividade de grãos (PG), prolificidade (PR), comprimento (CS), largura (LS) e espessura do grão (ES). Ambos os experimentos foram conduzidos no delineado em blocos casualizados, com quatro repetições. Pelo modelo III de Griffing, foram estimados a capacidade geral (CGC) e específica de combinação (CEC), o efeito recíproco (ER) e suas interações com as épocas de plantio (E). Para os teste de qualidade de sementes, a CGC, CEC e ER foram significativos para todas as variáveis. Os efeitos não aditivos foram predominantes para PNfr, PA, SNG, PAF e SNGF. As linhagens P3 e L70 expressaram as estimativas mais favoráveis de CGC. Os melhores híbridos para a qualidade de sementes foram P1xL70, P3xP6 e P8xL70. O ER mostrou que nos híbridos P1xL70 e P3xP6, as linhagens L70 e P3 devem ser utilizadas como genitoras femininas. A análise de correlação indicou uma relação direta de -0,60 entre PG e CE. De acordo com a análise de trilha, M100 e PG são as variáveis com maior associação com CE, porém negativas. A análise de variância conjunta das épocas indicou ER significativo para CO, AE, PG e ES. A estimação das médias dos quadrados dos efeitos fixos indicou predominância dos efeitos aditivos para PG e CE. As linhagens L53 e L70 mostraram simultaneamente CGC favorável para CE e PG para a época da safra, e a L70 para a época da safrinha. Os melhores híbridos para CE e PG, na época da safra, foram P1xL70, P1xL76, P3xP7, P7xL54 e P8xL54. E para a época da safrinha, foram P1xL53, P1xL76, P8xL53, P8xL54 e P10xL53, sendo que P1xL76 e P8xL54 expressaram CE e PG altas para ambas as épocas.

ABSTRACT

CABRAL, Pablo Diego Silva; D.Sc.; State University North Fluminense Darcy Ribeiro. August 2013. Diallel analysis in popcorn: combining ability, path analysis and gene effect. Advisor: Teixeira do Amaral Júnior. Counselors: Alexandre Pio Viana e Messias Gonzaga Pereira.

The quantity and quality of agronomic popcorn cultivars available in the Brazilian market is restricted. In this context, the breeding programs are of paramount importance for the development of new cultivars with superior agronomic characteristics that encourage the cultivation. Therefore, this study aimed to evaluate the combining ability and reciprocal effect between tropical and temperate inbred lines of popcorn for seed quality and agronomic traits and estimate the correlation among the characters. We conducted a complete diallel including reciprocals of ten inbred lines of popcorn. Hybrids and witness IAC112 underwent two experiments. The first was held in the Seed Laboratory of UENF, which we assessed the quality of the seeds through the germination test (TG) and vigor tests modified cold (TFM) and seedling dry matter (DM). TG is computed for normal seedlings strong (PNft) and weak (PNfr), abnormal seedlings (PA) and non-germinated seeds (SNG) and TFM normal seedlings (PNF) and abnormal (PAF) and non-germinated seeds (SNGF). The second experiment was conducted at Agricultural College Antônio Sarlo, Campos, RJ in two sowing dates, and late growing season. These characteristics evaluated were: cycle (CO), plant height (PH), ear height (EH), stem diameter (DC); weight of hundred grains (M100),

expansion capacity (EC), grain yield (GY), prolificacy (PR), length (CS), width (LS) and the thickness of the grain (ES). Both experiments were conducted in a randomized blocks design with four replications. Model III by Griffing estimated the general (GCA) and specific combining (CEC) and the reciprocal effect (RE) and the interactions with these planting dates (E). To test the quality of the seeds was observed that the GCA, SCA and ER were significant for all variables. The non-additive effects were predominant for PNfr, PA, SNG, and PAF SNGF. The inbred lines P3 and L70 expressed more favorable estimates of GCA. The best hybrids for seed quality were P1xL70, P3xP6 and P8xL70. The ER showed that the hybrid P1xL70 and P3xP6 strains L70 and P3 should be used as female parent. Correlation analysis indicated a high correlation of -0.60 between PG and CE. According to the path analysis, M100 and PG are the variables most associated with EC, but negative. The analysis of variance indicated times of significant CO, ER, AE, PG and ES. The estimation of mean square of the fixed effects indicated a predominance of additive effects for PG and CE. The inbred lines L53 and L70 showed both CGC favorable for EC and PG for the harvest season and L70 for the second crop season. The best hybrids for CE and PG, during harvest time, were P1xL70, P1xL76, P3xP7, P7xL54 and P8xL54. And for the time of the second season were: P1xL53, P1xL76, P8xL53, P8xL54 and P10xL53, and P1xL76 and P8xL54 expressed EC and PG high for both eras.

1. INTRODUÇÃO

O milho-pipoca é um aperitivo muito apreciado no mundo todo, sendo que esse grande sucesso se deve, em parte, à associação da pipoca a locais de diversão como cinemas, parques, circos, entre outros (Popcorn, 2012) e também pelo seu valor nutricional e baixa quantidade de calorias.

Os Estados Unidos da América são os maiores produtores e consumidores de pipoca do mundo, sendo o Brasil o segundo, com uma produção média anual de 80 mil toneladas (Moterle, 2010). O mercado nacional era altamente dependente da importação tanto de sementes quanto de grãos de milho-pipoca, mas nos últimos anos esse mercado vem passando por mudança, refletindo-se principalmente na quantidade importada, pela utilização em maior escala de sementes de cultivares nacionais (Moterle et al., 2012; Ribeiro et al., 2012; Silva et al., 2013).

Um dos atrativos para os produtores é o alto valor pago pelo produto no mercado. Segundo Agriannual (2012), no ano agrícola de 2011, o preço médio pago pela saca de 30 kg de milho-pipoca foi de R\$ 42,60. Esse valor foi o triplo do preço pago para o milho comum na mesma época. Em se tratando da região Norte Fluminense, há uma alta demanda pelo produto, e as condições climáticas dão a possibilidade de obtenção de duas safras por ano, o que torna essa cultura muito interessante para os produtores dessa região.

Apesar da importância da cultura, a quantidade e a qualidade agronômica e comercial das cultivares nacionais estão aquém das requeridas pelo mercado, o

que leva, aos produtores, uma escassez de opções de cultivares no mercado brasileiro que reúnam boas características agronômicas com alto índice de capacidade de expansão (Andrade et al., 2002; Rangel et al., 2011). Segundo o Registro Nacional de Cultivares do Mapa, atualmente existem 48 cultivares registradas, sendo a grande maioria pertencente a empresas empacotadoras, que estabelecem acesso restrito de uso aos produtores parceiros.

Barreto et al. (2012) relataram que no ano agrícola 2010/2011 no mercado nacional estavam disponíveis apenas sementes de três híbridos de milho-pipoca, o Zélia, o IAC 112 e o IAC 125. Dada a pequena quantidade de cultivares disponíveis no mercado nacional, é de suma importância o melhoramento genético visando à obtenção de novos cultivares que reúnam características agronômicas desejáveis e adaptadas às mais variadas condições edafoclimáticas.

Entre as estratégias de melhoramento para a síntese de híbridos, destacam-se as análises dialélicas, que são as metodologias mais utilizadas para obter informações a respeito da capacidade geral (CGC) e específica de combinação (CEC), efeito recíproco (ER) e da herança dos caracteres, podendo assim inferir sobre a melhor combinação híbrida (Hallauer et al., 1988). Porém, a quantidade de informações sobre análises dialélicas em milho-pipoca é pequena, principalmente quando se trata de dialelos completos com recíprocos entre linhagens tropicais e temperadas.

Os primeiros a relatar estudos dialélicos entre linhagens tropicais e temperadas em milho-pipoca foram Larish e Brewbaker (1999), que avaliaram a capacidade de combinação para produtividade de grãos e capacidade de expansão, tendo concluído que, em condições tropicais, a maior probabilidade de sucesso seria o melhoramento envolvendo os grupos heteróticos “Super Gold” e “Japanese Hulless”.

Miranda et al. (2008) relataram que a pequena variabilidade genética da capacidade de expansão em variedades tropicais de milho-pipoca dificulta a obtenção de híbridos superiores. Nesse sentido, há necessidade de obtenção de linhagens de grupos heteróticos distintos, adaptadas aos diferentes ambientes, para investigar os efeitos de genes sobre o rendimento de grãos e a capacidade de expansão para a síntese de novos híbridos.

A alta produtividade de grãos e a capacidade de expansão são as principais características desejáveis em um cultivar de milho-pipoca, então

priorizadas nos programas de melhoramento dessa cultura, sendo as outras características agrônômicas menos trabalhadas, tais como as relacionadas à qualidade de sementes. Essas características são importantes para se obter um estande final de plantas adequado em campo, proporcionando maior rendimento por área. Tekrony e Egli (1991) e Gomes et al. (2000) relataram a importância do conhecimento das bases da herança dos caracteres relacionados com a qualidade de sementes, que ainda não estão totalmente elucidadas, para a obtenção de cultivares com alta germinação e vigor no campo.

Moterle et al. (2012), estudando a capacidade de combinação para a qualidade de sementes de nove linhagens de milho-pipoca em um dialelo completo sem os recíprocos, observaram que as estimativas da CGC e CEC foram significativas para os testes de germinação e vigor. Esses mesmos autores verificaram ainda maior importância dos efeitos não aditivos no controle genético da qualidade fisiológica das sementes em milho-pipoca.

No melhoramento, são avaliados vários caracteres simultaneamente, nesse sentido, o conhecimento das correlações lineares entre eles pode ser muito útil, pois essas associações podem possibilitar ganhos indiretos por seleção em caracteres correlacionados, principalmente em seleção truncada em caracteres de baixa herdabilidade, aumentando assim a eficiência na seleção (Cruz e Carneiro, 2006). Por outro lado, as correlações podem conduzir a estratégias de seleção equivocadas, se interpretadas inadequadamente, pois suas estimativas não expressam uma relação de causa e efeito tal como estimado em análise de trilha.

Carpentieri-Pípolo et al. (2002), avaliando a correlação entre a produtividade de grãos e a capacidade de expansão em genótipos de milho-pipoca, observaram correlação negativa entre elas. Rangel et al. (2011), estudando a análise de trilha da capacidade de expansão, observaram efeito direto do peso de espigas de $-0,611$, demonstrando a dificuldade de obtenção de cultivares de milho-pipoca com alta produtividade de grãos e capacidade de expansão, relatado também por Scapim et al. (2006).

Dado o exposto, o programa de melhoramento genético de milho-pipoca da Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) vem trabalhando visando a desenvolver cultivares com características agrônômicas e comerciais desejáveis e adaptadas às condições socioambientais das regiões Norte e

Noroeste Fluminense, proporcionando opções de diversificação agrícola rentável para os produtores rurais dessas localidades.

2. OBJETIVOS

Sabendo que o volume de informações sobre a cultura do milho-pipoca é pequeno, o objetivo do presente trabalho foi a obtenção e avaliação de 45 híbridos simples e seus recíprocos para as condições de safra e safrinha em Campos dos Goytacazes, visando à disponibilização de uma combinação híbrida que reúna as características agronômicas e comerciais desejáveis para os produtores da região.

- 1- Avaliar a capacidade geral e específica de combinação entre linhagens tropicais e temperadas de milho-pipoca por meio de um dialelo completo com os seus recíprocos.
- 2- Avaliar as principais características agronômicas e a qualidade de sementes dos híbridos e seus recíprocos e da testemunha.
- 3- Estimar as correlações genéticas entre as características agronômicas, bem como a relação de causa e efeito destas sobre a capacidade de expansão.
- 4- Caracterizar a herança e averiguar a existência de efeito recíproco nas características agronômicas e na qualidade de sementes.

3. CAPÍTULOS

3.1 EFEITOS GÊNICOS DA QUALIDADE DE SEMENTES EM CRUZAMENTOS DIALÉLICOS DE MILHO-PIPOCA

3.1.1 INTRODUÇÃO

O manejo inadequado e a falta de cultivares com boas características agronômicas no mercado brasileiro levam ao baixo rendimento da cultura do milho-pipoca. Uma das causas da redução do rendimento é o insucesso no estabelecimento do estande, acarretando cultivos com populações inferiores às recomendadas. Para obtenção do estande ideal, é importante a utilização de caracteres relacionados à qualidade de sementes no cálculo da quantidade de sementes a ser semeada (Marcos Filho, 2005).

A qualidade das sementes é o somatório de todos os atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários que afetam sua capacidade de desempenhar funções vitais como germinação e vigor (Popinigis, 1985).

O teste de germinação é o mais utilizado para a avaliação do potencial germinativo das sementes, mas ele pode superestimar o desempenho em campo, por ser conduzido em condições ideais de temperatura e umidade. Nesse sentido, os testes de vigor têm sido realizados para complementar as informações obtidas

no teste de germinação e detectar diferenças significativas na qualidade de sementes dos lotes com germinação semelhante (Marcos Filho, 2005). Vários testes de vigor têm sido utilizados para a cultura do milho, sendo o teste de frio modificado o mais indicado pela sua alta correlação com a emergência de plântulas em campo (McDonald, 1975; Molina et al., 1987; Tekrony et al., 1989; Barros et al., 1999).

Apesar da importância da obtenção de cultivares com alta germinação e vigor, são raros os estudos sobre os efeitos genéticos predominantes das características associadas à qualidade de sementes em milho-pipoca (Tekrony e Egli, 1991). Nesse sentido, o estudo da capacidade combinatória pode oferecer informações valiosas, uma vez que permite selecionar os parentais mais promissores para a obtenção de híbridos com maior qualidade de sementes, com base na capacidade geral (CGC) e específica de combinação (CEC) dos genitores bem como no efeito recíproco (EF) (Griffing, 1956b).

Moterle et al. (2012), estudando a capacidade de combinação para a qualidade de sementes entre nove linhagens de milho-pipoca em um dialelo completo sem os recíprocos, observaram que as estimativas da CGC e CEC foram significativas para os testes de germinação, primeira contagem, envelhecimento acelerado, frio modificado, condutividade elétrica, emergência de plântulas em leito de areia, velocidade de emergência e índice de velocidade de emergência. Esses mesmos autores verificaram ainda maior importância dos efeitos não aditivos no controle genético da qualidade fisiológica das sementes em milho-pipoca. Gomes et al. (2000) também haviam identificado maior efeito não aditivo no controle genético da qualidade das sementes de milho comum em cruzamento dialélico completo. Por outro lado, Antuna et al. (2003) e Ortiz et al. (2006), estudando o controle genético da qualidade fisiológica de sementes em milho comum, observaram maior importância dos efeitos aditivos em relação aos não aditivos no controle genético da maioria dos testes de germinação e vigor avaliados.

O presente trabalho teve como objetivo estimar, por meio de cruzamentos dialélicos, as capacidades geral e específica de combinação e o efeito recíproco de dez linhagens de milho-pipoca e obter a correlação entre os testes de germinação e vigor com a emergência em campo, visando à obtenção de combinações genéticas com maior germinação e vigor.

3.1.2 REVISÃO

O milho-pipoca (*Zea mays* L.) pertence à família Poaceae, subfamília Panicoideae, tribo Maydeae, gênero *Zea*, espécie *mays*. É de origem americana, mais precisamente do centro sul do México (Deobley, 1990).

É uma planta herbácea anual, com ciclo completo entre quatro a cinco meses, monoica, ou seja, apresenta flores unissexuadas no mesmo indivíduo. As flores masculinas são dispostas em panículas apicais e as femininas, em espigas laterais, característica denominada de diclinia, que favorece a fecundação cruzada (Goodman e Smith, 1987). É uma cultura alógama, com praticamente 100% de fecundação cruzada (Paterniani e Campos, 2005).

A origem genética do milho-pipoca ainda não está muito bem elucidada, havendo várias hipóteses quanto à sua origem genética, sendo as três mais aceitas: a de Mangelsdorf e Smith Jr. (1949) e Mangelsdorf (1974), que relataram não haver indícios de que o teosinte seja o genitor silvestre do milho, sendo que esse último autor identificou os milhos mais antigos como precursores das raças mexicanas de milho-pipoca Chapalote e Nal-tel; a de Erwin (1949), que propôs que o milho-pipoca tenha surgido de uma mutação do milho comum (tipo 'flint'), sendo então cultivado e consumido pelo homem; e a de Goodman e Smith (1987), que demonstraram a existência de evidências genéticas e citológicas que comprovam o parentesco entre o milho e o teosinte, portanto, propuseram que o milho-pipoca seria descendente do teosinte.

Quando comparado ao milho comum, o milho-pipoca apresenta em geral grãos menores, maior prolificidade, menor vigor, maior suscetibilidade a pragas, a doenças, ao acamamento e ao quebramento do colmo, conseqüentemente, menor produtividade. Porém, a maior diferença é sua capacidade de se expandir (Kantety et al., 1995; Larish e Brewbaker, 1999; Sawazaki, 2001).

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

Entre as principais características desejáveis em uma boa cultivar de milho-pipoca, estão a alta capacidade de expansão, desejada pelos consumidores, e a produtividade de grãos, desejada pelos produtores (Amaral Junior et al., 2010). Contudo, devido à falta de cultivares com boas características agrônômicas e ao manejo inadequado da cultura, a produtividade média de grãos de milho-pipoca brasileira é considerada baixa.

Nesse sentido, o insucesso no estabelecimento do estande de plantas é uma das causas da redução do rendimento de produção por área, obtendo-se, com frequência, populações inferiores às recomendadas (Marcos Filho, 2005). Ainda de acordo com este autor, uma das alternativas para o estabelecimento do estande e a obtenção da população de plantas desejada para a cultura é a consideração da qualidade de semente para cálculo da quantidade de sementes a ser distribuída em determinada área.

A qualidade das sementes pode ser definida como o somatório de todos os atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários que afetam sua capacidade de desempenhar funções vitais, caracterizada pela sua germinação, seu vigor e sua longevidade (Popinigis, 1985). A germinação é a reativação do crescimento do embrião, resultando na ruptura do tegumento da semente e na emergência da plântula (Copeland e McDonald, 1995).

Segundo o Comitê de Vigor Internacional de Analista de Sementes (ISTA), o vigor da semente é a soma de todas as propriedades da semente, as quais determinam o nível de atividade e o desempenho da semente, ou do lote de sementes durante a germinação e a emergência de plântulas. Sementes que tenham um bom desempenho são classificadas como vigorosas e as de baixo desempenho são chamadas de sementes de baixo vigor (ISTA, 1981). A Associação Oficial de Análises de Sementes (AOSA, 1983) definiu o vigor de sementes como aquelas propriedades que determinam o potencial para uma emergência rápida e uniforme e para o desenvolvimento de plântulas normais, sob uma ampla faixa de condições ambientais.

Os testes de vigor procuram detectar diferenças significativas no potencial fisiológico de lotes com germinação semelhante, fornecendo informações adicionais às proporcionadas pelo teste de germinação. Paralelamente, espera-se que os resultados permitam distinguir com segurança os lotes de alto dos de baixo vigor (Marcos Filho, 2005).

A maior limitação do teste de germinação, segundo Hampton e Tekrony (1995), é sua inabilidade para detectar diferenças de qualidade entre lotes com alta germinação. Por isso, têm sido utilizados testes de vigor com o objetivo de identificar possíveis diferenças no potencial fisiológico de lotes que apresentam porcentagens de germinação semelhantes, fornecendo informações complementares às obtidas no teste de germinação (Dutra et al., 2008).

O sucesso da performance dos híbridos de milho-pipoca é resultado do cruzamento de linhagens com boa capacidade combinatória. Em geral, o principal efeito esperado está relacionado com o aumento do rendimento. Apesar de vários caracteres agronômicos serem melhorados e explorados através da capacidade combinatória, as bases da herança dos caracteres relacionados com a qualidade de sementes não estão totalmente elucidadas (Gomes et al., 2000).

Apesar disso, estudos envolvendo a capacidade combinatória e o efeito recíproco em velocidades e porcentagens de germinação das plântulas híbridas em relação às plântulas de suas linhagens parentais foram relatados com milho comum (Sarkissian et al., 1964; Pesey, 1970; Mino, 1980; Szundy e Kovacs, 1981; Gomes et al., 2000; Lobato et al., 2005; Pereira et al., 2008).

Pesey (1970), Eagles e Hardacre (1978) e Roveri-José et al. (2004) relataram existência de efeito recíproco no grau de tolerância às baixas temperaturas, na germinação e na velocidade de emergência nas plântulas híbridas de milho, assim, plântulas híbridas descendentes do parental feminino com baixa tolerância ao frio, baixa germinação e baixa velocidade de emergência também apresentaram estas características. Porém, não há relato na literatura científica de efeito recíproco em trabalhos com milho-pipoca.

Nesse contexto, Delouche (1985) recomendou que, em programas de melhoramento genético, fossem incluídos caracteres relacionados com a qualidade das sementes, visto que incrementariam a resistência à deterioração no campo e a longevidade durante o armazenamento bem como a capacidade de germinação e emergência em condições não favoráveis.

Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a capacidade combinatória e o efeito recíproco entre dez linhagens tropicais e temperadas de milho-pipoca para a qualidade de sementes e estimar a correlação entre os testes de germinação e vigor com a emergência em campo, visando ao melhor

entendimento do efeito gênico sobre a qualidade de sementes e à obtenção de híbridos com maior germinação e vigor.

3.1.3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliadas dez linhagens em S₇ de milho-pipoca, Tabela 1, do programa de melhoramento da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) em um dialelo completo com recíprocos, totalizando 90 híbridos dialélicos.

Tabela 1. Genealogia das linhagens utilizadas

Linhasgens	Genealogia
P1	Obtida do híbrido triplo “Zélia”, lançada pela Pioneer Seeds, considerada tropical e temperada.
P3	Obtida do composto de grãos brancos “CMS-42”, lançada pela Embrapa-Milho e Sorgo, considerada tropical.
P6	Obtida do híbrido triplo “Zaeli”, proveniente do cruzamento entre linhagens temperadas.
P7	
P8	Obtida do híbrido modificado “IAC 112” adaptado a regiões tropicais, consiste de linhagens oriundas da população South American Mushroom (SAM) cruzadas com linhagens sul-americanas provenientes do híbrido intervietal “Guarani” x “Amarela”, consideradas tropicais e temperadas.
P10	
L53	Obtida da variedade de polinização aberta não melhorada Beija-flor, pertencente à Universidade Federal de Viçosa, considerada tropical.
L54	
L70	Obtida da variedade de polinização aberta “BRS Angela”, oriunda do composto “CMS-43” de grãos brancos, lançada pela Embrapa, considerada tropical.
L76	Obtida da variedade de polinização aberta Viçosa-Viçosa, oriunda de cruzamentos de variedades locais com híbridos norte-americanos, considerada tropical e temperada.

As análises de germinação e vigor foram realizadas no Setor de Produção e Tecnologia de Sementes do Laboratório de Fitotecnia da UENF. O teste de germinação (TG) foi realizado com quatro repetições de cada tratamento, cada repetição composta por 50 sementes. As sementes foram semeadas entre três folhas de papel-toalha umedecidas com água destilada, utilizando-se a

quantidade de água equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco e confeccionados rolos, que foram transferidos para incubadora do tipo B.O.D. com temperatura alternada de 20-30°C, conforme Brasil (2009). Após sete dias, foi realizada a contagem final em que foram avaliadas a porcentagem de plântulas normais (PN) e anormais (PA) e a de sementes não germinadas (SNG). As plântulas normais foram classificadas em normais fortes (PNft) e normais fracas (PNfr), sendo consideradas plântulas normais fortes aquelas com maior desenvolvimento (de massa e comprimento) do coleóptilo e da raiz, de acordo com Nakagawa (1994).

Para a obtenção da matéria seca (MS), as plântulas consideradas normais (PNft e PNfr) no teste de germinação foram colocadas em sacos de papel devidamente identificados e levados à estufa a 70°C por 48 horas. Em seguida, elas foram pesadas em balança de precisão, sendo o valor corrigido para média por plântula normal.

O teste de frio modificado (TFM) foi realizado com quatro repetições de 50 sementes de cada tratamento. A semeadura foi realizada entre três folhas de papel-toalha previamente umedecidas com água destilada, na proporção de 2,5 vezes a massa do papel seco. Os rolos confeccionados foram envoltos por sacos plásticos, permanecendo nessa condição por um período de sete dias em câmara de germinação do tipo B.O.D. em ausência de luz e à temperatura constante de 10°C. Ao término desse período, os rolos foram transferidos para o germinador com temperatura alternada de 20-30°C por quatro dias, de acordo com Brasil (2009). Posteriormente, foi realizada a avaliação, computando-se a porcentagem de plântulas normais (PNF) e anormais (PNF) e sementes não germinadas (SNGF).

A emergência em campo foi avaliada na área experimental do Colégio Estadual Agrícola Antônio Sarlo, em Campos dos Goytacazes, RJ. Para tanto, os 90 híbridos foram semeados em duas fileiras de 3,00 m de comprimento e espaçamento de 0,90 m entre fileiras e 0,20 m entre plantas, utilizando duas sementes por cova a uma profundidade de 0,05 m. A contagem das plântulas normais emergidas em cada parcela foi efetuada aos 14 dias após a semeadura, com expressão dos resultados em porcentagem (Nakagawa, 1994).

Para a análise das variáveis mencionadas, o delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. Com base nos resultados da análise

de variância, as somas de quadrados de híbridos foram decompostas em capacidade geral e específica de combinação e efeito recíproco, para tanto, foi utilizado o modelo III de Griffing (1956a), sendo o modelo considerado fixo, dado:

$$Y_{ij} = m + g_i + g_j + s_{ij} + r_{ij} + \bar{\varepsilon}_{ij},$$

em que:

Y_{ij} = valor médio dos híbridos F'_{1s} e recíprocos ($i, j=1,2,\dots,p$);

m = média geral;

g_i, g_j = efeito da capacidade geral de combinação do i -ésimo e j -ésimo genitor, respectivamente;

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

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

$\bar{\varepsilon}_{ij}$ = erro experimental médio \sim NID ($0, \sigma^2$).

Nesse modelo, foi considerado $s_{ij}=s_{ji}$ e $r_{ij}\neq r_{ji}$.

Os estimadores das médias dos quadrados dos efeitos fixos associados a CGC ($\tilde{\phi}_g$), CEC ($\tilde{\phi}_s$) e ER ($\tilde{\phi}_{rc}$) foram:

$$\tilde{\phi}_g = \frac{(QMG - QMR)}{2(p-2)}; \tilde{\phi}_s = \frac{(QMS - QMR)}{2} \text{ e } \tilde{\phi}_{rc} = \frac{(QMRC - QMR)}{2},$$

em que:

p = número de genitores;

QMG = quadrado médio de CGC;

QMS = quadrado médio de CEC;

QMRC = quadrado médio de ER; e

QMR = quadrado médio do resíduo.

Posteriormente, foi calculado o coeficiente de correlação simples (r) entre os testes de germinação, os de vigor e a emergência em campo, sendo para tanto, utilizada apenas a porcentagem de plântulas normais dos testes de germinação e vigor. A variável MS foi transformada para porcentagem.

3.1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela análise de variância, foram observadas diferenças significativas para fonte de variação híbridos (H) para todas as características avaliadas, denotando ampla variação dos genótipos avaliados (Tabela 2). Pelo desdobramento da soma de quadrados de híbridos em soma de quadrados para capacidade geral (CGC), capacidade específica de combinação (CEC) e efeito recíproco (ER), foram também observados efeitos significativos para as características avaliadas, indicando que efeitos aditivos, não aditivos e recíprocos estão envolvidos no controle genético destas características. Trabalhando com análise dialélica em linhagens de milho comum para qualidade de sementes, Moterle et al. (2011) verificaram significância dos efeitos da CGC, CEC e ER para o teste de germinação e para os testes de vigor de primeira contagem, frio modificado e emergência de plântulas em leito de areia.

As estimativas das médias dos quadrados dos efeitos fixos indicaram que as características PNfr, PA, SNG, PAF e SNGF expressaram superioridade dos efeitos genéticos não aditivos em relação aos aditivos. Por sua vez, para PNft, MS e PNF, foi observado o inverso, ou seja, houve predominância dos efeitos aditivos (Tabela 2). Resultados semelhantes foram obtidos por Moterle et al. (2012), que verificaram maior importância dos efeitos não aditivos no controle genético de qualidade de sementes para TG e TFM.

Tabela 2. Quadrados médios da capacidade geral (C.G.C) e específica de combinação (C.E.C), dos efeitos recíprocos (E.R) e média dos quadrados dos efeitos fixos para os testes de germinação (TG), e frio modificado (TFM) e matéria seca das plântulas (MS)

FV	DF	Quadrados médios							
		TG (%)'				MS (g)	TFM (%)		
		PNft	PNfr	PA	SNG		PNF	PAF	SNGF
Híbridos	89	835,5**	412,5**	24,1**	242,7**	0,0015**	1265,5**	326,7**	955,2**
CGC	9	3060,9**	969,6**	49,19**	369,5**	0,0052**	4676,6**	490,9**	2903,5**
CEC	35	379,3**	259,1**	15,45**	147,3**	0,0006**	611,6**	306,0**	455,4**
ER	45	745,3**	420,5**	25,8**	291,5**	0,0016**	1091,9**	310,0**	954,3**
Erro	267	50,35	5,78	0,22	1,38	0,0001	58,08	3,10	5,63
CV (%)		7,88	8,42	7,95	8,00	9,02	9,52	7,75	9,19
Estimativas das médias dos quadrados dos efeitos fixos									
CGC ($\tilde{\phi}_g$)		46,53	14,97	0,764	5,747	0,000081	70,37	7,61	45,25
CEC ($\tilde{\phi}_s$)		37,04	30,99	1,896	18,19	0,000067	54,86	37,76	56,05
ER ($\tilde{\phi}_{rc}$)		82,79	51,15	3,19	36,22	0,000192	114,91	38,26	118,41

PNft= plântulas normais fortes; PNfr= plântulas normais fracas; PA= plântulas anormais; SNG= sementes não germinadas; PNF= plântulas normais do teste frio modificado; PAF= plântulas anormais do teste frio modificado; SNGF= sementes não germinadas do teste frio modificado; **significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

Gomes et al. (2000), avaliando a capacidade combinatória de linhagens de milho comum para a qualidade de grãos, relataram maior importância dos efeitos não aditivos para TG e TFM, resultados que corroboraram os obtidos por Moterle et al. (2012). Porém, esses resultados são discordantes dos obtidos por Antuna et al. (2003) e Ortiz et al. (2006), que observaram maior importância dos efeitos gênicos aditivos para TG. Vale ressaltar a diferença da metodologia utilizada por esses últimos, que utilizam apenas o quadrado médio associado aos efeitos de CGC e CEC de cada característica e não a estimativa das médias dos quadrados dos efeitos fixos associadas a elas.

As médias dos quadrados dos efeitos fixos associadas ao ER de todos os caracteres foram superiores às associadas à CEC, indicando diferença de efeito quando se usa uma linhagem como genitor masculino ou como feminina no mesmo cruzamento. Esses resultados corroboram os obtidos por Moterle et al. (2011) em milho comum, que observaram maior magnitude dos efeitos de ER em relação aos de CEC para os teste de germinação, primeira contagem e emergência em leito de areia. Porém, esses resultados são discordantes dos obtidos por Gomes et al. (2000), que, avaliando a qualidade de sementes em milho comum, observaram que as estimativas de CEC foram maiores, em sua maioria, do que as associadas ao ER.

Para o TG, as amplitudes de variação dos efeitos da capacidade geral de combinação (\hat{g}_i) (a maior estimativa de CGC menos a menor estimativa dividida pelo desvio padrão) foram de 20,28; 35,73; 44,39 e 45,87 vezes o desvio padrão de PNft, PNfr, PA e SNG, respectivamente, Tabela 3, evidenciando grande diferença entre os efeitos de CGC das linhagens. Esses resultados são bem superiores ao encontrados por Gomes et al. (2000), que observaram amplitude de variação dos efeitos da \hat{g}_i para o teste de germinação de 3,98 vezes o desvio padrão, porém, vale ressaltar que Gomes et al. (2000) utilizaram apenas seis linhagens de milho comum. As linhagens P3, P8, L53, L54, L70 e L76 obtiveram valores positivos de \hat{g}_i para PNft e valores negativos para PNfr, PA e SNG, sendo que os valores de maior magnitude foram obtidos pela L76, seguida por L70 e P3, respectivamente. Esses resultados indicam que essas linhagens podem contribuir para o aumento da porcentagem de germinação das sementes, já que o intuito é aumentar PNft e diminuir PNfr, PA e SNG. Por sua vez, as linhagens P1, P6, P7 e P10 expressaram valores negativos para PNft e positivos para PNfr e SNG, sendo

que, entre estas, apenas a P7 revelou valor negativo para PA, porém de baixa magnitude.

Tabela 3. Estimativa dos efeitos da capacidade geral de combinação (\hat{g}_i) e desvio padrão (DP) das dez linhagens genitoras (LG) para os testes de germinação (TG) e frio modificado (TFM) e matéria seca das plântulas (MS)

LG	TG (%)				MS (g)	TFM (%)		
	PNft	PNfr	PA	SNG		PNF	PAF	SNGF
P1	-9,463	4,013	1,484	3,719	-0,010	-18,172	5,494	12,897
P3	4,834	-1,269	-0,516	-2,672	0,022	9,703	-2,350	-6,650
P6	-13,213	7,653	0,844	4,438	0,001	-8,656	-1,272	9,506
P7	-2,838	1,153	-0,078	1,031	-0,003	-4,031	-1,225	3,944
P8	1,459	-1,081	-0,297	-0,281	-0,005	-1,234	-0,569	0,584
P10	-0,713	0,856	1,094	-0,906	-0,005	-0,375	3,416	-3,088
L53	1,741	-1,097	-0,594	-0,250	-0,001	6,703	-3,350	-3,181
L54	2,678	-0,097	-0,016	-1,688	-0,005	6,891	-0,459	-6,572
L70	6,819	-3,597	-0,609	-2,281	0,004	6,313	-1,678	-4,416
L76	8,694	-6,534	-1,313	-1,109	0,003	2,859	1,994	-3,025
DMS	6,953	2,356	0,463	1,149	0,008	7,468	1,726	2,325
DP	1,08	0,397	0,063	0,155	0,0008	1,558	0,233	0,313

¹PNft= plântulas normais fortes; PNfr= plântulas normais fracas; PA= plântulas anormais; SNG= sementes não germinadas; ²PNF= plântulas normais do teste frio modificado; PAF= plântulas anormais do teste frio modificado; SNGF= sementes não germinadas do teste frio modificado; DMS= diferença mínima significativa

A matéria seca das plântulas (MS) pode ser considerada um teste de vigor de sementes (ISTA, 1985), assim, quanto maior a matéria seca das plântulas maior será o vigor das mesmas. A amplitude de variação de \hat{g}_i para MS foi de 40 vezes o desvio padrão (Tabela 3). As linhagens P3, P6, L70 e L76 expressaram valores positivos para o efeito da CGC, porém de baixa magnitude, sendo que a linhagem P3 foi a que obteve valor 0,022, superior à diferença mínima significativa (DMS).

Para o teste frio modificado, a amplitude de variação de \hat{g}_i foi de 17,92; 37,95 e 62,45 vezes o desvio padrão de PNF, PAF e SNGF, respectivamente (Tabela 3). Gomes et al. (2000) obtiveram amplitude de variação para o teste de frio de 10,33 vezes o desvio padrão. As linhagens P3, L53, L54, L70 e L76 expressaram valores positivos de efeitos de CGC para PNF, sendo que P3 deteve o maior valor, com magnitude de 9,703. Para PAF, apenas as linhagens P1, P10

e L76 expressaram valores positivos. Para as linhagens P3, P10, L53, L54, L70 e L76, foram observados valores negativos para SNGF, superiores à DMS (1,726), sendo o maior valor para a P3 de -6,650. Assim, a linhagem que mais se destacou com valores de alta magnitude favoráveis para esse teste foi P3, que tende a contribuir para aumentar o vigor das sementes.

De modo geral, as linhagens P3 e L70 foram as que mais se destacaram quanto ao efeito favorável de CGC para germinação e vigor. Contudo, Cruz e Regazzi (2004) relataram que, nas combinações híbridas com estimativas mais favoráveis de CEC, são desejáveis aquelas que envolvam pelo menos um dos genitores que tenha apresentado os maiores efeitos favoráveis de CGC. Dessa maneira, de acordo com a CEC, as melhores combinações híbridas para ganhos nas características de germinação e vigor foram P1xL70, P3xP6 e P8xL70 (Tabela 4). Entre esses híbridos, o que mais se destacou, por deter a estimativa mais favorável de CEC para a maioria das características, foi P8xL70.

Tabela 4. Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação ($\hat{\sigma}_{ij}$) e desvio padrão (DP) para os testes de germinação (TG), de frio modificado (TFM) e matéria seca das plântulas (MS)

Híbridos	TG (%)				MS (g)	TFM (%)		
	PNft	PNfr	PA	SNG		PNF	PAF	SNGF
P1xP3	-9,144	2,184	2,990	5,148	-0,005	13,566	-6,760	-6,075
P1xP6	1,778	6,512	-2,370	-5,587	0,007	-10,325	-4,089	10,519
P1xP7	-11,597	9,012	-1,323	3,319	-0,001	-7,950	-7,135	15,332
P1xP8	-6,019	-1,378	0,146	6,257	-0,008	-18,247	0,458	20,441
P1xP10	13,153	-8,066	0,630	-3,493	0,006	-1,856	16,099	-10,012
P1xL53	8,575	-7,113	0,068	-2,649	0,008	9,566	4,115	-10,918
P1xL54	-5,238	7,637	1,490	-3,337	0,000	3,878	8,599	-13,653
P1xL70	6,622	-3,738	-0,167	-3,243	-0,002	7,957	-2,432	-10,684
P1xL76	1,872	-5,050	-1,464	3,585	-0,004	3,410	-8,854	5,050
P3xP6	4,731	-0,457	-1,245	-3,071	-0,002	6,800	-2,745	-4,934
P3xP7	-7,394	1,293	2,177	2,835	0,005	-4,325	-1,792	4,628
P3xP8	-2,566	5,153	-0,604	-2,227	-0,002	8,378	-3,448	-2,762
P3xP10	3,856	1,090	-1,870	-1,227	0,010	9,019	-7,932	-0,090
P3xL53	-2,972	4,293	-0,307	-1,384	0,002	-5,309	4,833	1,253
P3xL54	7,590	-7,207	-1,010	-0,821	0,011	-9,497	6,693	5,769
P3xL70	3,325	-7,082	-0,542	2,273	-0,005	-15,918	7,411	3,863
P3xL76	2,575	0,731	0,411	-1,524	-0,014	-2,715	3,740	-1,653
P6xP7	4,278	-0,003	0,818	-4,649	0,002	5,285	-0,245	-4,278
P6xP8	-0,644	0,231	0,661	0,038	0,013	6,738	-1,776	-8,918
P6xP10	-2,597	2,293	-0,729	-0,587	0,000	-0,497	2,240	0,378
P6xL53	-3,800	-12,128	3,833	15,632	-0,021	-11,450	1,005	12,347

Tabela 4, cont.

Híbridos	TG (%)				MS (g)	TFM (%)		
	PNft	PNfr	PA	SNG		PNF	PAF	SNGF
P6xL54	-4,863	1,622	0,380	2,069	-0,011	8,113	-2,385	-2,762
P6xL70	-3,503	5,622	-0,526	-2,712	0,012	-8,309	8,333	0,957
P6xL76	4,622	-3,691	-0,823	-1,134	0,001	3,644	-0,339	-3,309
P7xP8	-1,269	-0,894	0,208	2,944	-0,021	-8,762	9,552	0,144
P7xP10	2,528	0,793	-0,682	-2,431	0,002	5,753	1,318	-4,184
P7xL53	2,200	-2,753	-0,120	0,038	0,004	-3,075	-1,792	0,160
P7xL54	10,012	-4,253	-1,573	-4,524	0,002	5,738	1,318	-6,950
P7xL70	-9,503	5,247	0,771	3,694	0,001	7,066	-6,839	-0,106
P7xL76	10,747	-8,441	-0,276	-1,227	0,005	0,269	5,615	-4,747
P8xP10	3,231	-4,847	0,536	-2,493	0,000	-14,418	3,536	2,925
P8xL53	-0,722	3,731	-0,901	-2,399	0,010	4,128	2,427	-3,856
P8xL54	2,340	2,356	0,021	-1,712	0,000	7,441	-6,339	-3,090
P8xL70	10,325	-7,394	-0,510	-1,743	-0,001	11,269	-5,370	-3,497
P8xL76	-4,675	3,043	0,443	1,335	0,009	3,472	0,958	-1,387
P10xL53	-1,800	5,543	-1,542	-2,399	0,000	1,769	-4,182	0,691
P10xL54	-9,738	-0,707	2,005	7,788	-0,009	1,457	-9,698	6,332
P10xL70	3,122	-3,707	-0,026	2,632	-0,007	4,410	-4,604	1,675
P10xL76	-11,753	7,606	1,677	2,210	-0,001	-5,637	3,224	2,285
L53xL54	3,809	-2,753	-1,057	-0,868	0,007	-0,747	-5,057	3,175
L53xL70	-7,457	9,122	0,786	-2,774	-0,007	-0,918	1,661	0,519
L53xL76	2,168	2,059	-0,760	-3,196	-0,004	6,035	-3,010	-3,372
L54xL70	-0,644	0,747	-0,417	1,663	0,001	-6,731	5,021	5,660
L54xL76	-3,269	2,559	0,161	-0,259	0,000	-9,653	1,849	5,519
L70xL76	-2,285	1,184	0,630	0,210	0,008	1,175	-3,182	1,613
DMS	6,953	2,356	0,463	1,149	0,008	7,468	1,726	2,325
DP	2,839	1,045	0,166	0,409	0,220	4,097	0,614	0,827

PNft= plântulas normais fortes; PNfr= plântulas normais fracas; PA= plântulas anormais; SNG= sementes não germinadas; PNF= plântulas normais do teste frio modificado; PAF= plântulas anormais do teste frio modificado; SNGF= sementes não germinadas do teste frio modificado; DMS= diferença mínima significativa

De acordo com o ER, analisando apenas os híbridos em que em pelo menos uma das linhagens com maior efeito de CGC estivesse presente no cruzamento (híbridos P1xL70, P3xP6 e P8xL70), observou-se que, para a característica PNF, o híbrido P1xL70 expressou alta magnitude, de sinal negativo (-22,25), superior à DMS, que foi de 7,468 (Tabela 5). Para PAF e SNGF, as estimativas foram de alta magnitude e positivas, com valores de 9,75 e 7,12, respectivamente, indicando que, nesse híbrido (P1xL70), para a obtenção de maior vigor, a linhagem L70 deve ser utilizada como genitora fêmea. Para o híbrido P3xP6, foi observado efeito de alta magnitude positivo para PNF (8,00), mas negativo para SNGF (-9,25), indicando que, nesse híbrido, a linhagem P3 deverá ser utilizada como genitora fêmea. Já para o híbrido P8xL70, não foram

observadas estimativas elevadas de ER que implicassem a indicação prévia do genitor feminino.

Tabela 5. Estimativas dos efeitos recíprocos da capacidade específica de combinação (r_{ij}) e desvio padrão (DP) para os testes de germinação (TG) e frio modificado (TFM) e matéria seca das plântulas (MS)

Híbridos	TG (%)				MS (g)	TFM (%)		
	PNft	PNfr	PA	SNG		PN	PA	SNG
P1xP3	-2,500	-12,125	5,375	10,750	-0,0363	-10,750	1,750	9,000
P1xP6	-2,000	3,750	0,625	-2,375	-0,0176	-20,500	3,000	23,250
P1xP7	-3,250	-5,500	-1,000	8,625	-0,0091	-28,500	-1,500	32,500
P1xP8	-1,625	-10,375	0,000	13,250	-0,0012	-18,500	-13,250	31,750
P1xP10	13,375	-17,375	4,875	1,125	-0,0148	-9,250	21,375	-3,125
P1xL53	9,625	-17,500	0,375	6,125	-0,0020	-11,250	0,625	8,625
P1xL54	7,375	-14,375	4,875	3,250	-0,0056	-16,750	14,500	-0,500
P1xL70	0,750	-4,625	1,375	2,500	-0,0043	-22,250	9,750	7,125
P1xL76	7,000	-19,000	-0,125	10,750	-0,0162	-27,250	3,500	23,750
P3xP6	-0,750	3,500	1,000	-3,500	0,0066	8,000	3,500	-9,250
P3xP7	-2,750	4,500	-0,750	-2,250	0,0370	7,500	0,500	-11,750
P3xP8	-2,125	1,125	0,500	-0,125	0,0141	-1,500	3,500	-2,000
P3xP10	-2,750	7,625	-1,375	-1,000	0,0126	2,500	-1,500	-1,000
P3xL53	4,000	-5,500	0,750	0,750	0,0227	-8,750	5,500	3,250
P3xL54	-6,000	6,500	-0,375	-0,125	0,0245	-6,250	2,250	2,375
P3xL70	3,375	-5,375	0,250	0,625	0,0155	-12,250	5,250	1,625
P3xL76	-6,500	5,000	-0,250	-0,750	-0,0007	-3,000	9,000	-1,000
P6xP7	3,375	-7,375	-0,250	4,625	-0,0010	-15,250	2,875	15,500
P6xP8	-4,625	-6,000	1,375	9,250	0,0043	-7,000	0,750	8,000
P6xP10	9,625	-7,375	-1,125	-2,000	-0,0150	-9,375	5,750	3,625
P6xL53	-7,500	-26,125	4,750	25,625	-0,0099	-34,250	5,250	29,000
P6xL54	-2,250	-7,000	1,125	8,125	-0,0202	-7,500	0,750	6,000
P6xL70	10,250	-7,000	0,375	-4,500	-0,0001	-11,000	15,250	-5,125
P6xL76	1,500	-6,500	0,125	6,250	-0,0138	-7,500	-4,000	11,500
P7xP8	8,250	-5,250	1,000	-4,250	0,0007	8,875	-8,125	-4,000
P7xP10	19,375	-21,375	3,000	-1,000	0,0005	1,250	-0,125	-1,000
P7xL53	6,875	-1,500	-0,125	-6,625	0,0122	1,500	0,250	-9,250
P7xL54	-9,375	9,000	-0,250	0,625	-0,0029	-2,750	1,500	-1,750
P7xL70	10,625	-8,125	2,000	-4,250	-0,0137	3,500	0,125	-6,250
P7xL76	4,000	-7,000	-1,000	4,000	-0,0129	-0,750	-5,250	6,000
P8xP10	6,500	-2,375	2,750	-1,875	0,0027	10,375	-2,000	-7,750
P8xL53	0,625	-0,875	0,375	0,125	0,0053	1,250	2,125	-3,375
P8xL54	-9,250	8,125	-0,375	-2,375	0,0024	6,250	-2,750	-2,750
P8xL70	-4,500	-1,000	0,750	1,750	-0,0063	-0,500	-1,250	1,500
P8xL76	5,500	-3,125	-0,500	-2,000	-0,0158	3,750	-2,750	-3,000
P10xL53	-1,375	-1,625	-0,125	3,000	0,0138	-4,750	2,250	5,750
P10xL54	-7,875	2,125	-1,500	6,250	-0,0122	-4,125	-0,125	0,500
P10xL70	2,375	0,375	1,875	-1,250	0,0007	4,500	-3,000	-1,500
P10xL76	4,500	-6,125	0,875	0,750	-0,0277	-8,000	9,000	-1,000
L53xL54	-11,375	12,625	-0,250	-1,000	0,0054	3,250	-1,250	-2,250

Tabela 5, cont.

Híbridos	TG (%)				MS (g)	TFM (%)		
	PNft	PNfr	PA	SNG		PN	PA	SNG
L53xL70	-12,000	12,500	0,750	-1,250	-0,0111	-0,250	0,000	0,250
L53xL76	0,250	-1,000	0,000	0,750	-0,0195	-0,750	-0,500	1,250
L54xL70	-2,375	-5,250	1,125	3,750	0,0004	-10,875	7,250	6,000
L54xL76	16,500	-18,000	1,000	0,500	-0,0062	-2,750	4,250	4,750
L70xL76	-4,375	5,625	-0,625	1,875	-0,0086	-4,000	1,000	3,000
DMS	6,953	2,356	0,463	1,149	0,008	7,468	1,726	2,325
DP	3,21	1,18	0,18	0,46	0,002	4,64	0,69	0,93

PNft= plântulas normais fortes; PNfr= plântulas normais fracas; PA= plântulas anormais; SNG= sementes não germinadas; PNF= plântulas normais do teste frio modificado; PAF= plântulas anormais do teste frio modificado; SNGF= sementes não germinadas do teste frio modificado; DMS= diferença mínima significativa

Na Tabela 6, são apresentadas as estimativas de correlação simples (r) entre a emergência em campo (EMC), TG, TFM e MS. Pode-se observar que todas as correlações foram significativas, sendo que a maior estimativa ocorreu entre TG e TFM (0,676) e a menor, entre TFM e MS (0,402).

Tabela 6. Estimativas de correlações simples (r) entre a emergência de plântulas em campo (EMC), teste de germinação (TG), teste de frio modificado (TFM) e de matéria seca das plântulas (MS) e a porcentagem média geral de plântulas normais emergidas ou germinadas

	EMC	TG	TFM	MS
EMC		0,593**	0,667**	0,458**
TG			0,676**	0,428**
TF				0,402*
Média	72,30	89,93	73,20	56,99

*, ** significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste "t"

Entre as correlações da emergência de plântulas em campo e os testes para qualidade de sementes, o TFM foi o que mais se associou com a EMC (0,667). Resultado semelhante foi obtido por Torres et al. (1998), que, avaliando a eficiência de diferentes testes para determinação da qualidade de sementes em milho comum, observaram correlação de 0,689 entre o teste de frio modificado e a emergência em campo. Molina et al. (1987) observaram correlação de 0,845 entre EMC e TFM, também para a cultura do milho comum. Dessa forma, nota-se que, com a utilização do TFM, pode-se inferir com maior precisão a quantidade de plântulas emergidas em campo. Por outro lado, a MS apresentou correlação de

baixa magnitude com a EMC (0,458), indicando que esse teste de vigor não se revelou adequado para discriminação de plântulas com alta capacidade de emergência em campo.

A porcentagem de plântulas normais germinadas por meio do TG foi superior ao TFM e à EMC, Tabela 6, indicando superestimação dessa variável, principalmente em relação à EMC, mostrando que o TG não deve ser utilizado para o cálculo da quantidade de sementes a ser semeada a campo. Segundo Johson e Wax (1978) e Marcos Filho et al. (1987), a superestimação de TG em relação à EMC ocorre pelo fato de as condições laboratoriais de umidade e temperatura do teste de germinação serem ideais para a germinação das sementes, o que não ocorre em condições de campo. Já a porcentagem de plântulas normais emergidas por meio do TFM (73,20%) foi bem próxima da porcentagem de EMC (72,30%). Marcos Filho et al. (1987) justificam que o teste frio combina baixa temperatura com alta umidade, sendo utilizado para permitir apenas a sobrevivência das sementes mais vigorosas.

Para a MS, a média de plântulas normais emergidas foi de 56,99%, valor subestimado em relação à EMC (72,30%). Esse resultado difere do relatado por Durães et al. (1994), que afirmaram a importância do acúmulo de matéria seca das plântulas para expressar o índice de vigor das sementes. Contudo, pode-se observar que, entre os testes para avaliar a qualidade de sementes para milho-pipoca, o teste de frio modificado foi o que teve maior capacidade de discriminar as sementes com alto vigor e com maior capacidade de emergência em campo.

3.1.5 CONCLUSÕES

Há variabilidade genética para a qualidade das sementes entre as linhagens estudadas, sendo a ação gênica não aditiva predominante para a qualidade de sementes.

Existe efeito recíproco pronunciado para a qualidade de sementes em milho-pipoca, necessitando da indicação prévia dos genitores masculinos e femininos em cruzamentos.

O teste de frio modificado apresenta alta correlação com a emergência de plântulas em campo, podendo ser utilizado para estimar o vigor de sementes de milho-pipoca.

3.2 CORRELAÇÃO ENTRE CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E ANÁLISE DE TRILHA DA CAPACIDADE DE EXPANSÃO EM HÍBRIDOS DIALÉLICOS EM MILHO-PIPOCA

3.2.1 INTRODUÇÃO

O conhecimento das correlações entre a capacidade de expansão e as características agronômicas em milho-pipoca é importante por fornecer informações que auxiliam no processo de seleção de genótipos superiores. As principais características de interesse agrônomo e comercial de uma cultivar de milho-pipoca são a alta capacidade de expansão e a produtividade de grãos (Amaral Júnior et al., 2010). Porém, a correlação negativa entre as duas dificulta a obtenção de cultivar com ambas as características favoráveis (Carpentieri-Pípolo et al., 2002; Daros et al., 2004b; Freitas Júnior et al., 2009).

Nesse sentido, Hallauer et al. (2010) relataram a importância dos coeficientes de correlação simples, uma vez que, com eles, pode-se quantificar o grau de associação genético e não genético entre dois ou mais caracteres. Cruz e Carneiro (2006) afirmaram que essas associações podem possibilitar ganhos indiretos por seleção em caracteres correlacionados, principalmente em seleção truncada em caracteres de baixa herdabilidade, aumentando assim a eficiência na seleção.

Carpentieri-Pípolo et al. (2002) avaliaram as correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais entre caracteres quantitativos em nove genótipos de

milho-pipoca e observaram que capacidade expansão obteve correlações genóticas e fenotípica positivas com tamanho da pipoca e com o número de grãos por volume e negativas com a produtividade de grãos. Esses mesmos autores relataram ainda a possibilidade de seleção indireta de peso total da espiga para ganhos em produtividade.

Os coeficientes de correlação, apesar de serem de grande utilidade na quantificação da magnitude e direção das influências dos fatores na determinação de caracteres complexos, não dão a exata importância relativa dos efeitos diretos e indiretos destes fatores. Para tanto, estudos sobre o desdobramento do coeficiente de correlação são feitos pela análise de trilha, desenvolvida por Wright (1921 e 1923).

A análise de trilha consiste na quantificação dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre uma variável básica, cujas estimativas são obtidas por meio de equações de regressão, em que as variáveis são previamente padronizadas (Cruze Regazzi, 1994). Segundo Li (1956), o coeficiente de trilha é um método que analisa um sistema de múltiplas variáveis, relacionadas de modo linear, incluindo todos os fatores básicos (causas) e suas variáveis resultantes (efeitos).

Rangel et al. (2011), avaliando a associação entre capacidade de expansão e características agronômicas em populações de milho-pipoca sob seleção recorrente, observaram que a massa de 100 grãos foi a característica com maior associação com a capacidade de expansão, porém, negativa. Esses mesmos autores relataram a possibilidade de resposta correlacionada em capacidade de expansão e produtividade de grãos, desde que sejam selecionadas, entre as populações mais produtivas, aquelas com menores tamanhos de grãos.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar as correlações fenotípicas, genéticas e ambientais, bem como a análise de trilha da capacidade de expansão e seus componentes primários e secundários em híbridos dialélicos de milho-pipoca.

3.2.2 REVISÃO

A correlação é uma medida de intensidade de associação linear entre duas características ou uma medida do grau de variação conjunta. Ela é adimensional, sua magnitude varia de zero a um, podendo ser negativa ou positiva. Quanto mais próxima de um, maior é o grau de associação entre as duas características e quanto mais próxima de zero, menor. Uma correlação negativa indica que a seleção objetivando ganho em uma característica provocará efeito contrário na outra. Um coeficiente de correlação zero não indica falta de correlação entre duas variáveis, mas ausência de relação linear entre elas (Cruz e Carneiro, 2006).

No melhoramento de plantas, trabalha-se com várias características ao mesmo tempo, tornando o estudo da magnitude das relações existentes entre caracteres de grande relevância, por permitirem o conhecimento das alterações que ocorrem em um caráter quando se realiza a seleção em outro a ele correlacionado e, principalmente, quando a seleção em um deles apresenta dificuldades pela baixa herdabilidade e/ou dificuldade de mensuração, possibilitando a seleção indireta (Vencovsky e Barriga, 1992; Ramalho et al., 2004).

A correlação que pode ser diretamente mensurada com base nas medidas de dois caracteres na população é a fenotípica. Essa correlação tem causas genéticas e ambientais, porém só as genéticas envolvem uma associação de natureza herdável, podendo, por conseguinte, ser utilizada nos programas de melhoramento (Cruz e Carneiro, 2006).

Entre as causas da correlação genética, a principal é a pleiotropia, a propriedade pela qual um gene influencia dois ou mais caracteres. O desequilíbrio de ligação também pode causar correlação genética, porém são causas transitórias, especialmente em populações derivadas de cruzamentos entre linhagens divergentes (Falconer, 1981).

A correlação ambiental ocorre entre dois caracteres quando eles são influenciados pelas mesmas variações ambientais. Estimativa negativa de correlação ambiental indica que o ambiente favorece um caráter em detrimento do outro e estimativa positiva indica que os dois caracteres são beneficiados ou prejudicados pelas mesmas variações ambientais (Cruz e Carneiro, 2006).

Trabalhos de correlações em milho-pipoca têm mostrado uma correlação genotípica negativa entre a capacidade de expansão e a produtividade de grãos

(Lima et al., 1971; Dofing et al., 1991; Coimbra et al., 2001; Carpentieri-Pípolo et al., 2002). Por outro lado, Daros et al. (2004b), Freitas Júnior (2008) e Rangel et al. (2011) relataram ausência de correlação linear entre capacidade de expansão e produtividade de grãos. Essa divergência de resultados pode ser explicada pelo fato de as correlações terem sido estimadas em diferentes genótipos e ambientes com a utilização de metodologias distintas. Por essa razão, justifica-se a necessidade de desenvolver novos trabalhos com correlações para auxiliar na condução dos programas de melhoramento de plantas (Santos e Vencovsky, 1986).

As análises de correlação simples entre caracteres agrônômicos têm sido objeto de estudo de vários trabalhos, em diversas culturas. Entretanto, apesar da grande utilidade dessas estimativas no entendimento de um caráter complexo (variável principal), essas correlações não determinam a importância relativa das influências diretas e indiretas dos componentes primários e secundários sobre a variável principal (Furtado et al., 2002; Cabral et al., 2011).

A verificação dos componentes de uma variável complexa não deve se basear apenas em análise de correlação simples entre os componentes primários e secundários e a variável principal (Kurek et al., 2001), visto que a quantificação e a interpretação da magnitude de uma associação podem resultar em erros, pois a elevada correlação entre duas variáveis pode ser resultado de efeito de uma terceira variável sobre a primeira (Cruz e Carneiro, 2006).

Nesse sentido, Silva et al. (2005) relatam que, com a utilização da análise de trilha, podem ser obtidas mais informações a respeito das associações entre variáveis, pois elas decompõem a correlação simples em efeitos diretos e indiretos das variáveis primárias e secundárias sobre a variável principal, facilitando o entendimento das relações de causa e efeito entre as variáveis em estudo.

Uma das dificuldades encontradas para a realização da análise de trilha é a inter-relação entre as variáveis, ou seja, a multicolinearidade, cuja presença, em alta magnitude, pode ser prejudicial ao processo, dificultando o entendimento das relações entre as variáveis, podendo levar a interpretações errôneas (Cruz e Carneiro, 2006). Para tanto, torna-se necessária a quantificação de sua magnitude, assim Montgomery e Peck (1981) propuseram o número de condição (NC), que é a razão entre o maior e o menor autovalor da matriz de correlação, e

classificaram a multicolinearidade em três classes: fraca, moderada a forte e severa. As últimas duas classes podem levar a erros nas análises estatísticas e à superestimação dos efeitos diretos das variáveis secundárias sobre a principal.

3.2.3 MATERIAL E MÉTODOS

O material genético foi constituído por 90 híbridos simples, provenientes de um dialelo completo com os recíprocos entre dez linhagens, e a testemunha IAC 112, totalizando 91 tratamentos. As avaliações foram realizadas em duas épocas safra (outubro a fevereiro) e safrinha (fevereiro a junho), no Colégio Estadual Agrícola Antônio Sarlo, em Campos dos Goytacazes, região Norte do estado do Rio de Janeiro, situado a 21° 45' de latitude sul e 41° 20' W de longitude e a 11 m de altitude (Oliveira, 1996).

Cada unidade experimental foi composta por duas linhas de três metros de comprimento, sendo o espaçamento entre linhas de 0,9 m e entre plantas de 0,20 m. A semeadura foi realizada a 0,05 m de profundidade com três grãos por cova, e após 15 dias realizou-se o desbaste, deixando apenas uma planta por cova. Todos os tratos culturais foram realizados de acordo com Sawazaki (2001), sendo utilizada irrigação por aspersão quando necessário.

As características avaliadas foram: Ciclo (CO): dias da semeadura à colheita; Altura de planta (AP): medida, em metros, do nível do solo à inserção da folha bandeira em dez plantas competitivas; Altura de espiga (AE): medida, em metros, do nível do solo à inserção da espiga superior em dez plantas competitivas; Diâmetro do colmo (DC): medido no terço inferior da planta com o auxílio de paquímetro digital, dado em mm; Massa de cem grãos (M100): determinada em balança analítica com precisão de três casas decimais, conforme descrito por Brasil (2009); Capacidade de expansão (CE): aferida a massa de 30 g de grãos e levada ao micro-ondas em pote plástico especial para pipocamento, na potência de 1000 W, por um minuto e quarenta e cinco segundos, e o volume da pipoca foi medido em proveta de 2000 ml, sendo o quociente do volume pipocado dividido por 30 (massa de grão), tendo sido fornecida a CE em mL.g⁻¹; Produtividade de grãos (PG): determinada pela massa total de grãos da parcela e

transformada para kg.ha^{-1} ; Prolificidade (PR): número médio de espiga por planta, avaliado em dez plantas competitivas; Comprimento (CS), largura (LS) e espessura do grão (ES): medidos com o auxílio de um paquímetro digital, conforme descrito por Brasil (2009).

O experimento foi instalado seguindo o delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições para safra e safrinha. Para PG, foi feita a correção de estande pelo método da covariância do estande ideal, conforme descrito por Schmildt et al. (2006), sendo considerado 30 plantas o estande ideal. Para as análises estatísticas, inicialmente procedeu-se às análises de correlação fenotípica (r_f), genotípica (r_g) e ambiental (r_a) e a uma de regressão linear.

Para as correlações, foram utilizadas as seguintes expressões:

$$r_f = \frac{\text{Cov f}(x,y)}{\sqrt{\sigma_{fx}^2 \sigma_{fy}^2}}; \quad r_g = \frac{\text{Cov g}(x,y)}{\sqrt{\sigma_{gx}^2 \sigma_{gy}^2}}; \quad r_a = \frac{\text{Cov a}(x,y)}{\sqrt{\sigma_{ax}^2 \sigma_{ay}^2}}$$

Em que $\text{Cov f}(x,y)$, $\text{Cov g}(x,y)$ e $\text{Cov a}(x,y)$ = respectivamente, covariâncias fenotípicas, genotípicas e de ambiente entre as características x e y;

$\sigma_{fx}^2, \sigma_{gx}^2, \sigma_{ax}^2$ = respectivamente, variância fenotípica, genotípica e de ambiente da característica x; e

$\sigma_{fy}^2, \sigma_{gy}^2, \sigma_{ay}^2$ = respectivamente, variância fenotípica, genotípica e de ambiente da característica y.

Para a regressão, foi utilizada a expressão $Y_i = b_0 + b_1 X_i + \varepsilon_i$

Em que Y_i é a i-ésima observação da variável dependente;

x_j é a j-ésima observação da variável independente;

b_0 é um intercepto no eixo x;

b_1 é o coeficiente de inclinação da reta; e

ε_i é um resíduo para a i-ésima observação.

A significância dos coeficientes de correlação genotípica e do b_1 da regressão foram avaliados pelo teste t, em 5% e 1% de probabilidade (Steel e Torrie, 1980). Para as correlações fenotípica e ambiental foi utilizado o bootstrep com 5000 simulações.

Para verificar a colinearidade entre as características, foi feito o teste de multicolinearidade, segundo Montgomery e Peck (1981). Em seguida, fez-se o desdobramento dos coeficientes de correlação simples em efeitos diretos e

indiretos, dados pela análise de trilha. Para realização de todas as análises, foram utilizados os recursos computacionais do programa Genes (Cruz, 2013).

3.2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estimativas de correlação fenotípica (r_f), genotípica (r_g) e ambiental (r_a) são apresentadas na Tabela 7.

Dos 55 pares de combinações entre as onze características avaliadas, 41 apresentaram r_g significativo ao nível de 1 ou 5% de probabilidade, sendo que 27 foram positivas. Correlações genotípicas positivas indicam que a seleção objetivando ganho em uma característica provocará o mesmo efeito na outra.

Entre as 41 r_g significativas, 12 apresentaram magnitude superior às r_f e r_a Tabela 7, mostrando que a associação linear entre esses pares de características é mais influenciada pelos componentes genéticos do que pelos ambientais. Por outro lado, 27 r_g significativas foram menores que a respectiva r_a , o que mostra maior influência ambiental na determinação da associação linear entre essas características. O ambiente torna-se causa de correlações quando duas características são influenciadas pelas mesmas variações de condições ambientais, em que valores negativos dessa correlação evidenciam que o ambiente favoreceu uma característica em detrimento de outra e valores positivos de ambas foram beneficiados ou prejudicados pelas mesmas causas de variações ambientais (Falconer, 1987).

Nesse contexto, Hallauer et al. (2010) e Cruz e Carneiro (2006) ressaltam a importância de distinguir e quantificar o grau de associação genética e ambiental entre as características avaliadas, uma vez que as causas genéticas de correlação têm natureza herdável e podem auxiliar na orientação de programas de melhoramento.

A maior estimativa de r_f foi observada entre altura de planta (AP) e altura de espiga (AE), de 0,91, e a menor, de -0,60, entre capacidade de expansão (CE) e produtividade de grãos (PG), Tabela 7, sendo ambas as estimativas significativas pelo teste “t”. Entre as estimativas de r_g , a maior foi de 0,98 entre AP e AE e a menor foi observada entre CE e PG, de -0,66. E para r_a , observou-se a

maior estimativa entre AP e AE, de 0,98, e a menor entre CE e largura do grão (LS), de -0,76.

Tabela 7. Correlação fenotípica (r_f), genética (r_g) e ambiental (r_a) entre as onze características agrônômicas de híbridos dialélicos de milho-pipoca

Carac.		AP	AE	DC	M100	CE	PG	PR	CS	LS	ES
CO	r_f	-0,16 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	0,15 ^{ns}	-0,23 ⁺	0,48 ⁺⁺	-0,32 ⁺⁺	0,28 ⁺⁺	-0,30 ⁺⁺	-0,34 ⁺⁺	0,12 ^{ns}
	r_g	-0,12 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	0,26 [*]	-0,34 [*]	0,54 ^{**}	-0,31 ^{**}	0,44 ^{**}	-0,33 ^{**}	-0,45 ^{**}	0,15 ^{ns}
	r_a	-0,43 ⁺⁺	-0,38 ⁺⁺	-0,25 ⁺	-0,37 ^{ns}	0,59 ^{ns}	-0,34 ⁺⁺	-0,12 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,02 ^{ns}
AP	r_f		0,91 ⁺⁺	0,50 ⁺⁺	0,47 ⁺⁺	-0,22 ⁺	0,56 ⁺⁺	0,38 ⁺⁺	0,44 ⁺⁺	0,17 ^{ns}	-0,09 ^{ns}
	r_g		0,89 ^{**}	0,57 ^{**}	0,51 ^{**}	-0,30 [*]	0,60 ^{**}	0,44 ^{**}	0,49 ^{**}	0,24 ^{**}	-0,12 ^{ns}
	r_a		0,99 ⁺⁺	0,73 ⁺⁺	0,59 ⁺	-0,34 ^{ns}	0,68 ⁺⁺	0,29 ⁺⁺	0,55 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,03 ^{ns}
AE	r_f			0,51 ⁺⁺	0,43 ⁺⁺	-0,26 ⁺⁺	0,57 ⁺⁺	0,23 ⁺	0,52 ⁺⁺	0,21 ⁺	-0,23 ⁺
	r_g			0,59 ^{**}	0,46 ^{**}	-0,34 ^{**}	0,61 ^{**}	0,38 [*]	0,56 ^{**}	0,30 ^{**}	-0,31 ^{**}
	r_a			0,75 ⁺⁺	0,52 ^{ns}	-0,38 ^{ns}	0,68 ⁺⁺	0,54 ⁺⁺	0,63 ^{ns}	0,37 ^{ns}	-0,37 ^{ns}
DC	r_f				0,31 ⁺⁺	-0,07 ^{ns}	0,34 ⁺⁺	0,33 ⁺⁺	0,35 ⁺⁺	0,25 ⁺	0,02 ^{ns}
	r_g				0,39 ^{**}	-0,06 ^{ns}	0,40 ^{**}	0,34 ^{**}	0,47 ^{**}	0,35 ^{**}	0,02 ^{ns}
	r_a				0,08 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,31 ⁺⁺	0,04 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,01 ^{ns}
M100	r_f					-0,53 ⁺⁺	0,84 ⁺⁺	0,09 ^{ns}	0,74 ⁺⁺	0,56 ⁺⁺	0,16 ^{ns}
	r_g					-0,58 ^{**}	0,84 ^{**}	0,13 ^{ns}	0,75 ^{**}	0,57 ^{**}	0,17 ^{ns}
	r_a					-0,64 ^{ns}	0,92 ⁺⁺	-0,02 ^{ns}	0,82 ⁺⁺	0,70 ⁺⁺	0,14 ^{ns}
CE	r_f						-0,60 ⁺⁺	0,06 ^{ns}	-0,57 ⁺⁺	-0,51 ⁺⁺	0,26 ⁺
	r_g						-0,67 ^{**}	0,08 ^{ns}	-0,63 ^{**}	-0,59 ^{**}	0,31 ^{**}
	r_a						-0,74 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-0,72 ^{ns}	-0,76 ^{ns}	0,37 ^{ns}
PG	r_f							0,07 ^{ns}	0,83 ⁺⁺	0,47 ⁺⁺	-0,13 ^{ns}
	r_g							0,06 ^{ns}	0,83 ^{**}	0,51 ^{**}	-0,16 ^{ns}
	r_a							0,13 ^{ns}	0,91 ⁺⁺	0,67 ^{ns}	-0,04 ^{ns}
PR	r_f								-0,05 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	0,18 ^{ns}
	r_g								-0,10 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,26 [*]
	r_a								0,06 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,06 ^{ns}
CS	r_f									0,51 ⁺⁺	-0,33 ⁺⁺
	r_g									0,56 ^{**}	-0,40 ^{**}
	r_a									0,72 ⁺⁺	-0,08 ^{ns}
LS	r_f										-0,04 ^{ns}
	r_g										-0,03 ^{ns}
	r_a										-0,07 ^{ns}

CO= ciclo; AP= altura de planta; AE= altura da espiga superior; DC= diâmetro do colmo; M100= massa de cem grãos; CE= capacidade de expansão; PG= produtividade; PR= prolificidade; CS= comprimento do grão; LS= largura do grão; ES= espessura do grão; *, ** e ^{ns} significativo a 5 e a 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste t. ⁺,⁺⁺ significativo a 1 e 5%, respectivamente, pelo método de bootstrap com 5000 simulações

Para a característica CE, r_f e r_g foram significativas e positivas para ciclo (CO) e espessura do grão (ES) e negativa para AP, AE, massa de cem grãos (M100), PG, comprimento (CS) e largura do grão (LS) (Tabela 7). Entre CE e CO, a r_g foi de 0,54, indicando que o incremento no ciclo pode levar a ganhos em CE. A correlação genética entre CE e ES foi de 0,31. Resultados semelhantes foram observados por Broccoli e Burak (2004), que relataram correlação fenotípica significativa de 0,46 entre o volume de pipoca e a espessura do grão. Essa alta correlação pode estar diretamente ligada à forma do grão, em que grãos mais arredondados tendem a ter uma maior CE, corroborando trabalho de Lyerly (1942), que destacou a influência da forma do grão de milho-pipoca sobre a capacidade de expansão.

As correlações (r_g) negativas entre CE e AP e AE foram de -0,30 e -0,34, respectivamente, Tabela 7, mostrando que a diminuição de AP e AE pode incrementar a CE. Esses resultados podem ser explicados pela maior tendência de plantas maiores e com espigas mais altas ao tombamento e quebraimento do colmo, podendo assim expor as espigas e os grãos às intempéries ambientais, que podem resultar em danificação do pericarpo. Hosney et al. (1983) relataram que qualquer dano ao pericarpo do grão de milho-pipoca provoca diminuição acentuada na sua capacidade de expansão.

A CE obteve correlação negativa com PR e positiva com DC, porém ambas não significativas (Tabela 7). Contudo, Cruz e Carneiro (2006) relatam que um coeficiente de correlação de magnitude próxima ou igual a zero não implica falta de relação entre duas variáveis, mas ausência de relação linear entre essas variáveis.

Entre as características CE e PG, as de maior interesse em um programa de melhoramento de milho-pipoca, observou-se r_g negativa de 0,67. Resultados semelhantes foram observados por Lima et al. (1971), Dofing et al. (1991) e Coimbra et al. (2001). Carpentieri-Pípolo et al. (2002), estudando as correlações entre caracteres quantitativos em milho-pipoca, relataram um r_g de -0,265 entre CE e PG. Vale ressaltar que PG obteve correlação positiva com CS e LS e negativa com ES, porém para essa última não foi significativa. Esses resultados mostram a importância da forma que o grão tem sobre CE e PG, corroborando Broccoli e Burak (2005).

Por outro lado, Daros et al. (2004b), Freitas Júnior (2008) e Rangel et al. (2011) relataram correlação genética negativa entre capacidade de expansão e produtividade de -0,064, -0,065 e -0,066, respectivamente, não significativas pelo teste “t”, indicando ausência de correlação linear. Vale ressaltar que esses autores estimaram a correlação na mesma população de milho-pipoca sob seleção recorrente (UNB-2U). Nesse método de melhoramento, a intensidade de seleção é muito alta para ambas as características, podendo ter ocorrido, ao longo dos ciclos, quebra de correlação entre essas características.

A correlação negativa entre CE e PG também foi observada pela regressão linear, Figura 1, concordando com a análise de correlação (Tabela 7). Pode-se observar que o coeficiente angular foi significativo a 1% de probabilidade pelo teste “t”. Na equação da reta, nota-se que, quando há um acréscimo de 1 mL.g⁻¹ em CE, ocorre uma redução média de 101,11 kg.ha⁻¹ em PG. O coeficiente de determinação (R²) foi de 0,3608, significando que 36,08% da variação em PG é explicada por CE.

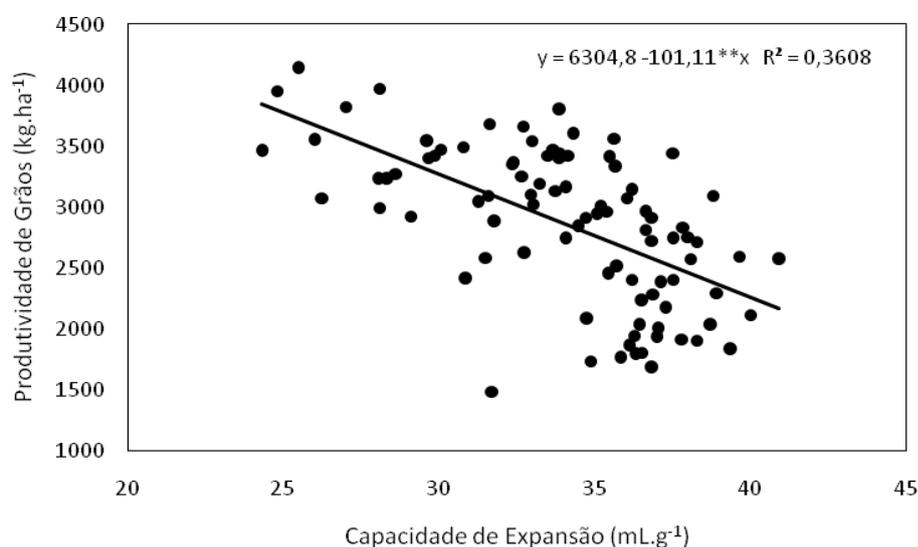


Figura 1. Regressão linear entre a capacidade de expansão (CE) e produtividade de grãos (PG) em 91 híbridos dialélicos de milho-pipoca. ** significativo a 1% de probabilidade pelo teste “t”.

A M100, o CS e a LS obtiveram correlação negativa com CE, de -0,58, -0,63 e -0,59, respectivamente (Tabela 7). Essas características estão diretamente ligadas à forma do grão, sendo que os grãos mais arredondados e menores

tendem a uma maior CE. Resultados que corroboram o relatado por Lyerly (1942), que concluiu que grãos arredondados têm maior CE do que grãos alongados. Rangel et al. (2011) relataram a possibilidade de seleção truncada de grãos menores para a obtenção de populações com alta CE e PG.

O número de condição (NC) observado foi de 70,79, cuja multicolinearidade observada é classificada como fraca, não causando danos à estatística de análise de trilha, de acordo com Montgomery e Peck (1981). Segundo Cruz e Carneiro (2006), na presença de multicolinearidade de moderada a severa, as variâncias associadas aos coeficientes de trilha podem atingir valores demasiadamente elevados, assumindo assim valores absurdos ou sem nenhuma coerência com o fenômeno biológico estudado.

Avaliando os efeitos diretos dos componentes primários sobre a variável principal (CE), nota-se que a maior magnitude foi de M100, seguida por CO, e as menores foram de AP e PG, respectivamente (Tabela 8). Porém, M100 e PG tiveram sentido contrário (negativo), evidenciando que um aumento nessas características pode influenciar negativamente a CE. Por outro lado, as características CO e ES tiveram sentido favorável (positivo), indicando que seu aumento pode resultar em ganhos em CE. Esses resultados estão consonantes com as correlações genéticas e fenotípicas mostradas na Tabela 7.

O maior efeito total sobre CE foi de PG, com -0,601, Tabela 8, porém nota-se que, desses efeitos, -0,307 foi de forma indireta via M100. O segundo maior efeito total foi observado por M100, de -0,529, em que o PG contribuiu de forma indireta com -0,216, evidenciando a importância (negativa) dessas características sobre a CE e a dificuldade de obtenção de cultivar com alta CE e PG, como já relatado por Pereira e Amaral Júnior (2001), Daros et al. (2004b), Freitas Júnior et al. (2006), Scapim et al. (2006), Tardin et al. (2007), Santos et al. (2007), Pajic et al. (2008), Vieira et al. (2009a), Vieira et al. (2009b) e Freitas Júnior et al. (2009).

Entre as características que obtiveram efeito total favorável sobre CE (CO e ES), o CO obteve a maior magnitude, com 0,475 (Tabela 8). Para ES, o efeito direto foi de 0,264 e o total, de 0,263. Esses resultados sugerem que é possível obter ganhos em CE com a seleção indireta em CO e ES. Segundo Cruz et al. (2006), a seleção simultânea de caracteres com ênfase nos efeitos diretos, cujas magnitudes são altas, pode resultar em ganhos na variável principal.

Tabela 8. Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis primárias sobre a capacidade de expansão (CE), obtidos por análise de trilha em milho-pipoca

Efeito	Variáveis Primárias				
	CO	AP	M100	PG	ES
Direto sobre CE	0,306	0,169	-0,365	-0,257	0,264
Indireto via CO		-0,048	-0,069	-0,096	0,038
Indireto via AP	-0,027		0,079	0,095	-0,015
Indireto via M100	0,083	-0,171		-0,307	-0,058
Indireto via PG	0,081	-0,145	-0,216		0,034
Indireto via ES	0,033	-0,023	0,042	-0,035	
Total	0,475	-0,219	-0,529	-0,601	0,263
R ² =0,524					
Efeito residual=0,689					

CO= ciclo, AP= altura de planta; M100= massa de cem grãos; PG= produtividade; ES= espessura do grão

A característica AP obteve efeito direto sobre CE favorável, porém de baixa magnitude, tendo sido observado ainda que o efeito total dessa característica foi negativo, indicando influência indireta das outras características primárias sobre AP. Essa observação sugere que a seleção indireta por essa característica não será eficiente em promover ganhos pelas respostas correlacionadas, mesmo com o efeito direto sendo favorável.

Para as variáveis primárias CO e ES, não foram observados efeitos diretos e indiretos das variáveis secundárias de magnitude alta que fossem suficientes para superar o respectivo efeito residual (Tabela 9). Esses resultados indicam que essas variáveis secundárias não são os principais componentes das variações observadas nas variáveis primárias, sendo a seleção indireta ineficaz nesses casos. Rangel et al. (2011), por meio de análise de trilha da capacidade de expansão e seus componentes em milho-pipoca, relataram que os componentes secundários não foram as principais causas das variações nas variáveis primárias.

Por outro lado, as variáveis secundárias AE, DC e CS obtiveram efeito total sobre AP de 0,907, 0,501 e 0,445, respectivamente, superando o efeito residual (0,303) (Tabela 9). Porém, os efeitos diretos de DC e CS são quase nulos, sendo o efeito indireto via AE sobre essas características o principal componente para a formação do efeito total de DC e CS sobre AP. Esses resultados mostram que a seleção indireta em AE é viável para obter ganhos em AP.

A característica secundária CS obteve efeito direto e total de alta magnitude sobre M100 e PG, que superaram os respectivos efeitos residuais (Tabela 9). A variável AE expressou efeito total sobre PG de 0,569, mas ao analisar o efeito indireto via CS sobre PG, nota-se que ele é a maior parte do efeito total de AE sobre PG. Assim, pode-se inferir que CS participa das variações de M100 e PG e que se pode fazer seleção indireta em CS para ganhos em M100 e PG.

Tabela 9. Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis secundárias sobre as primárias, obtidos por análise de trilha em milho-pipoca

Variáveis Secundárias	Efeitos	Variáveis Primárias				
		CO	AP	M100	PG	ES
AE	Direto	-0,320	0,865	0,048	0,190	-0,192
	Indireto via DC	0,178	0,000	-0,018	-0,026	0,072
	Indireto via PR	0,048	0,041	0,030	0,019	0,038
	Indireto via CS	-0,047	0,001	0,316	0,368	-0,183
	Indireto via LS	-0,062	0,001	0,053	0,018	0,032
	Total	-0,203	0,907	0,429	0,569	-0,232
DC	Direto	0,349	0,001	-0,036	-0,051	0,141
	Indireto via AE	-0,163	0,440	0,024	0,097	-0,098
	Indireto via PR	0,070	0,059	0,043	0,028	0,056
	Indireto via CS	-0,032	0,001	0,210	0,244	-0,122
	Indireto via LS	-0,074	0,001	0,063	0,022	0,038
	Total	0,151	0,501	0,305	0,340	0,016
PR	Direto	0,213	0,180	0,132	0,084	0,170
	Indireto via AE	-0,072	0,195	0,011	0,043	-0,043
	Indireto via DC	0,114	0,000	-0,012	-0,017	0,046
	Indireto via CS	0,005	0,000	-0,032	-0,037	0,018
	Indireto via LS	0,016	0,000	-0,014	-0,005	-0,008
	Total	0,276	0,375	0,086	0,069	0,183
CS	Direto	-0,091	0,002	0,607	0,705	-0,351
	Indireto via AE	-0,167	0,451	0,025	0,099	-0,100
	Indireto via DC	0,121	0,000	-0,012	-0,018	0,049
	Indireto via PR	-0,011	-0,009	-0,007	-0,004	-0,009
	Indireto via LS	-0,153	0,001	0,132	0,045	0,080
	Total	-0,301	0,445	0,744	0,828	-0,331
LS	Direto	-0,298	0,002	0,256	0,088	0,155
	Indireto via AE	-0,066	0,179	0,010	0,039	-0,040
	Indireto via DC	0,087	0,000	-0,009	-0,013	0,035
	Indireto via PR	-0,011	-0,010	-0,007	-0,005	-0,009
	Indireto via CS	-0,047	0,001	0,312	0,363	-0,181
	Total	-0,335	0,173	0,562	0,474	-0,040
R ²		0,303	0,853	0,616	0,722	0,188
Efeito Residual		0,834	0,382	0,619	0,526	0,901

CO= ciclo; AP= altura de planta; M100= massa de cem grãos; PG= produtividade; ES= espessura do grão; AE= altura da espiga superior; DC= diâmetro do colmo; PR= prolificidade; CS= comprimento do grão; LS= largura do grão

A Tabela 10 apresenta as estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis secundárias sobre a CE, obtidos por análise de trilha. Entre as variáveis secundárias, aquelas que obtiveram maior efeito total em CE foram CS, LS e AE. Porém, AE obteve efeito direto de magnitude baixa (-0,064) e, na composição do seu efeito direto sobre CE, foi observada grande contribuição das variáveis primárias M100 (-0,156), AP (0,153) e PG (-0,146).

Tabela 10. Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis secundárias sobre a capacidade de expansão (CE), obtidos por análise de trilha em milho-pipoca

Variáveis Secundárias	Efeito	Variáveis Primárias					ER	Total
		CO	AP	M100	PG	ES		
AE	Direto	-0,098	0,146	-0,017	-0,049	-0,051	0,004	-0,064
	Indireto via DC	0,054	0,000	0,007	0,007	0,019	0,023	0,109
	Indireto via PR	0,015	0,007	-0,011	-0,005	0,010	-0,024	-0,008
	Indireto via CS	-0,015	0,000	-0,115	-0,095	-0,048	0,038	-0,234
	Indireto via LS	-0,019	0,000	-0,019	-0,005	0,008	-0,033	-0,067
	Total	-0,062	0,153	-0,156	-0,146	-0,061	0,008	-0,265
DC	Direto	0,107	0,000	0,013	0,013	0,037	0,044	0,215
	Indireto via AE	-0,050	0,074	-0,009	-0,025	-0,026	0,002	-0,033
	Indireto via PR	0,021	0,010	-0,016	-0,007	0,015	-0,035	-0,012
	Indireto via CS	-0,010	0,000	-0,077	-0,063	-0,032	0,025	-0,156
	Indireto via LS	-0,023	0,000	-0,023	-0,006	0,010	-0,040	-0,081
	Total	0,046	0,084	-0,111	-0,087	0,004	-0,002	-0,066
PR	Direto	0,065	0,030	-0,048	-0,022	0,045	-0,106	-0,036
	Indireto via AE	-0,022	0,033	-0,004	-0,011	-0,011	0,001	-0,015
	Indireto via DC	0,035	0,000	0,004	0,004	0,012	0,015	0,070
	Indireto via CS	0,002	0,000	0,012	0,010	0,005	-0,004	0,024
	Indireto via LS	0,005	0,000	0,005	0,001	-0,002	0,009	0,017
	Total	0,084	0,063	-0,031	-0,018	0,048	-0,086	0,061
CS	Direto	-0,028	0,000	-0,221	-0,181	-0,093	0,073	-0,449
	Indireto via AE	-0,051	0,076	-0,009	-0,026	-0,026	0,002	-0,034
	Indireto via DC	0,037	0,000	0,005	0,005	0,013	0,015	0,074
	Indireto via PR	-0,003	-0,002	0,003	0,001	-0,002	0,006	0,002
	Indireto via LS	-0,047	0,000	-0,048	-0,012	0,021	-0,082	-0,167
	Total	-0,092	0,075	-0,271	-0,213	-0,087	0,014	-0,574
LS	Direto	-0,091	0,000	-0,094	-0,023	0,041	-0,160	-0,325
	Indireto via AE	-0,020	0,030	-0,004	-0,010	-0,011	0,001	-0,013
	Indireto via DC	0,026	0,000	0,003	0,003	0,009	0,011	0,053
	Indireto via PR	-0,004	-0,002	0,003	0,001	-0,002	0,006	0,002
	Indireto via CS	-0,014	0,000	-0,114	-0,093	-0,048	0,038	-0,231
	Total	-0,102	0,029	-0,205	-0,122	-0,011	-0,104	-0,515

CO= ciclo; AP= altura de planta; M100= massa de cem grãos; PG= produtividade; ES= espessura do grão; AE= altura da espiga superior; DC= diâmetro do colmo; PR= prolificidade; CS= comprimento do grão; LS= largura do grão. ER= Efeito Residual

Os maiores efeitos diretos sobre CE foram de CS, LS e DC, com -0,449, -0,325 e 0,215, respectivamente (Tabela 10). Por outro lado, DC obteve efeito total sobre CE negativo e de baixa magnitude, indicando que a seleção indireta por DC para ganho em CE não é viável.

As variáveis CS e LS obtiveram efeitos total e diretos de alta magnitude sobre CE, indicando uma relação de causa e efeito. Observou-se ainda grande contribuição das características primárias M100 e PG na composição dos efeitos diretos e totais de CS e LS sobre CE. Esses resultados corroboram aqueles mostrados na Tabela 8, em que os maiores efeitos diretos e totais sobre CE foram de M100 e PG. Resultados similares foram obtidos por Rangel et al. (2011), que concluíram que o M100 foi a variável com a maior associação (contrária) com a capacidade de expansão.

Contudo, ficou evidente que as variáveis primárias M100 e PG apresentam alta relação (contrária) com CE. E que as características secundárias CS e LS influenciam, de forma contrária, a CE, ratificando, assim, a dificuldade em obter cultivares de milho-pipoca com alta capacidade de expansão e produtividade de grãos, simultaneamente.

3.2.5 CONCLUSÕES

A análise de trilha mostrou que a massa de 100 grãos e a produtividade de grãos são as variáveis com maior associação, porém contrária, com capacidade de expansão.

O comprimento e a largura do grão têm influência direta negativa e a espessura, positiva sobre a capacidade de expansão.

3.3 CAPACIDADE COMBINATÓRIA E EFEITO RECÍPROCO DE CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS EM LINHAGENS TROPICAIS E TEMPERADAS DE MILHO-PIPOCA.

3.3.1 INTRODUÇÃO

Entre os denominados “milhos especiais”, o milho-pipoca tem exercido influência positiva em setores da economia nacional. Considerado uma cultura de elevada rentabilidade, seu produto final tem grande aceitação popular e movimenta muito a economia formal tanto quanto informal. Atualmente, em consequência do aprimoramento e da popularização de máquinas elétricas de pipocamento e fornos de micro-ondas, observa-se um crescente aumento no consumo deste grão nos últimos anos, sendo presença garantida nos mais diversos estabelecimentos comerciais do ramo de alimentos, seja nas grandes ou nas pequenas cidades do país (Moterle et al., 2011; Pena et al., 2012; Ribeiro et al., 2012; Vittorazzi et al., 2013).

A cultura do milho-pipoca sempre 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 Argentina (Freitas Junior et al., 2009b). Porém, devido a uma maior utilização de cultivares nacionais, tem-se observado redução na quantidade importada (Rangel et al., 2008).

No Registro Nacional de Cultivares do Mapa, atualmente existem 48 cultivares registradas, sendo a grande maioria pertencente a empresas

empacotadoras, que estabelecem acesso restrito de uso aos produtores parceiros. Barreto et al. (2012) relataram que na safra de 2010/2011 estiveram disponíveis no mercado nacional de sementes apenas três híbridos: IAC 112, IAC 125 e Zélia. Esse cenário revela uma grande limitação de cultivares nacionais disponíveis aos produtores, necessitando assim intensificar o melhoramento genético dessa cultura visando à obtenção e à disponibilização de cultivares com elevado potencial agronômico, adaptadas às condições edafoclimáticas brasileiras.

Contudo, a obtenção de híbridos depende da escolha dos genitores visando a uma boa complementação gênica dos caracteres agronômicos favoráveis (Hallauer et al., 2010). Entre esses métodos, destacam-se as análises dialélicas, na quais obtêm-se informações da capacidade geral e específica de combinação de um conjunto de genótipos, podendo inferir as melhores combinações híbridas (Cruz e Carneiro, 2006).

Vários trabalhos têm sido relatados envolvendo análise dialélica em diversas culturas, como feijão (Baldissera et al., 2012;), soja (Gavioli et al., 2008), trigo (Benin et al., 2009), sorgo (Monteiro et al., 2008) e milho (Lorenz et al., 2008; Moterle et al., 2011). Porém, há poucos trabalhos de análise dialélica em milho-pipoca envolvendo caracteres agronômicos, sendo que a grande maioria é de dialelos intervartais como os trabalhos de Sawazaki et al. (1986), Zanette (1989), Andrade (1995), Scapim et al. (2002), Andrade et al. (2002), Viana e Matta (2003), Freitas Júnior et al. (2006), Rinaldi et al. (2007), Rangel et al. (2007), Vieira et al. (2009a) e Miranda et al. (2008).

Com relação à quantidade de informações sobre dialelos entre linhagens de milho-pipoca, destacam-se os trabalhos de Larish e Brewbaker (1999), Pinto et al. (2007), Pajic et al. (2008), Viana et al. (2011), Vieira et al. (2011) e Moterle et al. (2012). Silva et al. (2010) fizeram um dialelo completo sem os recíprocos entre dez linhagens tropicais e temperadas e observam que as combinações híbridas $P_1 \times P_3$ e $P_3 \times P_7$ obtiveram alta capacidade de expansão e produtividade nos dois locais avaliados, Campos dos Goytacazes e Itaocara, norte e noroeste do estado do Rio de Janeiro, respectivamente.

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi avaliar os híbridos simples resultantes de um dialelo completo com os recíprocos em safra e safrinha e estimar a capacidade geral e específica de combinação e o efeito recíproco entre

dez linhagens de milho-pipoca, visando à obtenção de híbridos com caracteres agronômicas superiores.

3.3.2 REVISÃO

O milho-pipoca é muito apreciado como aperitivo no mundo inteiro e seu consumo tem se tornado crescente entre os brasileiros (Fachin et al., 1993; Silva et al., 2011; Moterle et al., 2012). Segundo a organização “Popcorn” (2010), a pipoca é tão difundida porque ela está sempre associada a lugares de diversão, tais como cinema, parques de diversão, arenas esportivas, circos, entre outros.

Os Estados Unidos da América se destacam como líder mundial tanto na produção como no consumo de milho-pipoca, com produção anual de 500 mil toneladas, movimentando cerca de 240 milhões de dólares por ano (Popcorn, 2010; Yoki, 2010). O Brasil é o segundo maior produtor, com produção anual de 80 mil toneladas (Mortele, 2010), embora haja uma carência muito grande de informações sobre área plantada, produção e quantidade importada (Silva, 2009).

Na última década, o mercado nacional de milho-pipoca vem passando por mudanças, refletindo-se na quantidade importada. Até o início do ano agrícola 2003/04, das 80 mil toneladas de milho-pipoca consumidas anualmente no Brasil, 75% correspondiam a grãos importados, principalmente da Argentina e Estados Unidos da América (Scapim et al., 2006; Rodovalho et al., 2008). Na safra 2004/05, segundo informações das empresas empacotadoras, foram importadas apenas cerca de 20 mil toneladas de grãos, isso em razão da utilização de híbridos americanos registrados pela Yoki e de cultivares nacionais em maior escala (Freitas Júnior et al., 2009a).

A cultura do milho-pipoca é considerada muito rentável ao produtor, pois com base em informações obtidas no Agrianual (2012), no ano de 2011, o preço médio pago pela saca de 30 kg de milho-pipoca foi de R\$ 42,60, o que corresponde a quase o triplo quando comparado com o preço do milho comum na mesma época. Considerando uma produtividade média de 2500 kg.ha⁻¹ e a possibilidade de duas safras por ano o produtor pode obter excelentes lucros com a cultura.

Apesar de tudo, há escassez de opções de cultivares aos produtores no mercado nacional que reúnam boas características agronômicas com alto índice de capacidade de expansão (Sawazaki, 2001; Andrade et al., 2002; Rangel et al., 2008; Rodovalho et al., 2008; Freitas Júnior et al., 2009b; Rangel et al., 2011), isso se devendo, em parte, à pequena quantidade de programas de melhoramento da cultura no país.

Uma boa cultivar de milho-pipoca deve ter alta produtividade e capacidade de expansão, porém esta combinação não é uma tarefa simples de ser alcançada, pois a correlação negativa entre os dois caracteres dificulta o êxito no trabalho de melhoramento (Pereira e Amaral Júnior, 2001; Daros et al., 2004b; Freitas Júnior et al., 2006; Scapim et al., 2006; Tardin et al., 2007; Santos et al., 2007; Pajic et al., 2008; Vieira et al., 2009a; Vieira et al., 2009b; Freitas Júnior et al., 2009b).

Refletindo-se diretamente no número de cultivares, atualmente apenas sete são plantadas comercialmente: Zélia (híbrido triplo), Jade (híbrido triplo), IAC 112 (híbrido simples modificado), IAC 125 (híbrido triplo), BRS Ângela (variedade), RS-20 (variedade) e UFVM2-Barão-Viçosa (variedade) (Scapim et al., 2010). O Instituto Agronômico de Campinas (IAC) está preparando o lançamento de dois híbridos triplos - o IAC HT 05 e o IAC HT 06 (IAC, 2010).

Segundo Barreto et al. (2012), na safra de 2010/2011, apenas os híbridos Zélia (híbrido triplo), IAC 112 (híbrido simples modificado) e o IAC 125 (híbrido triplo) estiveram disponíveis no mercado brasileiro de semente de milho-pipoca. Verifica-se, portanto, que, apesar dos avanços, o número de híbridos comerciais de milho-pipoca ainda é reduzido em relação à crescente demanda pelo produto (Andrade et al., 2002; Daros et al., 2004a; Freitas Júnior et al., 2006; Scapim et al., 2006; Rangel et al., 2007; Rangel et al., 2008; Santos et al., 2008; Vieira et al., 2009a).

Nesse contexto, o desenvolvimento de programas de melhoramento que visem a disponibilizar variedades e/ou híbridos com elevado potencial agronômico e adaptados às condições brasileiras é de suma importância para diminuir a dependência de cultivares estrangeiras (Moterle et al., 2012).

Contudo, o primeiro programa de melhoramento do milho-pipoca que se tem relato no Brasil foi o do Instituto Agronômico de Campinas (IAC) em 1932, embora muito timidamente. A primeira cultivar nacional foi lançada pelo IAC em

1947, via seleção massal. Após longos anos de estagnação, o programa de melhoramento só foi retomado no início da década de 80, culminando com o lançamento do híbrido simples modificado IAC 112 (Sawazaki et al., 2000). E um pouco antes a empresa Pioneer lançava o híbrido triplo Zélia (Freitas Júnior et al., 2009b).

Na década de 90, as seguintes cultivares foram lançadas: IAC 125, que é um híbrido derivado do híbrido IAC 112, registrado em 2006; a variedade de polinização aberta BRS Ângela, obtida de seleção recorrente do composto CMS-43, mas que tem o inconveniente da coloração branca dos grãos; e o RS 20, desenvolvido pelo Ipagro e UFVM2-Barão Viçosa.

No ano agrícola de 1991/92, foi feito o primeiro Ensaio Nacional de Milho-pipoca. Nesse ensaio, a capacidade de expansão média das cultivares brasileiras foi de $17,5 \text{ mL.mL}^{-1}$ e a média da melhor cultivar foi de $20,8 \text{ mL.mL}^{-1}$. Em comparação, na década de 40, a capacidade de expansão de híbridos e variedades comerciais norte-americanas já variava de $23,2$ a $32,7 \text{ mL.g}^{-1}$, mostrando, já naquela época, uma inferioridade na qualidade das variedades brasileiras e também um grande atraso nos programas brasileiros de melhoramento genético de milho-pipoca em relação aos norte-americanos (Andrade et al., 2002; Scapim et al., 2002; Simon et al., 2004).

Segundo Galvão et al. (2000), a capacidade de expansão de uma boa cultivar de milho-pipoca deve apresentar valores acima de 26 mL.mL^{-1} . Para Green e Harris (1960), população com capacidade de expansão menor que 25 mL.g^{-1} é considerada pobre, entre 25 e 30 é considerada regular e de 30 e 35, boa e acima de 35, excelente.

Nesse sentido, recentemente, novos programas de melhoramento de milho-pipoca foram criados no Brasil, especialmente pela iniciativa pública, entre eles, pode-se destacar o programa de melhoramento de milho-pipoca da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF).

Com a finalidade de disponibilizar aos produtores da região Norte e Noroeste Fluminense materiais com características agronômicas e comerciais desejáveis, a UENF desenvolve um Programa de Melhoramento de milho-pipoca em duas principais linhas de atuação: implementação de ciclos de seleção recorrente na população UNB-2U, ora designada UENF-14, e melhoramento

através de cruzamentos dialélicos entre variedades e, mais recentemente, entre linhagens.

Inicialmente, Pereira e Amaral Júnior (2001) avaliaram os componentes genéticos da população UNB-2U e concluíram que os maiores ganhos seriam com a utilização do método de melhoramento de seleção recorrente intrapopulacional. Atualmente, após a implementação de seis ciclos de seleção recorrente na população UNB-2U, foram obtidos acréscimos consideráveis nas principais características de importância econômica da cultura. Para capacidade de expansão, houve evolução de 19,25 para 31,13 mL.g⁻¹ e para rendimento de grãos, de 1.699,44 para 2.987,84 kg.ha⁻¹ (Rangel et al., 2008; Freitas Júnior et al., 2009b; Ribeiro et al., 2012), culminando com o lançamento da variedade UENF 14 em 2012.

Em relação ao melhoramento através de cruzamentos dialélicos, Freitas Júnior et al. (2006) avaliaram a capacidade combinatória de dez variedades no esquema de dialelos circulantes. Rangel et al. (2007) relataram que o híbrido intervarietal UNB 2U-C1xBRS ÂNGELA obteve superioridade de capacidade de expansão e produtividade para ambos os locais avaliados (Campos dos Goytacazes e Itaocara), e que tem potencial para ser utilizado pelos agricultores nas regiões Norte e Noroeste Fluminense.

As maiores expectativas de sucesso na obtenção de híbridos provêm do cruzamento entre linhagens preselecionadas (Paterniani e Miranda Filho, 1978; Vencovsky e Cruz, 1989; Hallauer et al., 2010). Nesse sentido, Silva et al. (2010), avaliaram dez linhagens em esquema de dialelos completos sem recíprocos, em Campos e Itaocara, Norte e Noroeste Fluminenses, respectivamente, e concluíram que os melhores híbridos foram P1 x P3, P2 x P4 e P3 x P7.

A obtenção de híbridos depende da escolha dos genitores visando a uma boa complementação gênica dos caracteres agronômicos favoráveis. Para tanto, Hallauer e Miranda Filho (1995) e Cruz e Carneiro (2006) ressaltam a importância das análises dialélicas para a obtenção de informações a respeito da resposta dos genitores em cruzamentos, da herança dos caracteres, da identificação de grupos heteróticos e da inferência sobre as melhores combinações híbridas. Entre as principais metodologias estão as de Griffing (1956b), Gardner e Ebehart (1966) e Hayman (1954).

Os métodos propostos por Griffing(1956B) destacam-se por não serem restritos ao tipo de pais utilizado, ao contrário dos métodos de Gardner e Eberhart(1966), que são recomendados quando os pais são variedades de polinização aberta, ou aqueles propostos por Hayman(1954), que são mais bem aplicados às linhas homozigóticas (Miranda et al., 2008). E as pressuposições requeridas pelas análises propostas por Hayman (1954) restringem o seu uso.

O método proposto por Griffing (1956 b) apresenta um conjunto máximo de p^2 genótipos, obtidos pelos cruzamentos entre p variedades, linhagens ou cultivares, cujos dados são dispostos em uma tabela dialélica ($p \times p$), sendo que X_{ii} representa o valor médio para a linhagem autofecundada de ordem i ; X_{ij} representa o valor médio para a F_1 resultante do cruzamento entre as linhagens i e j ; e X_{ji} representa a F_1 recíproca (Vencovsky, 1970; Cruz et al., 2004). A metodologia de Griffing (1956 b) apresenta quatro métodos: Método 1, em que são avaliadas as p^2 combinações (genitores, F_{1s} e recíprocos); Método 2, em que se avaliam as $p(p+1)/2$ combinações (genitores e F_{1s}); Método 3, em que se avaliam somente as $p(p-1)$ combinações (híbridos e recíprocos); e Método 4, em que se avaliam somente as $p(p-1)/2$ combinações (híbridos).

Os métodos podem ser analisados como modelo aleatório ou fixo, de acordo com a natureza amostral dos genitores (Ramalho et al., 1993; Cruz et al., 2004). O modelo fixo pressupõe que os efeitos genéticos sejam fixos, no qual os genitores têm propriedades genéticas particulares, e por isso, não correspondem a uma amostra da população. O modelo aleatório é quando os genitores utilizados representam a população, sendo possível estimar parâmetros genéticos populacionais (Cruz e Carneiro, 2006).

Sprague e Tatum (1942) introduziram os conceitos de capacidade geral (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC). Segundo estes autores, a CGC é o comportamento médio do genótipo em combinações híbridas, sendo relacionada aos efeitos aditivos dos genes; e a CEC é o comportamento que leva certas combinações a serem superiores ou inferiores em relação à média dos cruzamentos dos pais, pelo efeito de genes não aditivos, ou seja, dominância e/ou epistasia.

O efeito recíproco (ER) é a diferença entre o híbrido e o seu recíproco, ou seja, se há diferença estatística no caráter quando os genitores são invertidos.

Esse efeito está relacionado com a interferência dos genes citoplasmáticos do genitor feminino no fenótipo da progênie.

3.3.3 MATERIAL E MÉTODOS

Primeiramente foram avaliadas 37 linhagens em S_7 quanto à sua capacidade de expansão (CE). Para tanto, essas linhagens foram cultivadas em quatro linhas de cinco metros espaçadas em 1,00 m entre linhas e 0,20 entre plantas. Os tratos culturais foram realizados de acordo com o recomendado por Sawazaki (2001). Após, os grãos foram secos até a umidade de 13%, sendo, então, retiradas três amostras de 30 g de cada linhagem e levada para estourar em forno micro-ondas em pote apropriado na potência de 1000 W por um minuto e quarenta e cinco segundos. O volume de pipoca foi aferido em proveta de 2000 ml, sendo que seu quociente dividido por 30 (massa de grão) forneceu a CE de cada linhagem em mL.g^{-1} . Das 37 linhagens, foi feita uma preseleção com as que obtiveram as melhores CE, porém tomando-se o cuidado de selecionar pelo menos uma de cada genealogia disponível, sendo as dez linhagens preseleccionadas descritas na Tabela 1.

Para a obtenção dos híbridos dialélicos, cada linhagem foi semeada em quarenta linhas de dez metros, com o espaçamento de 1,00 m entre linhas e 0,20 m entre plantas, sendo os tratos culturais realizados de acordo com Sawazaki (2001). Os cruzamentos controlados foram entre todas as linhagens, ou seja, cada uma foi cruzada com as outras nove, compondo os 45 híbridos. Para verificar o efeito recíproco, os 45 híbridos tiveram os genitores invertidos, ou seja, o híbrido cujo genitor 1 foi utilizado como doador de grão de pólen e o genitor 2 como receptor de pólen é invertido, e o genitor 2 doa grão de pólen e o genitor 1 recebe e assim para os 45 híbridos, obtendo os 45 híbridos recíprocos, totalizando 90 híbridos simples.

As avaliações dos 90 híbridos e da testemunha IAC 112 foram feitas em duas épocas, safra (outubro a fevereiro) e safrinha (fevereiro a junho), no Colégio Estadual Agrícola Antônio Sarlo, em Campos dos Goytacazes, região Norte do estado do Rio de Janeiro, situado a $21^\circ 45'$ de latitude sul e $41^\circ 20'$ W de

longitude e a 11 m de altitude (Oliveira, 1996). Os dados meteorológicos foram coletados na estação meteorológica de observação de superfície automática do INMET em Campos dos Goytacazes-RJ, situada a 21° 71' latitude sul e 41° 34' W de longitude (Figura 2).

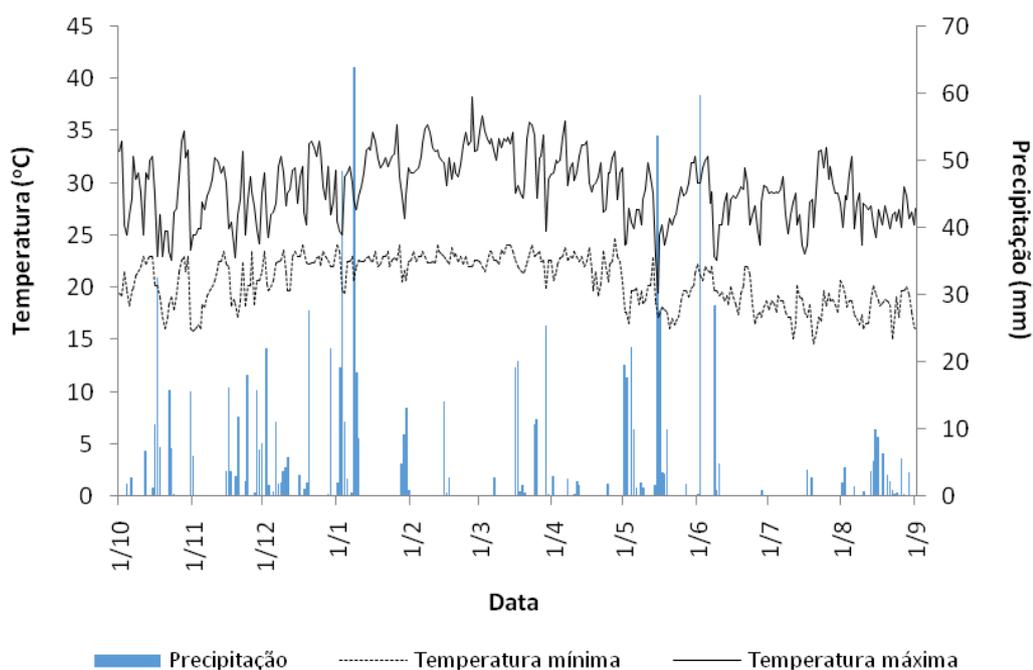


Figura 2. Temperatura máxima e mínima diária e precipitação pluviométrica diária do período compreendido entre 01 de outubro de 2011 a 01 de setembro de 2012.

Cada unidade experimental foi composta por duas linhas de três metros de comprimento, sendo o espaçamento entre linhas de 0,9 m e entre plantas de 0,20 m. A semeadura foi realizada a 0,05 m de profundidade com três sementes por cova, e aos 15 dias após a semeadura foi realizado o desbaste deixando apenas uma planta por cova. Todos os tratamentos culturais foram realizados de acordo com Sawazaki (2001), sendo utilizada irrigação por aspersão quando necessário.

As características avaliadas foram: Ciclo (CO)= dias da semeadura a colheita; Altura de planta (AP)= medida, em metros, do nível do solo à inserção da folha bandeira em dez plantas competitivas; Altura de espiga (AE)= medida, em metros, do nível do solo à inserção da espiga superior em dez plantas competitivas; Diâmetro do colmo (DC)= medido no terço inferior da planta com o auxílio de paquímetro digital, dado em milímetros; Massa de cem grãos (M100)=

determinada em balança analítica com precisão de três casas decimais, conforme descrito por Brasil (2009); Capacidade de expansão (CE)= aferida a massa de 30 g de grãos e levada ao micro-ondas em pote plástico especial para pipocamento na potência de 1000 W por um minuto e quarenta e cinco segundos e o volume da pipoca foi medida em proveta de 2000 ml, sendo que o quociente do volume pipocado dividido por 30 (massa de grão) forneceu a CE em mL.g⁻¹; Produtividade de grãos (PG)= determinada pela massa total de grãos da parcela e transformada para kg.ha⁻¹; Prolificidade (PR)= número médio de espiga por planta, avaliado em dez plantas competitivas; Comprimento (CS), largura (LS) e espessura do grão (ES)= medidos com o auxílio de um paquímetro digital, conforme descrito por Brasil (2009).

O experimento foi conduzido sob o delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições para safra e safrinha. Para PG, fez-se a correção de estande pelo método da covariância do estande ideal, conforme descrito por Schimldt et al. (2006), sendo considerado o estande ideal de 30 plantas. Para as análises estatísticas, primeiramente foi verificado se os dados atendiam as pressuposições básicas da análise de variância, após a verificação, foram feitas as análises individuais para cada época de plantio. O teste do F máximo, a 5% de probabilidade, não revelou heterogeneidade entre os quadrados médios do resíduo das análises individuais para todas as características, indicando possibilidade da realização da análise de variância conjunta. Assim, foi feita a análise de variância conjunta das épocas e após foi feito o teste de agrupamento de médias de Scott Knott para cada época. Tendo por base a análise de variância conjunta, as somas de quadrados de híbridos (H) e a da interação entre híbridos e épocas (HxE) foram decompostas em CGC, CEC e EF e nas interações de CGC, CEC e ER com as épocas (E), respectivamente, sendo, para tanto, utilizado o método III de Griffing (1956), com o modelo considerado fixo, dado:

$$Y_{ij} = m + g_i + g_j + s_{ij} + r_{ij} + \bar{\varepsilon}_{ij},$$

em que:

Y_{ij} = valor médio dos híbridos F_{1s} e recíprocos (i, j=1,2,...,p);

m = média geral;

g_i, g_j = efeito da capacidade geral de combinação do i-ésimo e j-ésimo genitor, respectivamente;

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

r_{ij} = efeito recíproco que mede as diferenças proporcionadas pelo genitor i, ou j, quando utilizado como macho ou fêmea no cruzamento ij; e

$\bar{\epsilon}_{ij}$ = erro experimental médio \sim NID (0, σ^2).

Nesse modelo, foi considerado $s_{ij}=s_{ji}$ e $r_{ij}\neq r_{ji}$.

Os estimadores das médias dos quadrados dos efeitos fixos associados a CGC ($\hat{\phi}_g$), CEC ($\hat{\phi}_s$) e ER ($\hat{\phi}_{rc}$) foram:

$$\hat{\phi}_g = \frac{(QMG - QMR)}{2(p-2)}; \hat{\phi}_s = \frac{(QMS - QMR)}{2} \text{ e } \hat{\phi}_{rc} = \frac{(QMRC - QMR)}{2},$$

em que:

p= número de genitores;

QMG= quadrado médio de CGC;

QMS= quadrado médio de CEC;

QMRc= quadrado médio de ER; e

QMR= quadrado médio do resíduo.

Para a análise de variância conjunta, têm-se:

$$SQGxE = \sum SQG_K - SQG;$$

$$SQSxE = \sum SQS_K - SQS; \text{ e}$$

$$SQRcxE = \sum SQRc_K,$$

em que:

SQGxE= soma de quadrado da interação entre CGC e épocas de semeio;

SQSxE= soma de quadrado da interação ente CEC e épocas de semeio;

SQRcxE= soma de quadrado da interação entre ER e épocas de semeio; e

K= número de épocas.

Os estimadores das médias dos quadrados dos efeitos fixos associados a SQGxE ($\hat{\phi}_{gs}$), SQSxE ($\hat{\phi}_{se}$), SQRcxE ($\hat{\phi}_{rcs}$) foram:

$$\hat{\phi}_{gs} = \frac{(QMGxE - QMR)}{2(p-2)}, \hat{\phi}_{se} = \frac{(QMSxE - QMR)}{p} \text{ e } \hat{\phi}_{rcs} = \frac{(QMRcxE - QMR)}{p}$$

3.3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados meteorológicos mostram que o total de pluviosidade no período em que o experimento esteve no campo na época da safra foi de 511,1 mm e da safrinha, de 394,4 mm, Figura 2, ou seja, no período de safra a pluviosidade foi 29,58% maior do que a observada na safrinha. Resultado esperado, uma vez que no período de safra ocorrem chuvas com maior frequência e mais intensas.

Em relação à temperatura, na safra, a maior foi de 35,6 °C, observada no dia 26 de janeiro, e a mínima, de 15,8 °C, no dia 01 de novembro de 2011; a temperatura máxima diária média foi de 29,36 °C e a mínima diária média, de 21,15 °C (Figura 2). Na safrinha, a maior temperatura máxima foi de 36,0 °C, observada no dia 06 de abril, e a menor mínima, de 14,6 °C, no dia 20 de julho; a máxima média foi de 28,56 °C e a mínima média, de 19,28 °C. Nota-se que as temperaturas médias máxima e mínima observadas na safra foram maiores do que as observadas na safrinha, porém a diferença não foi muito discrepante. Esses resultados sugerem que a temperatura não foi fator limitante para o cultivo de milho-pipoca na safrinha (2011) em Campos dos Goytacazes.

Fischer e Palmer (1984) relataram que para um grande número de populações de milho tropical a produtividade máxima de grãos foi alcançada na temperatura média de 24,8 °C. Segundo Shioga e Gerage (2010), as condições climáticas de radiação solar, temperatura do ar e precipitação podem ser fatores limitantes para o cultivo do milho safrinha, pois ao longo do ciclo da cultura a temperatura média diária tende a decrescer e a radiação solar, a diminuir por causa da redução do dia em relação à noite, e as chuvas se tornam mais esparsas e com menor intensidade.

3.3.4.1 AVALIAÇÃO DOS HÍBRIDOS DIALÉLICOS EM SAFRA E SAFRINHA

Para a fonte de variação híbridos (H), todas as variáveis avaliadas foram significativas a 1% de probabilidade pelo teste F, ou seja, há diferença estatística entre os híbridos de milho-pipoca avaliados (Tabela 11). A fonte de variação

épocas (E) foi significativa para CO, AP, AE, DC, PG, M100, PR e CS, mostrando diferença quando os híbridos foram cultivados na safra e na safrinha e que essas características são influenciadas pelo ambiente. Para a interação entre híbridos e épocas (HxE), as características AP, AE, CE, PG, M100 e PR foram estatisticamente significativas, evidenciando resposta diferenciada dos híbridos nas diferentes épocas de semeadura para essas características.

Tabela 11. Análise de variância conjunta, média de safra (M_{safra}) e safrinha (M_{safri}) e coeficiente de variação (CV%) dos 45 híbridos dialélicos e seus recíprocos e da testemunha (IAC 112) para as 11 características agrônômicas nas épocas de safra e safrinha

FV	Quadrados Médios										
	CO	AP	AE	DC	CE	PG	M100	PR	CS	LS	ES
H	28,8**	0,09**	0,04**	3,16**	111,7**	3168094**	17,10**	0,09*	1,55**	0,28**	0,34**
E	5616**	28,3**	17,64**	294,2**	0,04 ^{ns}	310648765**	333,1**	18,7**	22,4**	5,17 ^{ns}	0,01 ^{ns}
GxE	3,08 ^{ns}	0,02*	0,01*	1,47 ^{ns}	17,42**	576087**	2,99**	0,06**	0,25 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,09 ^{ns}
M_{safra}	117	2,00	1,04	14,64	34,03	3516	13,99	1,53	8,04	6,24	4,05
M_{safri}	122	1,60	0,73	13,37	34,04	2210	12,64	1,85	7,69	6,07	4,05
CV%	1,33	7,28	9,48	7,75	10,26	18,65	9,89	12,42	5,91	5,43	7,32

FV= fontes de variação; CO= ciclo; AP= altura de planta; AE= altura da espiga superior; DC= diâmetro do colmo; M100= massa de cem grãos; CE= capacidade de expansão; PG= produtividade; PR= prolificidade; CS= comprimento do grão; LS= largura do grão; ES= espessura do grão; H= híbridos; E= épocas; HxE= interação entre híbridos e épocas; *,** e ^{ns} significativo a 5 e a 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F

Segundo Troyer (1996), os efeitos significativos da interação entre os híbridos simples e locais são frequentemente verificados, uma vez que a estreita base genética dos híbridos simples permite resposta mais diferenciada frente aos locais de avaliação do que no caso de híbridos duplos ou cultivares de base genética mais ampla.

O conhecimento do ciclo (CO) de uma cultivar é de grande importância para o produtor, visto que, por meio dele, é possível programar a semeadura de modo que as fases críticas da cultura, como enchimento de grãos e colheita, coincidam com as épocas de menor probabilidade de déficit hídrico no solo ou excesso de pluviosidade, respectivamente, evitando assim perdas na produtividade. Nesse contexto, observou-se que o CO na safra (117 dias) foi, em média, menor que o da safrinha (123 dias) (Tabela 11). Resultados semelhantes

foram observados por Brunini (1997), que relataram que as semeaduras realizadas no período da safrinha, após o mês de fevereiro, fazem com que a planta de milho desenvolva a maior parte de seu CO em meses cuja taxa de acúmulo térmico de desenvolvimento diário é muito baixa, resultando em alongamento do ciclo.

A altura de planta (AP) e de espiga (AE) foi, em média, maior na safra do que na safrinha. Na safra, a média de AP foi de 2,00 m, enquanto a média na safrinha foi de 1,60 m. A AE média na safra foi de 1,04 m e na safrinha, de 0,72 m. O diâmetro do colmo (DC) também mostrou maior média na safra em relação à safrinha, 14,64 e 13,37 mm, respectivamente. Esses resultados podem ser explicados pelas melhores condições climáticas no período da safra, em que há maior produção de fotoassimilados e, conseqüentemente, maior AP, AE e DC.

Entre as principais características de uma boa cultivar de milho-pipoca, estão a alta capacidade de expansão (CE) e produtividade de grãos (PG). Nesse sentido, a CE não apresentou diferença significância entre a média da safra ($34,03 \text{ ml.g}^{-1}$) e da safrinha ($34,04 \text{ ml.g}^{-1}$). Esses resultados podem ser explicados pelo fato de essa característica ser governada por poucos genes (Lu et al., 2003; e Li et al., 2007a), sofrendo, assim, menor influência das variações ambientais. A média de PG safra foi de 3516 kg.ha^{-1} e na safrinha foi de 2210 kg.ha^{-1} . Resultado esperado, pois a produtividade de grãos é um caráter quantitativo, governado por muitos genes altamente influenciados pelas variações do ambiente (Li et al., 2007b).

Para a massa de cem grãos (M100), observou-se maior média na safra (13,99 g) em comparação com a safrinha (12,64 g). Esse resultado indica que M100 é influenciado pelo ambiente. Segundo Balbinot Jr. et al. (2005), essa característica é importante por apresentar correlação direta com a produtividade de grãos, concordando com os resultados mostrados na Tabela 7. Forsthofer et al. (2004) avaliaram a resposta de híbridos de milho a diferentes épocas de semeio e relataram que a menor produtividade de grãos na safrinha em relação à safra foi causada por menor peso de grãos na safrinha.

Para prolificidade (PR), observou-se que o número médio de espiga por planta foi menor na safra do que na safrinha, 1,53 e 1,85, respectivamente (Tabela 11). Esses resultados podem ser explicados pelo maior crescimento vegetativo na safra, Tabela 11, resultando em maior competição entre plantas.

Segundo Sangoi et al. (2002), essa maior competição estimula uma dominância apical de natureza hormonal do pendão sobre as espigas, suprimindo o desenvolvimento das gemas axilares, levando a uma menor quantidade de espigas.

Entre as características comprimento (CS), largura (LS) e espessura (ES) do grão, a única que obteve diferença significativa entre as épocas foi CS, com média de 8,04 mm na safra e 7,69 mm na safrinha, sendo que para LS e ES não houve diferença significativa entre as duas épocas (Tabela 11).

O coeficiente de variação (CV%) observado variou de 1,33 a 18,65%, para CO e PG, respectivamente (Tabela 11). Segundo a classificação para milho sugerida por Scapim et al. (1995), esses valores estão entre as faixas de baixo a médio. Pimentel-Gomes (1985) relata que o CV% dá uma ideia da precisão experimental, sendo que quanto mais baixo o CV%, maior a precisão.

As médias de CO, de acordo com o teste de agrupamento de médias, Tabela 12, foram agrupadas em quatro classes: a maior média foi observada para os híbridos L70xP1, P1xL70, P8xL70, P1xL76, P1xP3, com 121 dias; a menor, para o híbrido P3xL53, com 113 dias; e a testemunha IAC 112 obteve CO de 118 dias (Tabela 12). Atualmente há uma tendência de se diminuir o CO para cultivares modernas (Sawazaki e Paterniani, 2004), principalmente para locais onde são cultivadas na safrinha, assim, devem ser selecionados os híbridos com menor ciclo.

Tabela 12. Teste de agrupamento de médias Skott Knott dos 45 híbridos dialélicos e seus recíprocos e da testemunha (IAC 112) para as 11 características agrônômicas na época de safra

Híbridos	Ciclo	AP	AE	DC	CE	PG	P100	PR	CS	LS	ES
IAC 112	118b	1,86b	0,93b	13,64b	40,85a	2264,8c	12,53d	1,13b	7,67c	6,05b	4,06b
L70xP1	121a	1,95b	1,04a	14,65b	40,67a	3401,0b	13,98c	1,69a	8,04b	5,92b	4,25a
P10xP7	115d	2,12a	1,14a	15,17a	40,46a	3027,2b	13,65c	1,60a	7,55c	6,11b	4,06b
P8xP1	118b	1,91b	0,90c	14,48b	40,21a	2744,9c	12,20d	1,53a	7,21c	6,02b	3,95b
P8xP10	118b	2,15a	1,16a	14,83a	39,83a	2580,7c	12,04d	1,57a	7,32c	5,93b	4,11b
L53xP1	117b	1,97b	0,98b	13,97b	39,50a	3004,5b	12,18d	1,41b	7,50c	6,10b	4,35a
P8xL70	121a	2,05a	1,16a	15,56a	39,21a	2907,2b	13,20c	1,85a	7,78c	6,20b	4,33a
P8xL54	117c	2,06a	1,07a	15,09a	39,17a	3691,3a	15,24b	1,72a	8,06b	6,52a	4,27a
P1xL76	121a	1,56c	0,78d	14,58b	39,09a	3451,0b	13,41c	1,53a	7,53c	6,14b	4,42a
P7xP10	117b	1,87b	1,00b	14,53b	38,42a	2439,3c	12,76c	1,35b	7,31c	6,36a	3,95b
L70xP6	120a	2,08a	1,13a	15,75a	38,33a	3069,1b	13,64c	1,69a	7,46c	6,03b	4,04b
P6xP8	117c	2,05a	1,11a	14,82a	38,25a	3116,9b	12,56d	1,75a	8,02b	6,06b	3,87b
P1xL53	118b	1,96b	0,95b	14,83a	38,21a	2664,4c	13,55c	1,41b	7,42c	6,12b	4,04b
P10xP8	119b	2,02a	1,08a	16,54a	38,08a	2885,0b	11,26d	1,63a	7,38c	5,94b	4,01b
P8xP7	117b	2,13a	1,10a	16,21a	38,04a	3341,7b	13,49c	1,66a	7,93c	6,05b	3,99b
L70xP8	118b	2,08a	1,10a	15,04a	38,00a	3607,1a	13,97c	1,53a	8,36b	6,15b	3,91b
L70xL54	118b	1,93b	1,01b	13,63b	38,00a	3906,6a	15,97a	1,35b	8,38b	6,17b	4,08b
P1xL54	118b	1,92b	0,88c	14,13b	37,67a	2652,3c	13,73c	1,63a	7,51c	6,20b	4,44a
P7xP6	118b	1,86b	0,95b	14,39b	37,67a	2327,6c	11,68d	1,63a	7,93c	6,18b	3,55b
P7xP8	119a	1,96b	1,03a	13,86b	37,50a	3312,0b	11,70d	1,54a	7,53c	5,96b	4,12b
P7xL53	115d	2,00a	1,07a	14,10b	37,34a	3157,1b	13,05c	1,41b	7,99b	6,48a	3,95b
L53xP10	116c	2,09a	1,10a	13,72b	37,09a	3247,5b	14,31b	1,41b	8,11b	6,35a	4,26a
P8xP6	117c	1,98b	1,08a	14,90a	37,00a	2813,7c	11,81d	1,57a	7,95c	6,10b	3,82b
P10xP6	116c	1,94b	0,95b	14,71b	36,92a	3179,3b	13,79c	1,50a	7,87c	6,67a	3,86b
L54xP8	117c	1,98b	0,98b	14,58b	36,92a	3602,9a	14,81b	1,72a	7,98b	6,37a	4,24a
L53xP7	117c	1,90b	0,98b	13,40b	36,75a	3652,0a	14,30b	1,53a	8,04b	6,31a	4,08b
P8xL53	115d	2,14a	1,13a	14,25b	36,67a	3278,0b	14,77b	1,50a	8,16b	6,21b	4,28a
P1xP3	121a	1,93b	0,99b	14,70b	36,46a	2977,7b	12,16d	1,22b	7,35c	5,98b	4,03b
L53xP8	117c	2,08a	1,07a	15,15a	36,33a	3665,5a	14,35b	1,56a	8,08b	6,11b	4,26a
P6xP10	117c	1,97b	1,02a	15,19a	36,25a	2800,5c	13,07c	1,29b	7,82c	6,16b	4,10b
P10xL53	114d	2,14a	1,08a	13,87b	36,25a	3333,2b	14,94b	1,47b	7,96c	6,36a	4,29a
P7xP1	117c	1,80c	0,90c	14,29b	35,92a	2939,1b	12,22d	1,57a	7,59c	6,04b	3,95b
L76xP8	118b	1,98b	1,05a	15,27a	35,59a	3984,7a	14,15b	1,50a	8,78a	6,39a	3,79b
P1xL70	121a	1,91b	0,99b	14,60b	35,42a	3191,2b	13,66c	1,50a	7,81c	6,15b	4,39a
L76xP10	116c	2,09a	1,12a	15,00a	35,42a	4050,6a	15,06b	1,35b	7,92c	6,23b	4,12b
P1xP7	119a	1,66c	0,80d	13,50b	35,25a	2752,6c	12,03d	1,50a	7,48c	6,59a	3,64b
L76xP1	119a	1,83b	0,93b	14,58b	35,20a	3977,1a	13,48c	1,50a	7,88c	6,00b	4,05b
P6xL70	118b	2,23a	1,15a	15,67a	35,17a	3412,1b	13,65c	1,75a	7,73c	6,11b	3,96b
P10xL76	118b	1,80c	0,91c	14,47b	35,00a	3336,8b	12,84c	1,38b	8,01b	6,12b	4,06b
P7xL54	114d	1,97b	1,00b	13,85b	34,92a	3624,7a	15,06b	1,63a	8,38b	6,50a	4,19a

Tabela 12, cont.

Híbridos	Ciclo	AP	AE	DC	CE	PG	P100	PR	CS	LS	ES
P1xP6	120a	1,67c	0,80d	13,66b	34,89a	3006,7b	10,55d	1,69a	7,31c	5,83b	4,07b
P1xP10	120a	1,83b	0,98b	14,93a	34,75a	2371,3c	11,37d	1,56a	6,99c	5,84b	4,25a
P10xP1	119b	1,84b	0,94b	14,33b	34,72a	3069,0b	13,30c	1,35b	7,35c	6,28a	4,07b
P6xL70	119b	2,05a	1,05a	15,58a	34,70a	3717,9a	13,57c	1,85a	8,16b	6,02b	3,86b
L54xP7	116c	1,92b	1,03a	13,71b	34,67a	3620,8a	15,29b	1,57a	8,53a	6,38a	4,19a
L70xL53	118b	2,15a	1,13a	14,34b	34,50a	4056,1a	14,06c	1,66a	8,32b	6,07b	4,08b
L70xP7	118b	2,07a	1,15a	14,85a	34,37a	3680,4a	14,08c	1,47b	8,32b	6,28a	3,84b
P6xL76	117b	1,93b	1,07a	14,42b	34,25a	3709,6a	12,41d	1,53a	8,14b	5,96b	3,74b
P8xL76	117c	2,04a	1,10a	15,30a	34,19a	3765,7a	14,73b	1,35b	8,32b	6,10b	4,12b
L54xP1	118b	1,93b	0,96b	16,00a	33,83a	3300,3b	14,29b	1,66a	7,57c	6,31a	4,50a
P6xP1	117b	1,92b	0,93b	15,15a	33,59b	3096,6b	12,30d	1,69a	7,37c	6,44a	4,34a
L54xP6	116c	2,14a	1,03a	13,49b	33,58b	3041,8b	13,93c	1,72a	7,90c	5,89b	3,92b
P6xL54	115d	1,88b	0,98b	13,33b	33,56b	3378,6b	13,68c	1,79a	8,17b	6,32a	4,10b
L53xL70	118b	2,25a	1,20a	14,14b	33,50b	4219,6a	15,29b	1,63a	8,35b	6,23b	3,69b
P1xP8	118b	1,98b	1,00b	14,67b	33,20b	2920,1b	12,84c	1,60a	7,69c	6,20b	4,00b
P6xL53	115d	2,12a	1,04a	13,75b	33,00b	3717,6a	13,80c	1,54a	8,07b	6,32a	3,98b
L53xL76	118b	1,99b	1,05a	14,02b	32,84b	3841,7a	15,76a	1,19b	8,35b	6,20b	4,00b
P7xL70	118b	2,02a	1,07a	16,39a	32,83b	3815,0a	13,98c	1,63a	8,13b	6,05b	4,03b
P8xP3	116c	2,13a	1,19a	15,34a	32,83b	4055,0a	15,35b	1,41b	8,66a	6,68a	3,90b
L54xP10	115d	2,12a	1,10a	15,41a	32,59b	4404,6a	15,58b	1,82a	7,71c	6,31a	4,45a
P7xL76	117c	2,04a	1,14a	16,02a	32,58b	3913,4a	14,57b	1,72a	8,51a	6,15b	4,18a
L76xP6	117c	1,90b	1,04a	14,65b	32,50b	3750,0a	13,86c	1,31b	8,80a	6,35a	3,88b
P10xL54	115d	2,08a	0,99b	16,79a	32,34b	3837,0a	16,31a	1,57a	7,73c	6,47a	4,80a
P6xP7	117c	1,76c	0,88c	13,14b	32,17b	2294,2c	10,56d	1,37b	7,26c	6,19b	3,99b
L76xP7	117c	2,00a	1,09a	15,51a	32,17b	4227,4a	15,41b	1,57a	8,82a	6,42a	3,96b
L76xL70	120a	2,03a	1,07a	15,58a	31,75b	4314,9a	13,92c	1,66a	8,15b	5,82b	3,92b
P7xP3	114d	2,09a	1,04a	14,72b	31,75b	3886,6a	13,76c	1,57a	8,74a	6,33a	3,85b
P3xP7	115d	2,03a	1,02b	15,36a	31,75b	3657,2a	13,98c	1,38b	8,15b	6,32a	3,95b
L70xL76	120a	1,97b	0,98b	15,18a	31,33b	4013,1a	15,21b	1,44b	8,65a	6,21b	3,93b
L53xP6	114d	2,17a	1,08a	14,31b	31,17b	3569,2a	14,23b	1,35b	8,49a	6,35a	3,89b
L70xP6	118b	2,07a	1,10a	13,89b	31,09b	3412,4b	14,00c	1,56a	8,56a	6,35a	3,78b
L76xL53	116c	2,04a	1,10a	13,37b	30,89b	4707,7a	15,29b	1,10b	8,35b	6,71a	3,81b
P3xP1	115d	1,96b	1,02a	14,83a	30,83b	3577,1a	14,55b	1,44b	8,18b	5,97b	3,83b
L54xL70	119b	2,10a	1,06a	14,56b	30,67b	3661,9a	15,99a	1,75a	8,23b	6,06b	4,29a
L54xL53	115d	2,04a	1,09a	13,33b	30,63b	4258,2a	15,26b	1,69a	7,72c	6,29a	4,34a
P10xP3	115d	2,13a	1,18a	14,30b	30,50b	3865,6a	15,14b	1,41b	8,22b	6,75a	4,05b
L53xP3	116c	1,99b	1,02b	14,05b	30,42b	4253,5a	14,84b	1,29b	8,66a	6,42a	3,82b
L53xL54	114d	2,09a	1,08a	13,13b	30,00b	4050,9a	14,31b	1,78a	7,76c	6,14b	4,28a
P3xP8	114d	2,15a	1,15a	15,18a	29,67b	4148,3a	15,73a	1,44b	8,36b	6,52a	4,00b
P3xL53	113d	2,13a	1,12a	14,03b	29,49b	3909,0a	15,24b	1,38b	8,85a	6,50a	3,89b
P3xP6	117c	2,08a	1,15a	14,53b	29,42b	3520,8a	12,10d	1,60a	8,25b	6,23b	3,82b
P6xP3	115d	1,90b	0,94b	13,57b	29,25b	3814,4a	14,51b	1,38b	8,30b	6,57a	3,87b
P3xP10	116c	1,99b	1,07a	14,53b	28,42c	3624,4a	13,60c	1,50a	8,07b	6,59a	4,02b
L54xP3	116c	2,03a	1,02a	13,97b	27,88c	4122,7a	17,18a	1,56a	8,89a	6,52a	4,06b

Tabela 12, cont.

Híbridos	Ciclo	AP	AE	DC	CE	PG	P100	PR	CS	LS	ES
P3xL54	116c	1,97b	1,03a	14,80a	27,79c	3536,3a	16,15a	1,60a	8,21b	6,23b	4,17a
P3xL70	119b	2,29a	1,09a	15,34a	27,21c	3828,5a	14,48b	1,56a	8,43b	6,26a	4,01b
L76xL54	116c	2,14a	1,05a	14,77a	26,92c	4479,1a	16,89a	1,78a	8,46a	6,45a	4,37a
L54xL76	116c	1,87b	1,00b	14,91a	26,50c	3865,9a	14,51b	1,85a	8,27b	6,44 ^a	4,08b
L70xP3	118b	2,10a	1,14a	16,05a	25,75c	4398,1a	15,21b	1,41b	8,66a	6,63 ^a	3,68b
L76xP3	116c	1,93b	0,98b	14,70b	25,34c	4717,4a	17,08a	1,13b	8,70a	6,32 ^a	3,91b
P3xL76	117c	2,03a	1,12a	14,71b	23,00c	4641,3a	17,01a	1,60a	9,15a	6,55 ^a	3,73b

CO= ciclo; AP= altura de planta; AE= altura da espiga superior; DC= diâmetro do colmo; CE= capacidade de expansão; PG= produtividade; M100= massa de cem grãos; PR= prolificidade; CS= comprimento do grão; LS= largura do grão; ES= espessura do grão; ¹médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste Scott Knott

Para AP, observou-se a formação de três grupos, tendo uma variação de 1,56 a 2,29 m, para os híbridos P1xL76 e P3xL70, respectivamente (Tabela 12). A menor média de AE foi do híbrido P1xL76 de 0,78 m e a maior foi de 1,20 m obtida pelo híbrido L53xL70, sendo formados quatro grupos de médias. As médias de DC foram agrupadas em apenas dois grupos, sendo a menor obtida pelo híbrido L53xL54 (13,13 mm) e a maior, pelo P10xL54 (16,79 mm). A testemunha IAC 112 obteve 1,86 m de AP, 0,86 m de AE e 13,64 mm de DC.

Na região de Campos dos Goytacazes, há alta incidência de ventos fortes, o que acarreta maior tombamento e quebramento do colmo das plantas no campo e conseqüente perda na produtividade e na qualidade dos grãos. Segundo Li et al. (2007c), a AP e AE apresentam correlação positiva com o quebramento e o tombamento de plantas e o DC, correlação negativa. Assim, para diminuir o quebramento e o acamamento de plantas, devem ser selecionados híbridos com menor altura de planta e de espiga e maior diâmetro do colmo.

Entre as características mais importantes para o melhoramento do milho-pipoca, destacam-se a CE e a PG (Amaral Júnior et al., 2010). Assim, a variação de CE foi de 23,00 do híbrido P3xL76 a 40,85 mL.g⁻¹ obtido pela testemunha IAC 112, sendo formados três grandes grupos de médias (Tabela 12). Segundo Matta & Viana (2001), valores de CE entre 30 e 35 mL.g⁻¹ são considerados bons e acima de 35 são classificadas como excelentes. Porém, foram verificados vários híbridos com média de CE acima de 35 mL.g⁻¹ e que não diferiram

estatisticamente da média da testemunha, indicando existência de híbridos promissores quanto à CE.

O híbrido P3xL76 é formado pela combinação das linhagens P3 (tropical) e L76 (tropical e temperada), sendo que a baixa média de CE dos híbridos cuja linhagens tropicais são genitores era esperada, visto que, segundo Miranda et al. (2008), os genótipos de milho-pipoca tropicais, em geral, têm baixa média de CE.

De acordo com o teste de médias, observou-se para PG formação de três grupos: o híbrido L76xP3 foi o mais produtivo, com 4717,4 kg.ha⁻¹, e a testemunha IAC 112, a menos produtiva, com 2264,8 kg.ha⁻¹. Nota-se que a linhagem tropical P3, que compõe o L76xP3, era esperado que entre os genitores das melhores combinações híbridas pelo menos um fosse de procedência tropical, pois é sabido que essas linhagens têm melhor adaptação às condições ambientais da região onde foram conduzidos os experimentos, pelo fato de o processo de seleção ter sido feito em condições semelhantes.

Em relação à testemunha IAC 112, observou-se que ela tem uma alta CE, porém baixa produtividade. Resultados semelhantes com esse mesmo híbrido, em avaliações de safra em Campos dos Goytacazes-RJ, foram relatados por Freitas Junior et al. (2006), Rangel et al. (2006), Silva et al. (2010), Moreira et al. (2012) e Pena et al. (2012).

Os híbridos P8xL54, L70xL54 e L70xP8 obtiveram alta CE e PG, simultaneamente, sendo as médias de 39,17 e 3691,3, 38,00 e 3906,6 e 38,00 mL.g⁻¹ e 3607,1 kg.ha⁻¹, respectivamente (Tabela 12). Esses híbridos mostram grande potencial e devem ser testados em outros experimento a campo para avaliar seu real potencial.

A M100 está diretamente correlacionada com a produtividade de grãos Tabela 7, assim, os híbridos com maiores M100 tendem a ter maior produtividade. Nesse sentido, de acordo com a Tabela 12, o menor M100 foi obtido pelo híbrido P1xP6, com 10,55 g, e o maior, pelo L54xP3, com 17,18 g, e pelo agrupamento das médias, observou-se a formação de quatro grupos.

As médias de PR foram agrupadas em apenas dois grupos: a menor média foi de 1,10, para o híbrido L76xL53, e a maior, de 1,85 espigas por planta para P8xL70, L54xL76 e P6xL70 (Tabela 12). A formação de apenas dois grupos de médias indica baixa diversidade entre os híbridos avaliados para essa característica.

No mercado de grãos de milho-pipoca, há preferência, por parte dos consumidores, por grãos mais arredondados, chamados tipo Pérola, ou seja, grãos com menor comprimento e maior largura e espessura. Assim, para CS, a menor média foi obtida pelo híbrido P1xP10, com 6,99 mm, e a maior, pelo P3xL76, com 9,15 mm, sendo formados três grupos de médias para essa característica (Tabela 12). Para LS, a menor média (5,82 mm) foi obtida pelo híbrido L76xL70 e a maior, pelo híbrido P10xP3, com 6,75 mm, tendo as médias de LS formado dois grupos. O híbrido P7xP6 apresentou a menor média de ES, 3,55 mm, e a maior, 4,80 mm, foi obtida pelo P10xL54, sendo formados dois grupos de médias.

As médias de CO na safrinha foram agrupadas em três classes: a menor foi de 119 dias, para o híbrido P3xL53, e a maior média, de 129, para o P1xL70 (Tabela 13). Resultados semelhantes foram encontrados na safra, em que se observou que o híbrido P1xL70 está entre aqueles com maior CO e o P3xL53, entre aqueles com menor.

Tabela 13. Teste de agrupamento de médias Skott Knott dos 45 híbridos dialélicos e seus recíprocos e da testemunha (IAC 112) para as 11 características agrônômicas na época de safrinha

Híbridos	Ciclo	AP	AE	DC	CE	PG	P100	PR	CS	LS	ES
L70xP1	127a	1,64a	0,71b	12,85b	41,11a	1756,0c	12,20c	1,97a	7,31b	5,81b	4,18a
L53xP1	122c	1,55b	0,68b	13,23b	39,75a	2186,8b	10,41d	1,88a	7,00b	5,86b	4,14c
L76xP1	122c	1,53b	0,67b	13,62a	39,75a	2913,7a	12,00c	1,85a	7,93a	6,04b	4,14c
L70xP8	125b	1,81a	0,82a	13,83a	39,58a	2576,3b	13,79b	1,91a	7,34b	6,16a	4,19b
P7xL70	125b	1,67a	0,71b	13,78a	39,50a	2481,1b	14,26a	2,00a	7,98a	6,09a	4,19b
P10xP1	124b	1,54b	0,67b	13,19b	39,47a	1704,3c	10,83d	1,94a	7,27b	6,35a	4,12b
P1xL53	123c	1,49b	0,61c	12,34b	39,17a	1415,2c	12,28c	1,72a	6,97b	5,86b	4,41c
IAC 112	122c	1,50b	0,70b	12,18b	39,11a	1961,7c	10,13d	1,91a	7,35b	5,71b	3,89c
P7xP1	122c	1,52b	0,67b	14,12a	39,08a	1869,2c	10,98c	1,82a	7,56b	6,04b	3,97c
P1xL76	127a	1,29b	0,54c	11,98b	38,67a	1137,0d	12,34c	1,50a	7,57b	6,26a	4,15a
L53xP10	120c	1,70a	0,79a	13,37a	38,50a	2414,1b	12,71b	1,97a	7,26b	5,83b	4,38c
P8xP1	123c	1,49b	0,65b	13,40a	38,44a	930,1d	10,07d	1,91a	7,03b	5,82b	4,13c
P8xL53	121c	1,69a	0,83a	12,69b	38,33a	2221,1b	12,88b	1,72a	7,50b	5,77b	4,57c
P6xL70	125b	1,87a	0,84a	13,68a	38,09a	2524,4b	13,49b	2,04a	7,82a	6,24a	3,97b
P1xP6	125b	1,38b	0,58c	12,54b	38,09a	600,8d	11,68c	1,70a	7,31b	6,40a	4,27b
P7xP10	123c	1,51b	0,66b	13,50a	38,09a	1366,3c	10,62d	1,88a	6,88b	5,95b	3,97c
P8xP7	124b	1,51b	0,68b	12,86b	38,09a	1805,0c	11,79c	1,81a	7,69a	6,12a	3,76b
P1xP10	124b	1,46b	0,58c	13,20b	37,84a	1224,4d	11,50c	1,85a	6,93b	5,76b	4,22b
P7xP6	123c	1,64a	0,76a	12,58b	37,83a	1496,8c	11,46c	1,88a	7,82a	6,10a	3,84c

Tabela 13, cont.

Híbridos	Ciclo	AP	AE	DC	CE	PG	P100	PR	CS	LS	ES
L70xP6	128a	1,77a	0,79a	13,57a	37,59a	2434,6b	12,95b	1,94a	7,30b	5,82b	4,49 ^a
P1xP3	125b	1,53b	0,67b	13,15b	37,59a	1041,7d	13,48b	1,85a	7,26b	6,25a	4,00b
L54xP1	123c	1,53b	0,61c	13,47a	37,50a	1733,5c	12,39c	2,04a	7,39b	6,19a	4,54c
P7xL76	123b	1,57b	0,72a	13,89a	37,50a	1983,1c	14,77a	1,82a	8,52a	6,45a	4,13b
P1xL70	129a	1,47b	0,61c	12,59b	37,42a	886,6d	12,49c	1,94a	7,05b	6,21a	4,40a
P8xL70	128a	1,86a	0,90a	14,10a	37,33a	2515,1b	12,06c	2,00a	7,54b	6,03b	3,94a
P10xL53	120c	1,62a	0,74a	13,58a	37,33a	2489,3b	13,04b	1,88a	7,51b	6,10a	4,16c
L53xP8	121c	1,72a	0,82a	14,15a	36,89a	1963,5c	12,93b	1,82a	7,81a	5,88b	4,06c
P8xP6	121c	1,63a	0,78a	14,89a	36,67a	1754,2c	9,70d	1,94a	7,17b	5,66b	3,51c
P1xP8	125b	1,47b	0,62c	12,89b	36,50b	545,9d	10,03d	1,88a	6,47b	6,07a	4,35b
P1xP7	124b	1,31b	0,53c	11,55b	36,39b	786,8d	11,45c	1,82a	7,13b	6,09a	4,12b
P1xL54	123c	1,37b	0,51c	12,20b	36,31b	1224,5d	12,17c	1,63a	7,26b	5,95b	4,45c
P6xP8	123c	1,45b	0,65b	13,02b	36,25b	1239,3d	10,05d	1,85a	6,94b	5,69b	3,79c
P7xP8	121c	1,72a	0,78a	13,92a	36,08b	2129,2b	12,44c	1,82a	7,38b	5,61b	4,02c
L76xL70	127a	1,83a	0,86a	13,85a	35,92b	3301,8a	14,33a	2,04a	8,69a	6,42a	3,86a
P6xP10	124b	1,50b	0,66b	12,11b	35,92b	939,7d	10,05d	1,75a	7,31b	5,96b	3,90b
P6xP1	122c	1,49b	0,66b	12,85b	35,83b	1079,6d	9,86d	1,79a	7,13b	6,22a	3,83c
L76xP8	122c	1,66a	0,78a	13,75a	35,67b	2686,6b	12,54c	1,81a	7,91a	5,93b	4,32c
L70xL76	126b	1,72a	0,77a	13,83a	35,59b	2828,6a	14,85a	1,94a	8,38a	6,15a	4,06b
L76xP10	122c	1,65a	0,81a	14,32a	35,50b	2786,2b	13,08b	1,94a	7,99a	6,23a	4,37c
P10xL76	122c	1,65a	0,74a	14,04a	35,33b	2692,9b	14,20a	1,81a	8,07a	6,07a	4,23c
L54xP8	121c	1,67a	0,76a	12,98b	35,11b	2543,8b	13,28b	1,85a	7,84a	6,11a	4,24c
L76xP7	125b	1,56b	0,68b	13,12b	35,09b	2713,2b	12,97b	1,75a	8,24a	5,79b	3,92b
L53xL70	123c	1,74a	0,75a	13,31a	35,08b	2993,8a	14,68a	2,04a	7,80a	5,99b	4,13c
P3xP1	121c	1,54b	0,72a	13,36a	35,00b	2633,3b	14,27a	1,74a	7,65b	6,21a	3,71c
P7xL53	121c	1,57b	0,73a	12,85b	35,00b	1644,4c	12,43c	1,69a	8,00a	6,07a	4,00c
L70xP6	124b	1,64a	0,73a	13,38a	34,84b	3668,3a	13,31b	1,88a	7,94a	5,99b	3,79b
L53xL76	122c	1,55b	0,70b	13,03b	34,84b	2977,5a	14,25a	1,75a	7,99a	6,03b	4,04c
P6xL70	127a	1,76a	0,70b	13,96a	34,67b	2111,3b	13,01b	2,28a	7,54b	6,00b	4,01a
L76xL53	121c	1,56b	0,76a	13,03b	34,50b	2612,4b	13,82b	1,69a	7,99a	6,00b	3,88c
P10xP8	125b	1,53b	0,69b	13,15b	34,42b	1001,3d	9,71d	1,72a	7,63b	6,02b	4,36b
P10xL54	120c	1,66a	0,73a	13,29a	34,08b	2553,4b	14,95a	1,85a	7,50b	6,50a	4,70c
L54xL70	125b	1,65a	0,68b	13,08b	34,00b	3048,1a	15,79a	1,91a	8,17a	6,18a	4,34b
P10xP6	121c	1,57b	0,72b	13,58a	33,92b	1738,5c	10,22d	1,88a	7,74a	6,29a	3,92c
P8xL76	125b	1,57b	0,68b	14,96a	33,92b	1727,0c	11,59c	1,82a	8,17a	5,96b	4,20b
P8xP10	126b	1,63a	0,76a	13,43a	33,75b	795,3d	11,43c	1,97a	6,97b	5,98b	4,25b
L70xL53	123c	1,85a	0,86a	13,92a	33,72b	2789,5b	14,12a	1,94a	7,77a	5,67b	3,87c
L70xP7	124b	1,66a	0,78a	13,57a	33,33b	3208,5a	13,19b	2,13a	7,86a	6,27a	3,87b
L70xL54	124b	1,69a	0,78a	13,18b	33,17b	3222,0a	16,35a	1,97a	8,57a	6,22a	4,26b
P7xL54	121c	1,66a	0,72a	13,84a	33,17b	2708,4b	14,28a	1,88a	8,27a	6,55a	4,00c
P6xL76	123c	1,55b	0,69b	13,85a	33,17b	2556,4b	12,21c	1,78a	7,99a	5,91b	3,67c
P3xP7	121c	1,64a	0,80a	13,36a	33,00b	3077,7a	11,95c	1,78a	8,06a	6,12a	3,70c
L76xP6	122c	1,68a	0,77a	12,38b	32,75c	2757,3b	12,57c	1,85a	7,86a	5,85b	3,97c
P10xP7	121c	1,59b	0,79a	12,87b	32,50c	1452,2c	11,05c	1,97a	7,73a	6,11a	4,14c

Tabela 13, cont.

Híbridos	Ciclo	AP	AE	DC	CE	PG	P100	PR	CS	LS	ES
L53xP7	121c	1,64a	0,75a	13,66a	32,14c	2046,9c	10,99c	1,85a	7,31b	5,85b	3,99c
P3xL70	124b	1,84a	0,84a	13,74a	32,09c	2972,8a	13,41b	2,13a	7,92a	6,31a	4,02b
L54xP6	121c	1,55b	0,70b	12,21b	31,84c	2213,2b	11,03c	1,85a	7,35b	5,87b	3,80c
L53xP6	121c	1,59b	0,75a	12,54b	31,75c	1602,7c	10,87d	1,66a	7,74a	5,99b	3,77c
P8xL54	121c	1,61a	0,74a	13,87a	31,53c	2237,9b	13,09b	1,88a	7,65b	6,22a	3,86c
P7xP3	121c	1,58b	0,75a	13,52a	31,39c	2293,3b	13,60b	1,79a	8,52a	6,17a	3,67c
L54xP7	120c	1,48b	0,65b	13,39a	31,34c	2420,5b	11,74c	1,75a	7,47b	6,01b	4,02c
P6xP7	124b	1,35b	0,61c	11,66b	31,17c	678,6d	8,27d	1,75a	6,60b	5,37b	3,74b
P10xP3	122c	1,71a	0,80a	14,67a	31,00c	3121,4a	14,33a	1,82a	8,26a	6,30a	3,74c
L54xP10	121c	1,67a	0,71b	13,51a	30,61c	2963,5a	14,26a	1,75a	7,66b	6,40a	4,48c
P3xP8	121c	1,71a	0,77a	14,52a	30,42c	2792,7b	12,91b	1,85a	8,18a	6,45a	3,96c
P6xL54	120c	1,63a	0,74a	12,97b	29,92c	2394,9b	11,61c	1,78a	7,55b	5,83b	3,93c
P3xL53	119c	1,60a	0,83a	13,74a	29,67c	3187,4a	13,72b	1,78a	8,48a	6,34a	3,81c
P8xP3	122c	1,75a	0,91a	15,16a	29,64c	2041,5c	12,80b	2,00a	8,11a	6,45a	3,86c
L53xP3	121c	1,74a	0,83a	14,11a	29,25c	2593,0b	13,77b	1,91a	7,68a	6,04b	4,13c
L76xL54	121c	1,57b	0,70b	13,34a	29,25c	3460,1a	14,95a	1,83a	7,87a	6,23a	4,13c
P6xP3	121c	1,55b	0,66b	12,99b	28,92c	2033,7c	11,10c	1,85a	7,97a	6,24a	3,52c
P6xL53	122c	1,46b	0,64b	12,63b	28,64c	1123,0d	8,71d	1,65a	6,77b	5,26b	4,03c
L70xP3	125b	1,75a	0,85a	13,83a	28,25c	3245,7a	15,26a	1,91a	8,08a	6,43a	3,70b
P3xP10	121c	1,68a	0,82a	13,56a	28,17c	2848,0a	11,94c	1,82a	7,53b	6,04b	3,74c
L53xL54	120c	1,53b	0,71b	12,35b	27,17d	2496,1b	14,20a	1,88a	7,97a	6,32a	4,19c
P3xP6	121c	1,67a	0,76a	13,31a	26,75d	2463,1b	12,85b	1,63a	7,92a	6,23a	3,44c
P3xL76	121c	1,68a	0,84a	14,54a	26,59d	3265,5a	14,07a	1,78a	8,50a	6,30a	4,00c
L54xL76	122c	1,50b	0,66b	14,19a	25,92d	2279,0b	14,95a	1,88a	8,14a	6,28a	4,48c
L76xP3	122c	1,62a	0,78a	14,79a	25,59d	3580,0a	16,29a	1,82a	8,98a	6,35a	3,92c
L54xL53	120c	1,53b	0,67b	12,40b	25,42d	2220,1b	12,97b	1,72a	7,22b	6,03b	4,27c
L54xP3	120c	1,60a	0,79a	13,44a	24,08d	2991,6a	15,51a	1,78a	8,15a	6,34a	3,81c
P3xL54	120c	1,66a	0,76a	13,70a	20,83d	3400,4a	15,23a	1,94a	8,22a	6,27a	4,05c

CO= cilco; AP= altura de planta; AE= altura da espiga superior; DC= diâmetro do colmo; CE= capacidade de expansão; PG= produtividade; M100= massa de cem grãos; PR= prolificidade; CS= comprimento do grão; LS= largura do grão; ES= espessura do grão; ¹médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste Scott Knott

O tombamento e o acamamento de plantas podem ser reduzidos por seleção correlacionada com menor AP e AE e também com maior DC. Nesse sentido, as médias de AP formaram apenas dois grupos: a menor média foi do híbrido P1xL76, com 1,29 m, e a maior, do híbrido P6xL70, com 1,87 m (Tabela 13). As médias de AE variaram de 0,51 a 0,91 m para os híbridos P1xL54 e P8xP3, respectivamente, sendo formados três grupos. Para o DC, observou-se agrupamento das médias em dois grupos: a menor média, 11,55 mm, foi obtida pelo híbrido P1xP7, e a maior, pelo P8xP3, de 15,16 mm.

A CE alta é, sem dúvida, uma das características mais desejáveis em uma cultivar de milho-pipoca. Assim, para a época de safrinha, as médias de CE foram agrupadas em quatro grupos: a menor média, de 20,83, foi obtida pelo híbrido P3xL54, e a maior, de 41,11 mL.g⁻¹, pelo híbrido L70xP1 (Tabela 13). Em comparação, na época da safra, o híbrido P3xL54 obteve média de 27,79 e o L70xP1, média de 40,67 mL.g⁻¹, consonante com o observado na Tabela 11, que indicou que a CE é pouca influenciada pelo ambiente, tendo sido observada resposta distinta dos híbridos em cada época.

Para as melhores combinações híbridas de CE, era esperado que as linhagens temperadas (P6 e P7) estivessem como genitoras, porém não foi o observado, sendo a melhor combinação híbrida (L70xP1) entre duas linhagens, ambas consideradas tropicais e temperadas. A pior média de CE foi do P3xL54, que é a combinação entre duas linhagens tropicais.

As médias de PG formaram quatro grupos: a menor média foi obtida pelo híbrido P1xP8, com 545,9, e a maior, pelo L70xP6, com 3668,3 kg.ha⁻¹ (Tabela 13). Na época da safra, esses mesmos híbridos, P1xP8 e L70xP6, obtiveram médias de 2920,1 e de 3069,1 kg.ha⁻¹, respectivamente. Esses resultados corroboram aqueles encontrados por Duarte e Paterniani (1998), que relataram que a adaptação de cultivares a uma determinada região produtora varia com a época de semeadura, de maneira que, em cultivo de safrinha, as cultivares mais bem adaptadas não são necessariamente as mesmas da safra de verão.

O híbrido com maior PG foi entre uma linhagem tropical (L70) e outra temperada (P6), Tabela 1, indicando que uma maior distância genética entre elas pode ter favorecido a complementação gênica e, conseqüentemente, uma alta heterose. Por outro lado, a menor média foi observada na combinação híbrida entre duas linhagens consideradas simultaneamente tropical e temperada (P1 e P8). Era esperado que, entre as linhagens genitoras dos melhores híbridos, pelo menos uma fosse tropical, na medida em que elas são mais adaptadas ao clima do local onde foram conduzidos os experimentos, porém os programas de melhoramento priorizam a seleção na época da safra.

Na safrinha, a testemunha IAC 112 apresentou média de CE e de PG de 39,11 mL.g⁻¹ e 1961,7 kg.ha⁻¹ respectivamente. Quando esses valores são comparados com os valores apresentados na safra, observa-se que são similares,

com 40,85 mL.g⁻¹ e 2264,8 kg.ha⁻¹. Esses resultados indicam uma estabilidade na resposta do IAC 122 em relação ao cultivo em safra e safrinha.

O L76xP1 foi o único híbrido que obteve médias de CE e PG no grupo das maiores médias para ambas as características, com 39,75 mL.g⁻¹ e 2913,7 kg.ha⁻¹, respectivamente (Tabela 13). Esse mesmo híbrido obteve média de CE de 35,20 mL.g⁻¹ e de 3977,1 kg.ha⁻¹ para PG na safra, Tabela 12, mostrando ser um híbrido promissor que deve ser avaliado em novos experimentos a campo.

Para M100 houve formação de quatro grupos de médias, que variaram de 8,27 a 16,35 g para os híbridos P6xP7 e L70xL54, respectivamente (Tabela 13). Comparando com a safra, observou-se que a amplitude entre a menor e a maior média foi similar.

As médias de PR formaram apenas um grupo, mostrando que não há diferença significativa entre as médias e a baixa variabilidade entre os híbridos para essa característica.

Para CS, observou-se que as médias se agruparam, formando dois grupos, sendo a menor média obtida pelo híbrido P1xP8 e a maior, pelo híbrido L76xP3, com 6,47 e 8,98 mm, respectivamente. As médias de LS também formaram dois grupos, sendo a menor de 5,26, obtida pelo híbrido P6xL53, e de 6,55 mm, obtida pelo P7xL54. O ES apresentou três grupos de médias, a menor de 3,44 e a maior 4,70 mm, obtidas pelos híbridos P3xP6 e P10xL54, respectivamente.

3.3.4.2 ANÁLISE DA CAPACIDADE DE COMBINAÇÃO E EFEITO RECÍPROCO DE LINHAGENS TROPICAIS E TEMPERADAS DE MILHO-PIPOCA EM ÉPOCAS DE SAFRA E SAFRINHA.

3.3.4.2.1 ANÁLISE CONJUNTA DA CAPACIDADE DE COMBINAÇÃO E EFEITO RECÍPROCO PARA SAFRA E SAFRINHA.

Para uma melhor estimativa dos efeitos da análise de capacidade de combinação, em razão da estimação de suas interações com as épocas de

plântio, foi feita análise conjunta. Assim, a soma de quadrados médios da fonte de variação híbridos (H) foi desdobrada em capacidade geral (CGC) e específica de combinação (CEC) e efeito recíproco (ER), e a interação HxE foi desdobrada nas interações de CGC, CEC e ER com as épocas de plântio (E) (Tabela 14).

As características CO, CE, PG M100, CS e ES foram estatisticamente significativas para CGC e CEC, simultaneamente, Tabela 14, indicando existência de efeitos aditivos e não aditivos no controle gênico dessas características. Resultados semelhantes foram observados por Pinto et al. (2001), Andrade et al. (2002), Scapim et al. (2002), Malik et al. (2004), Freitas Junior (2006), Paterniani et al. (2008), Rangel et al. (2009) e Silva et al. (2010).

Tabela 14. Quadrados médios da capacidade geral (CGC) e específica de combinação (CEC), dos efeitos recíprocos (ER), sua interação com as épocas (E) e média dos quadrados dos efeitos fixos para os 11 caracteres agrônômicos de milho-pipoca avaliados nas épocas de safra e safrinha

FV	Quadrados Médios										
	CO	AP	AE	DC	CE	PG	M100	PR	CS	LS	ES
Híbrido	29,14**	0,09**	0,04**	3,08**	109,8**	3152544**	16,94**	0,09*	1,56**	0,27**	0,34**
CGC	222,3**	0,68**	0,34**	15,9**	836,5**	23911784**	135,6**	0,47 ^{ns}	11,9**	1,06 ^{ns}	2,36**
CEC	5,57**	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,64 ^{ns}	44,48**	867736*	4,54*	0,05 ^{ns}	0,38*	0,20*	0,15*
ER	8,83**	0,03 ^{ns}	0,02**	1,63 ^{ns}	15,32 ^{ns}	777768*	2,83 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,41*	0,17 ^{ns}	0,10 ^{ns}
HxE	3,06 ^{ns}	0,02*	0,01 ^{ns}	1,48 ^{ns}	17,55**	559687**	3,01**	0,06**	0,25 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,09 ^{ns}
CGCxE	5,81*	0,04*	0,01 ^{ns}	2,92**	69,90**	1444966**	6,61**	0,20**	0,59**	0,40**	0,16*
CECxE	2,24 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01*	1,41 ^{ns}	12,23 ^{ns}	497887**	2,55*	0,05 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,06 ^{ns}
ERxE	3,15 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,01*	1,25 ^{ns}	11,21 ^{ns}	430697*	2,64*	0,04 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,09 ^{ns}
Média dos quadrados dos efeitos fixos											
CGC	1,69	0,005	0,003	0,106	6,34	182367	1,033	0,003	0,090	0,007	0,017
CEC	0,03	-0,001	0,001	-0,044	1,24	18684	0,066	-0,002	-0,003	-0,001	-0,001
ER	0,23	0,000	0,001	-0,045	-0,57	13061	-0,041	-0,002	-0,002	-0,003	-0,005

FV= fontes de variação; CO= ciclo; AP= altura de planta; APE= altura da espiga superior; DC= diâmetro do colmo; M100= massa de cem grãos; CE= capacidade de expansão; PG= produtividade; PR= prolificidade; CS= comprimento do grão; LS= largura do grão; ES= espessura do grão; *, ** e ^{ns} significativo a 5 e a 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste F

Para CGC, a característica LS foi não significativa, mas foi significativa para CEC, indicando ser ela controlada por efeitos não aditivos. As características AP, AE e DC foram não significativas para CEC, mostrando que no controle gênico dessas características há apenas efeitos aditivos, Tabela 14, sendo esses resultados similares aos observados por Paterniani et al. (2008) e Pfann et al. (2009).

A PR foi não significativa para CGC, CEC e ER, indicando pouca variabilidade entre os híbridos para essa característica. Freitas Júnior et al. (2006), avaliando um dialelo circulante entre dez populações de milho-pipoca, observaram que a altura de planta foi não significativa para CGC e CEC.

O efeito recíproco foi significativo para CO, AE, PG e CS, mostrando que, para essas características, há diferença significativa entre os híbridos e seus recíprocos e que pode haver ganhos ao se inverter os genitores no cruzamento. Resultados similares foram observados por Andrade et al. (2002), que, avaliando seis variedades de milho-pipoca em um dialelo completo com recíprocos, observaram efeito recíproco para altura de plantas e peso de grãos.

A interação entre a capacidade geral de combinação e épocas de plantio (CGCx E) foi significativa para CO, AP, DC, CE, PG, M100, PR, CS, LS e ES (Tabela 14), indicando a existência de genitores específicos para cada época de plantio. Resultados semelhantes foram observado por Freitas Junior et al. (2006) e Rangel et al. (2007). Silva et al. (2010), avaliando um dialelo completo sem os recíprocos entre dez linhagens de milho-pipoca, observaram significância de CGCx E para altura de planta, altura de espiga, dias para o florescimento e produtividade de grãos.

A interação entre a capacidade específica de combinação e épocas de plantio (CECx E) foi significativa para AE, PG e M100, Tabela 14, evidenciando que o desempenho dos híbridos foi distinto entre as épocas de plantio para essas características. Silva et al. (2010) relataram significância de CECx E para AE e PG em milho-pipoca. Pinto et al. (2001) observaram CECx E significativa para produtividade de grãos em milho comum. Por outro lado, Pfann et al. (2009), avaliando a capacidade de combinação entre onze híbridos simples de milho comum, observaram que a CECx E foi não significativa para produtividade de grãos, altura de planta e espiga.

A interação entre o efeito recíproco e épocas de plantio (ERxE) foi significativa para AE, PG e M100, mostrando que, para essas características, houve diferença do efeito recíproco nos híbridos entre as épocas de plantio.

A Tabela 14 mostra que as médias dos quadrados dos efeitos fixos associados à CGC para as características CO e M100 foram maiores que as dos efeitos associados à CEC, indicando maior predominância dos efeitos aditivos no controle gênico para essas características. Andrade et al. (2002), avaliando um dialelo completo com recíprocos entre seis variedades de milho-pipoca, observaram maior predominância de efeitos aditivos para peso de grãos.

Para CE também, observou-se predominância dos efeitos aditivos em relação aos não aditivos, Tabela 14, o que está em consonância com os resultados obtidos por Pereira e Amaral Júnior (2001), Simon et al. (2004), Freitas Júnior et al. (2006), Rangel et al. (2007) e Silva et al. (2010). Vieira et al. (2011), avaliando a capacidade de combinação entre dez linhagens de milho-pipoca em um dialelo parcial, relataram importância maior dos efeitos aditivos no controle da capacidade de expansão.

As médias dos quadrados dos efeitos fixos associados à CGC para PG foram maiores que as dos associados à CEC, Tabela 14, evidenciando maior importância dos efeitos aditivos em relação aos não aditivos no controle gênico dessa característica. 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. Porém, resultados similares foram obtidos por Gama et al. (1995), Pinto et al. (2001), Scapim et al. (2002), Paterniani et al. (2008) e Vieira et al. (2011).

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. Nesse sentido, quando se trabalha com linhagens com um grau de parentesco, ou seja, provenientes de uma mesma população, pode ocorrer similaridade dos loci que controlam a característica e assim não obter uma complementação genética nos híbridos que expressem os efeitos de dominância gênica, acarretando diminuição do efeito de CEC. Porém, esse não é o caso deste trabalho, pois as linhagens são provenientes de populações distintas, como pode ser observado na Tabela 1.

Por outro lado, a estimativa de CEC é um desvio das estimativas de CGC dos respectivos genitores e da média geral, nesse sentido, se as estimativas de CGC e da média forem altas, podem influenciar na diminuição de CEC e levar a uma menor importância dela em relação à CGC, sendo esta uma explicação mais plausível para os resultados obtidos. Ferrão et al. (1985) relataram que, dependendo do conjunto de genótipos, podem ocorrer estimativas de CGC elevadas, que podem resultar em baixa estimativa CEC.

Para as características CS e LS, os componentes quadráticos dos efeitos fixos associados à CGC foram maiores de que os associados à CEC, mostrando o predomínio dos efeitos aditivos no controle gênico dessas características.

3.3.4.2.2 ANÁLISE DA CAPACIDADE DE COMBINAÇÃO E EFEITO RECÍPROCO PARA ÉPOCA DE SAFRA

A Tabela 15 apresenta as estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (\hat{g}_i) para as dez linhagens de milho-pipoca cultivadas na safra. Nesse sentido, valores baixos de \hat{g}_i indicam que os híbridos de que a linhagem “*i*” participa não diferem muito da média geral do dialelo, já valores altos, positivos ou negativos indicam que os híbridos de que a linhagem “*i*” participa estão muito acima ou muito abaixo, respectivamente, da média geral do dialelo.

Em cultivares modernas, há tendência de diminuição do ciclo (CO), assim, devem ser selecionadas para os cruzamentos linhagens que tenham \hat{g}_i de alta magnitude, porém negativo. As linhagens que se destacaram com menor \hat{g}_i para CO foram: L53, P3 e L54, com estimativas de -1,42, -1,28 e -1,10, respectivamente. Por outro lado, as linhagens L70 e P1 obtiveram as maiores \hat{g}_i , devendo ser evitadas em cruzamento para a diminuição do CO.

Em Campos dos Goytacazes, há alta incidência de fortes ventos, tornando necessária a indicação aos produtores de cultivares que ofereçam maior resistência ao acamamento e quebramento de plantas. Assim, linhagens com menor estimativa de \hat{g}_i para AP e AE e maior para DC são desejáveis. De acordo com a Tabela 15, as linhagens que se destacaram para AP com menores estimativas de \hat{g}_i foram: P1, L76, P7 e P6, com -0,15, -0,05, -0,05 e -0,04,

respectivamente. Para AE foram: P1, P6, P7 e L54. As linhagens P8, L70, P10 e L76 obtiveram as maiores estimativas de \hat{g}_i para DC. A única linhagem que obteve estimativa de \hat{g}_i favorável para as três variáveis foi a L76, porém as estimativas não superaram a diferença mínima significativa (DMS).

Tabela 15. Estimativa dos efeitos da capacidade geral de combinação (\hat{g}_i) e desvio padrão (DP) das dez linhagens de milho-pipoca cultivadas na época da safra

Linhagens	CO	AP	AE	DC	CE	PG	M100	PR	CS	LS	ES
P1	1,90	-0,15	-0,12	-0,11	2,39	-528,33	-1,27	-0,01	-0,57	-0,14	0,11
P3	-1,28	0,05	0,04	0,06	-5,21	436,47	1,00	-0,11	0,44	0,18	-0,14
P6	-0,45	-0,04	-0,03	-0,39	-0,12	-330,14	-1,23	0,03	-0,03	-0,03	-0,15
P7	-0,49	-0,05	-0,02	-0,04	1,46	-242,60	-0,66	0,00	-0,04	0,02	-0,09
P8	0,46	0,05	0,05	0,46	3,10	-195,59	-0,50	0,05	-0,08	-0,06	0,01
P10	-0,26	0,03	0,03	0,38	1,84	-313,56	-0,37	-0,03	-0,39	0,01	0,10
L53	-1,42	0,08	0,03	-0,75	0,21	189,71	0,46	-0,09	0,09	0,05	0,03
L54	-1,10	0,01	-0,02	-0,26	-1,47	217,85	1,38	0,16	0,04	0,07	0,24
L70	2,07	0,08	0,06	0,44	0,09	191,38	0,36	0,08	0,17	-0,11	-0,05
L76	0,57	-0,05	-0,01	0,21	-2,29	574,82	0,84	-0,07	0,37	0,01	-0,05
DMS	1,21	0,11	0,07	0,94	3,07	467,50	1,04	0,18	0,36	0,26	0,24
DP	0,17	0,02	0,01	0,13	0,44	66,89	0,15	0,03	0,05	0,04	0,03

CO= ciclo; AP= altura de planta; AE= altura da espiga superior; DC= diâmetro do colmo; CE= capacidade de expansão; PG= produtividade; M100= massa de cem grãos; PR= prolificidade; CS= comprimento do grão; LS= largura do grão; ES= espessura do grão; DMS= diferença mínima significativa

Para CE, as linhagens que apresentaram os maiores \hat{g}_i positivos foram P8, P1, P10 e P7 (Tabela 15), mostrando que, com a utilização dessas linhagens como genitoras incrementa-se a CE nos híbridos. As linhagens P3, L76 e L54 obtiveram os menores \hat{g}_i e devem ser evitadas em cruzamentos para obtenção de híbridos com alta capacidade de expansão. As linhagens P6, L53 e L70 obtiveram \hat{g}_i próximo a zero, com -0,12, 0,21 e 0,09, respectivamente, Tabela 15, assim, essas linhagens não influenciam significativamente no aumento ou diminuição da CE em cruzamentos, ou seja, a média dos híbridos em que essas linhagens estão envolvidas não difere muito da média geral do dialelo.

Nota-se que as linhagens que obtiveram \hat{g}_i mais favoráveis para CE são consideradas tropicais e temperadas ou temperadas, Tabela 1, e as linhagens com \hat{g}_i , desfavoráveis para CE, são em sua maioria linhagens tropicais. Esses resultados eram esperados, pois as linhagens de procedência temperada tendem

a ter uma maior CE, corroborando os resultados encontrados Miranda et al. (2008), que relataram que os genótipos de origem temperada têm, em média, maior capacidade de expansão.

As linhagens P3, L53, L54, L70 e L76 obtiveram valores de alta magnitude e positivos de \hat{g}_i para PG, Tabela 15, indicando que essas linhagens podem incrementar a produtividade nos híbridos de que participam. Por outro lado, as linhagens P1, P6, P7, P8 e P10 devem ser evitadas em cruzamentos para obter híbridos com alta produtividade de grãos. A maioria das linhagens com \hat{g}_i favorável para PG são tropicais e temperadas ou tropicais, mostrando serem mais adaptadas às condições ambientais de Campos dos Goytacazes do que as temperadas.

As linhagens L53 e L70 foram as únicas que obtiveram estimativa de \hat{g}_i positiva para ambas as características, porém de baixa magnitude para CE (Tabela 15). Andrade et al. (2002), avaliando seis populações de milho-pipoca em cruzamentos dialélico, observaram que apenas uma população obteve, simultaneamente, estimativa favorável de \hat{g}_i para capacidade de expansão e produtividade de grãos, porém de baixa magnitude.

Em função da predominância dos efeitos de aditividade para CE e PG, Tabela 13, uma estratégia para obter populações de milho-pipoca de alta produtividade e boa capacidade de expansão seria a síntese de populações para programas de melhoramento que capitalizassem os efeitos aditivos, como a Seleção Recorrente Recíproca. Para tanto, a escolha das linhagens para a formação dessas populações deve se basear na CGC. Diante do exposto, recomendam-se linhagens de alta CGC para CE, P1, P7, P8 e P10 e as de alta CGC para PG, P3, L53, L54, L70 e L76.

O M100 tem uma correlação positiva com PG, Tabela 7, contudo, devem-se selecionar linhagens com estimativas \hat{g}_i positiva para M100 para obter ganho correlacionado em PG. Nesse contexto, as linhagens que se destacaram com M100 favorável foram L54, P3, L76, L53 e L70.

Entre as características da forma do grão (CS, LS e ES), observou-se que CS e LS tiveram correlação negativa e ES, positiva com CE (Tabela 7). Nesse sentido, podem-se obter ganhos indiretos ao selecionar como genitoras as linhagens com altas magnitudes de \hat{g}_i , negativas para CS e LS e positivas para ES. Assim, as linhagens com estimativa de \hat{g}_i favorável para CS foram P1, P10 e

P8, com -0,57, -0,39 e -0,08, respectivamente (Tabela 15). Para LS, as menores estimativas de \hat{g}_i foram das linhagens P1, P8 e L70. A linhagem L54, seguida por P1 e P10, expressou as maiores estimativas de \hat{g}_i para ES. A linhagem P1 obteve estimativa \hat{g}_i favorável para ambas as características de grão simultaneamente, podendo ser utilizada como genitora em cruzamento para aumentar a CE.

As estimativas da capacidade geral de combinação (\hat{g}_i) indicam qual a melhor linhagem, assim, para saber qual a melhor combinação híbrida, devemos lançar mão da capacidade específica de combinação (\hat{s}_{ij}). No entanto, segundo Cruz e Regazzi (2004), nas combinações híbridas com estimativas mais favoráveis de \hat{s}_{ij} , são desejáveis aquelas que envolvam pelo menos um dos genitores que tenha apresentado os maiores efeitos favoráveis de \hat{g}_i . Nesse sentido, para CO, há tendência de diminuição, assim, as combinações híbridas favoráveis devem ter \hat{s}_{ij} negativas que superem o desvio padrão (DP), que são P3xP8, P3xP7, P6xL53, P7xL54, L54xL76 e P10xL54, respectivamente (Tabela 16).

Tabela 16. Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (\hat{s}_{ij}) e desvio padrão (DP) para as onze características agrônômicas de milho-pipoca cultivados na safra

Híbridos	CO	AP	AE	DC	CE	PG	M100	PR	CS	LS	ES
P1xP3	0,27	0,05	0,05	0,16	2,52	-161,28	-0,38	-0,08	-0,15	-0,31	-0,08
P1xP6	0,19	-0,01	-0,02	0,26	-1,99	379,57	-0,08	0,14	-0,11	0,06	0,20
P1xP7	-0,26	-0,06	-0,05	-0,60	-2,22	86,22	0,05	0,01	0,10	0,20	-0,27
P1xP8	-1,09	0,04	-0,02	-0,42	-2,74	25,85	0,28	-0,01	0,05	0,06	-0,18
P1xP10	0,51	-0,04	0,02	-0,28	-3,44	31,49	-0,04	-0,04	0,08	-0,05	-0,09
P1xL53	-0,09	0,05	0,01	0,61	2,30	-357,52	-0,33	-0,03	-0,11	-0,04	0,01
P1xL54	-0,15	0,07	0,02	0,79	0,88	-243,81	-0,10	-0,04	0,02	0,08	0,07
P1xL70	-0,20	0,01	0,04	-0,35	1,62	102,48	0,73	-0,01	0,28	0,04	0,22
P1xL76	0,80	-0,10	-0,05	-0,16	3,08	136,99	-0,13	0,07	-0,15	-0,04	0,13
P3xP6	0,24	-0,02	0,00	-0,27	0,71	30,72	-0,46	0,04	-0,18	0,00	0,09
P3xP7	-0,96	0,06	-0,03	0,37	1,55	47,47	-0,47	0,05	0,00	-0,12	0,08
P3xP8	-1,16	0,03	0,05	0,09	-0,59	330,17	1,03	-0,05	0,10	0,23	0,04
P3xP10	-0,45	-0,02	0,02	-0,68	-1,12	91,51	-0,27	0,06	0,06	0,23	0,03
P3xL53	0,21	-0,07	-0,04	0,07	1,00	-75,54	-0,42	-0,01	0,19	-0,02	-0,08
P3xL54	1,27	-0,06	-0,03	-0,06	0,56	-355,40	0,28	0,00	0,03	-0,13	-0,04
P3xL70	0,35	0,06	-0,02	0,54	-2,34	-45,11	-0,51	-0,02	-0,11	0,12	-0,01
P3xL76	0,23	-0,02	-0,02	-0,22	-2,28	137,45	1,20	0,01	0,07	0,00	-0,03
P6xP7	1,09	-0,10	-0,07	-0,45	-0,38	-646,93	-0,99	-0,07	-0,38	-0,05	-0,04

Tabela 16, cont.

Híbridos	CO	AP	AE	DC	CE	PG	M100	PR	CS	LS	ES
P6xP8	-0,49	0,00	0,04	0,14	0,69	-39,50	-0,09	0,05	0,04	-0,08	-0,06
P6xP10	-0,02	-0,04	-0,05	0,31	0,91	103,06	1,02	-0,14	0,22	0,18	-0,02
P6xL53	-0,74	0,11	0,02	0,51	-1,96	253,25	0,78	-0,04	0,18	0,07	0,02
P6xL54	0,07	0,04	0,02	-0,59	1,21	-208,09	-0,35	0,03	-0,02	-0,19	-0,13
P6xL70	-0,23	0,01	0,01	0,03	-1,03	173,36	0,65	0,06	0,17	0,07	-0,03
P6xL76	-0,10	0,01	0,05	0,07	1,83	-45,45	-0,48	-0,07	0,08	-0,07	-0,04
P7xP8	1,30	0,04	0,00	-0,03	-0,74	234,51	-0,26	0,01	-0,20	-0,20	0,09
P7xP10	-0,10	0,02	0,03	-0,13	2,19	-241,13	0,22	-0,03	-0,18	-0,04	-0,05
P7xL53	0,80	-0,07	-0,03	-0,11	1,41	-73,10	-0,13	0,02	-0,07	0,08	0,03
P7xL54	-0,63	-0,02	0,02	-0,56	0,85	116,97	0,45	-0,10	0,41	0,11	-0,01
P7xL70	-0,68	0,01	0,03	0,57	-1,90	268,38	0,33	-0,07	0,05	0,01	0,02
P7xL76	-0,56	0,13	0,10	0,95	-0,75	207,61	0,80	0,18	0,29	0,01	0,16
P8xP10	1,32	0,00	0,01	0,20	0,07	-288,58	-1,49	0,04	-0,22	-0,26	-0,10
P8xL53	-0,27	-0,02	-0,02	0,33	-0,76	-52,93	0,59	0,03	0,07	-0,08	0,19
P8xL54	0,54	-0,04	-0,04	-0,01	2,46	94,28	0,14	-0,02	0,02	0,19	-0,04
P8xL70	0,24	-0,07	-0,01	-0,26	1,47	-269,23	-0,28	0,02	-0,07	0,10	0,11
P8xL76	-0,38	0,01	0,00	-0,03	0,13	-34,57	0,09	-0,09	0,21	0,05	-0,05
P10xL53	-0,43	0,01	-0,01	-0,49	0,66	-116,41	0,52	0,02	0,30	0,04	0,10
P10xL54	-0,49	0,06	0,00	1,34	-1,86	685,95	0,93	0,03	0,03	0,06	0,23
P10xL70	0,09	0,04	0,02	0,24	0,88	-167,78	-0,36	0,13	-0,23	-0,08	-0,10
P10xL76	-0,41	-0,03	-0,04	-0,50	1,71	-98,11	-0,53	-0,07	-0,06	-0,09	-0,01
L53xL54	-0,09	-0,02	0,03	-0,41	-2,38	216,41	-1,06	0,13	-0,43	-0,15	-0,01
L53xL70	-0,01	0,04	0,03	-0,11	-0,25	226,22	-0,15	0,11	0,03	-0,04	-0,14
L53xL76	0,62	-0,01	0,01	-0,42	-0,02	-20,40	0,21	-0,23	-0,15	0,15	-0,12
L54xL70	0,05	-0,07	-0,04	-0,74	1,77	-155,56	0,24	-0,23	0,05	-0,09	-0,06
L54xL76	-0,57	0,04	0,01	0,24	-3,48	-150,75	-0,52	0,19	-0,09	0,12	-0,01
L70xL76	0,38	-0,03	-0,06	0,08	-0,21	-132,76	-0,64	0,00	-0,19	-0,13	-0,02
DMS	1,21	0,11	0,07	0,94	3,07	467,50	1,04	0,18	0,36	0,26	0,24
DP	0,45	0,04	0,03	0,35	1,15	175,89	0,39	0,07	0,14	0,10	0,09

CO= ciclo; AP= altura de planta; AE= altura da espiga superior; DC= diâmetro do colmo; CE= capacidade de expansão; PG= produtividade; M100= massa de cem grãos; PR= prolificidade; CS= comprimento do grão; LS= largura do grão; ES= espessura do grão; DMS= diferença mínima significativa

Melhor resistência ao acamamento e quebramento de plantas pode ser alcançada com a diminuição de AP e AE e aumento de DC. Com isso, de acordo com a Tabela 16, as combinações híbridas mais favoráveis de $\hat{\sigma}_{ij}$ para ambas as características simultaneamente foram P6xP10 e L70xL76. Porém, pode-se observar que nesses híbridos nenhuma das características da magnitude de $\hat{\sigma}_{ij}$ supera o DMS.

A obtenção de híbridos com alta CE e PG simultaneamente apresenta grande dificuldade, como relatado por Scapim et al. (2002) e Pinto et al. (2007).

Diante disso, os híbridos que obtiveram as estimativas mais favoráveis de \hat{s}_{ij} para CE e PG simultaneamente foram P1xL70, P1xL76, P3xP7, P7xL54 e P8xL54 (Tabela 16). Porém, a magnitude de \hat{s}_{ij} em pelo menos uma dessas características não ultrapassou a DMS. Por outro lado, ao analisar as médias de CE e PG desses híbridos (média do híbrido com o recíproco) na Tabela 12, percebe-se que estão no grupo das melhores médias para ambas as características, sendo que apenas o P7xP3 obteve média de CE de 31,75 mL.g⁻¹ inserindo-se no segundo grupo das maiores médias de CE. Esses resultados indicam que esses híbridos são promissores e devem ser testados em outros experimentos.

Nas combinações híbridas com as melhores estimativas de \hat{s}_{ij} para CE e PG simultaneamente, estão sempre envolvidas as linhagens de procedência tropical e temperada com tropical (P1xL70 e P8xL54), entre tropical com temperada (P3xP7 e P7xL54) e entre tropical e temperada com tropical e temperada (P1xL76). Não foram observadas entre os melhores híbridos combinações entre linhagens temperadas ou entre tropicais, mostrando que a melhor complementação genética ocorreu entre linhagens de origens distintas, o que pode ter favorecido a heterose.

A M100 tem uma correlação alta com PG, Tabela 7, podendo ter ganhos em PG com seleção indireta em M100. Nesse sentido, as combinações híbridas com \hat{s}_{ij} mais favoráveis são aquelas de alta magnitude e positivas, destacando-se as combinações P1xL70, P3xP6, P3xP8, P3xL76, P6xL53, P6xL70, P7xL54, P7xL76, P8xL53, P10xL53 e P10xL54 (Tabela 16).

Para se obter ganhos indiretos em CE, devem-se selecionar híbridos com menor estimativa de \hat{s}_{ij} menor para CS e LS e maior para ES. As combinações híbridas que obtiveram as melhores estimativas de \hat{s}_{ij} favoráveis para ambas as características foram P1xL53 e P7xP8. Porém, as estimativas de \hat{s}_{ij} obtidas por esses híbridos não superam a DMS.

A estimativa dos efeitos da capacidade específica de combinação indica a melhor combinação híbrida, porém não informa qual deve ser o genitor receptor e qual o doador de pólen. Nesse sentido, é necessário avaliar as estimativas do efeito recíproco (\hat{R}_{ij}) entre as combinações híbridas selecionadas para aquelas características que obtiveram o ER significativo (Tabela 14). A Tabela 17 apresenta o \hat{R}_{ij} para as onze características de milho-pipoca cultivados na época

da safra. O \hat{R}_{ij} de alta magnitude e negativo indica que, se os genitores do híbrido forem invertidos, haverá aumento significativo na característica.

Tabela 17. Estimativas do efeito recíproco (\hat{R}_{ij}) e desvio padrão (DP) para as onze características agrônômicas de milho-pipoca cultivado na safra

Híbridos	CO	AP	AE	DC	CE	PG	M100	PR	CS	LS	ES
P1xP3	2,88	-0,02	-0,02	-0,07	2,81	-299,72	-1,19	-0,11	-0,42	0,00	0,10
P1xP6	1,38	-0,13	-0,07	-0,75	0,65	-44,97	-0,88	0,00	-0,03	-0,31	-0,13
P1xP7	1,13	-0,07	-0,05	-0,40	-0,33	-93,26	-0,10	-0,03	-0,05	0,28	-0,15
P1xP8	0,00	0,04	0,05	0,10	-3,51	87,59	0,32	0,03	0,24	0,09	0,03
P1xP10	0,38	-0,01	0,02	0,30	0,01	-348,88	-0,96	0,11	-0,18	-0,22	0,09
P1xL53	0,13	-0,01	-0,01	0,43	-0,65	-170,02	0,69	0,00	-0,04	0,01	-0,15
P1xL54	-0,13	-0,01	-0,04	-0,93	1,92	-324,02	-0,28	-0,02	-0,03	-0,06	-0,03
P1xL70	0,25	-0,02	-0,03	-0,02	-2,63	-104,90	-0,16	-0,10	-0,12	0,12	0,07
P1xL76	1,00	-0,14	-0,08	0,00	1,95	-263,03	-0,04	0,02	-0,17	0,07	0,18
P3xP6	1,00	0,09	0,11	0,48	0,08	-146,79	-1,20	0,11	-0,02	-0,17	-0,02
P3xP7	0,25	-0,03	-0,01	0,32	0,00	-114,73	0,11	-0,10	-0,29	-0,01	0,05
P3xP8	-1,25	0,01	-0,02	-0,08	-1,58	46,65	0,19	0,02	-0,15	-0,08	0,05
P3xP10	0,50	-0,07	-0,05	0,12	-1,04	-120,58	-0,77	0,05	-0,07	-0,08	-0,02
P3xL53	-1,50	0,07	0,05	-0,01	-0,46	-172,25	0,20	0,05	0,10	0,04	0,03
P3xL54	0,13	-0,03	0,00	0,42	-0,04	-293,20	-0,51	0,02	-0,34	-0,14	0,06
P3xL70	0,38	0,09	-0,02	-0,36	0,73	-284,84	-0,37	0,08	-0,12	-0,18	0,17
P3xL76	0,25	0,05	0,07	0,00	-1,17	-38,05	-0,04	0,24	0,23	0,12	-0,09
P6xP7	-0,38	-0,05	-0,03	-0,63	-2,75	-16,70	-0,56	-0,13	-0,33	0,00	0,22
P6xP8	0,00	0,03	0,02	-0,04	0,63	151,62	0,38	0,09	0,04	-0,02	0,03
P6xP10	0,25	0,01	0,04	0,24	-0,33	-189,41	-0,36	-0,11	-0,03	-0,26	0,12
P6xL53	0,88	-0,03	-0,02	-0,28	0,92	74,18	-0,21	0,09	-0,21	-0,01	0,05
P6xL54	-0,25	-0,13	-0,03	-0,08	-0,01	168,40	-0,12	0,03	0,14	0,22	0,09
P6xL70	0,38	-0,01	-0,02	0,84	1,81	152,78	-0,22	0,14	-0,20	-0,16	0,04
P6xL76	0,25	0,02	0,01	-0,11	0,87	-20,20	-0,72	0,11	-0,33	-0,19	-0,07
P7xP8	1,00	-0,09	-0,04	-1,18	-0,27	-14,84	-0,90	-0,06	-0,20	-0,05	0,06
P7xP10	1,13	-0,12	-0,07	-0,32	-1,02	-293,92	-0,45	-0,13	-0,12	0,12	-0,06
P7xL53	-1,13	0,05	0,04	0,35	0,29	-247,45	-0,63	-0,06	-0,02	0,09	-0,06
P7xL54	-0,75	0,02	-0,02	0,07	0,12	1,94	-0,12	0,03	-0,07	0,06	0,00
P7xL70	-0,13	-0,03	-0,04	0,77	-0,77	67,33	-0,05	0,08	-0,10	-0,11	0,09
P7xL76	0,00	0,02	0,03	0,25	0,21	-157,04	-0,42	0,08	-0,15	-0,14	0,11
P8xP10	-0,25	0,06	0,04	-0,85	0,87	-152,17	0,39	-0,03	-0,03	0,00	0,05
P8xL53	-1,00	0,03	0,03	-0,45	0,17	-193,75	0,21	-0,03	0,04	0,05	0,01
P8xL54	0,13	0,04	0,05	0,26	1,13	44,16	0,21	0,00	0,04	0,08	0,01
P8xL70	1,50	-0,01	0,03	0,26	0,60	-349,95	-0,38	0,16	-0,29	0,02	0,21
P8xL76	-0,63	0,03	0,03	0,01	-0,70	-109,49	0,29	-0,08	-0,23	-0,15	0,17
P10xL53	-1,13	0,03	-0,01	0,08	-0,42	42,85	0,32	0,03	-0,08	0,00	0,02
P10xL54	0,13	-0,02	-0,05	0,69	-0,13	-283,77	0,37	-0,13	0,01	0,08	0,17

Tabela 17, cont.

Híbridos	CO	AP	AE	DC	CE	PG	M100	PR	CS	LS	ES
P10xL70	-0,88	0,08	0,01	-0,04	-1,58	171,50	0,01	0,03	0,14	0,04	-0,04
P10xL76	0,88	-0,14	-0,11	-0,26	-0,21	-356,92	-1,11	0,02	0,04	-0,05	-0,03
L53xL54	-0,13	0,02	-0,01	-0,10	-0,31	-103,67	-0,47	0,05	0,02	-0,08	-0,03
L53xL70	0,13	0,05	0,03	-0,10	-0,50	81,74	0,62	-0,02	0,01	0,08	-0,19
L53xL76	1,00	-0,02	-0,02	0,33	0,97	-433,04	0,23	0,05	0,00	-0,25	0,09
L54xL70	0,50	0,09	0,03	0,47	-3,67	-122,37	0,01	0,20	-0,08	-0,06	0,11
L54xL76	-0,38	-0,14	-0,03	0,07	-0,21	-306,63	-1,19	0,03	-0,10	-0,01	-0,15
L70xL76	0,25	-0,03	-0,05	-0,20	-0,21	-150,93	0,65	-0,11	0,25	0,19	0,01
DMS	1,21	0,11	0,07	0,94	3,07	467,50	1,04	0,18	0,36	0,26	0,24
DP	0,51	0,05	0,03	0,40	1,31	199,44	0,44	0,08	0,16	0,11	0,10

CO= ciclo; AP= altura de planta; AE= altura da espiga superior; DC= diâmetro do colmo; CE= capacidade de expansão; PG= produtividade; M100= massa de cem grãos; PR= prolificidade; CS= comprimento do grão; LS= largura do grão; ES= espessura do grão

Para CO, observou-se que, entre os híbridos selecionados por terem \hat{S}_{ij} favorável, apenas P3xP8 obteve estimativa de \hat{R}_{ij} que superou a DMS (1,21), com -1,25 (Tabela 17). Como são desejadas cultivares com menor CO, o híbrido P3xP8 deve ter os genitores mantidos. Este resultado corrobora a Tabela 12, em que se observa que a média de P3xP8 é inferior à do seu recíproco (P8xP3), significativa pelo teste de agrupamento de média de Skott Knott.

Os híbridos selecionados para AE, de acordo com \hat{S}_{ij} , foram P6xP10 e L70xL76, que obtiveram estimativas de \hat{R}_{ij} de 0,04 e -0,05, respectivamente, sendo menores que a DMS (0,07) (Tabela 17). Porém, na Tabela 12, observa-se diferença significativa entre o P6xP10 e o P10xP6, sendo a média do último menor.

Os híbridos que obtiveram as melhores \hat{S}_{ij} para CE e PG simultaneamente foram P1xL70, P1xL76, P3xP7, P7xL54 e P8xL54, mas apenas o PG teve ER significativo. Na Tabela 17, pode-se observar que os híbridos P1xL70, P1xL76 e P3xP7 obtiveram \hat{R}_{ij} negativo e os híbridos P7xL54 e P8xL54, positivo para PG, porém nenhum obteve \hat{R}_{ij} maior que a DMS (467,5). Por outro lado, a diferença de 526,1 kg.ha⁻¹ entre as médias de L76xP1 e de P1xL76 é significativa pelo teste Skott Knott (Tabela 12).

De acordo com a \hat{S}_{ij} , os melhores híbridos para as características relacionadas à forma do grão foram P1xL53 e P7xP8. Porém, entre essas

características (CS, LS e ES), apenas a CS foi significativa para o ER, mas ambos os híbridos obtiveram \hat{R}_{ij} menores que a diferença mínima significativa.

3.3.4.2.3 ANÁLISE DA CAPACIDADE DE COMBINAÇÃO E EFEITO RECÍPROCO PARA ÉPOCA DE SAFRINHA.

Como se deseja diminuir o ciclo das cultivares, devem ser selecionadas linhagens com \hat{g}_i de alta magnitude e negativas. Assim, as linhagens com \hat{g}_i mais favoráveis foram L53, L54, P3, P6 e P7, com -1,73, -1,59, -1,28, -0,25 e -0,23, respectivamente, que obtiveram estimativas de \hat{g}_i favoráveis na safra, porém com magnitudes distintas.

Para AP, AE e DC, características relacionadas ao tombamento e quebraimento de plantas, para as quais se deseja diminuir AP e AE e aumentar DC, verificou-se que as linhagens P1, P6 e P7 obtiveram \hat{g}_i favorável para AP, P1, P6, P7 e L54 para AE e P3, P8, L70 e L76 para DC. Porém, não foram observadas linhagens com \hat{g}_i favorável para ambas as características, simultaneamente (Tabela 18). Por outro lado, a linhagem L76, por ter \hat{g}_i positivo e de alta magnitude para DC, pode ser utilizada para obter híbridos com maior DC sem influenciar AP e AE, pois a magnitude desses últimos não ultrapassa as respectivas diferenças mínimas significativas (DMS). Esses resultados corroboram aqueles observados na safra, em que a mesma linhagem foi indicada por ter o \hat{g}_i mais favorável para ambas as características, simultaneamente.

As linhagens P1, L70, P8, P10 e P7 se destacaram por obterem \hat{g}_i positivos e de alta magnitude para CE (Tabela 18). Esses resultados indicam que essas linhagens podem aumentar a CE em híbridos que participam para cultivo na época da safrinha. Nota-se que essas linhagens são todas de origem tropicais e temperadas ou temperadas, corroborando o obtido na safra.

Tabela 18. Estimativa dos efeitos da capacidade geral de combinação (\hat{g}_i) e desvio padrão (DP) das dez linhagens de milho-pipoca cultivadas na safrinha

Linhagens	CO	AP	AE	DC	CE	PG	M100	PR	CS	LS	ES
P1	1,39	-0,14	-0,11	-0,52	4,51	-885,23	-1,10	-0,03	-0,52	0,00	0,14
P3	-1,28	0,06	0,07	0,54	-5,22	609,35	1,16	-0,01	0,44	0,21	-0,25
P6	-0,25	-0,05	-0,03	-0,46	-0,80	-461,35	-1,84	-0,04	-0,24	-0,16	-0,26
P7	-0,23	-0,05	-0,02	-0,18	1,18	-229,49	-0,61	-0,01	0,03	-0,04	-0,09
P8	0,39	0,03	0,03	0,42	1,68	-395,44	-0,93	0,01	-0,20	-0,09	0,03
P10	-0,01	0,03	0,01	0,11	1,27	-173,97	-0,48	0,03	-0,20	0,03	0,14
L53	-1,73	0,01	0,02	-0,24	-0,29	71,48	0,05	-0,05	-0,11	-0,16	0,07
L54	-1,59	-0,02	-0,03	-0,22	-3,78	392,37	1,30	-0,01	0,11	0,13	0,17
L70	2,97	0,14	0,06	0,20	1,84	545,72	1,34	0,16	0,16	0,03	0,02
L76	0,33	-0,01	0,00	0,35	-0,39	526,56	1,11	-0,04	0,52	0,05	0,03
DMS	1,43	0,11	0,07	0,86	2,74	414,84	1,15	0,17	0,41	0,29	0,25
DP	0,20	0,02	0,01	0,12	0,39	59,36	0,16	0,02	0,06	0,04	0,04

CO= ciclo; AP= altura de planta; AE= altura da espiga superior; DC= diâmetro do colmo; CE= capacidade de expansão; PG= produtividade; M100= massa de cem grãos; PR= prolificidade; CS= comprimento do grão; LS= largura do grão; ES= espessura do grão

Em comparação, na época da safra, as linhagens com \hat{g}_i mais favorável foram P1, P8, P10 e P7, mostrando similaridade. Porém, a magnitude de \hat{g}_i obtida pelas linhagens foi distinta entre as épocas, por exemplo, para P1, linhagem com maior CGC na safrinha (4,51), superior ao observado na safra, que foi de 2,39.

Para PG, as linhagens que se destacaram com o \hat{g}_i mais favorável foram P3, L70, L76, L54 e L53, com 609,35, 545,72, 526,56, 392,37 e 71,48, respectivamente (Tabela 18). Nota-se que as mesmas linhagens obtiveram \hat{g}_i mais favoráveis na época da safra, porém a magnitude de \hat{g}_i na safrinha foi bem maior do que na safra para as quatro primeiras linhagens. As linhagens P1, P6, P7, P8 e P10 devem ser evitadas em cruzamentos para obtenção de híbridos com alta produtividade na safrinha. As linhagens com \hat{g}_i mais favoráveis são todas de origem tropical ou tropical e temperada, denotando que as linhagens consideradas como tropicais ou de dupla aptidão (tropicais e temperadas) são mais adaptadas às condições ambientais de Campos dos Goytacazes do que as temperadas.

A linhagem L70 foi a única que obteve \hat{g}_i favorável para CE e PG e de alta magnitude para ambas as características, corroborando a época da safrinha. Silva et al. (2011), avaliando a capacidade de combinação entre linhagens de milho-pipoca em dois ambientes na safra, observaram que a linhagem P₂ obteve \hat{g}_i

positivo para CE e PG, simultaneamente, para ambos os ambientes. As linhagens P1 e P3, com as maiores \hat{g}_i para CE e PG, respectivamente, se complementam e podem dar início a um programa de seleção recorrente recíproca para obtenção de variedade com alta CE e PG para plantio na época da safrinha.

As linhagens que obtiveram as melhores estimativas de \hat{g}_i para o M100 foram L70, L54, P3 e L76, respectivamente (Tabela 18). Fazendo uma relação com a safra, observou-se que estas linhagens obtiveram as melhores estimativas para M100.

Para as características relacionadas à forma do grão (CS, LS e ES), devem ser selecionadas linhagens com estimativas de \hat{g}_i negativas para CS e LS e positivas para ES. Assim, verificou-se que as linhagens P1 e P8 obtiveram \hat{g}_i favoráveis para ambas as características, simultaneamente.

Para diminuir o CO, as combinações híbridas com \hat{s}_{ij} negativos são desejáveis, nesse sentido, as melhores combinações foram L53xL70, P7xL70, P1xP7, P6xP8, P10xL53, P6xL76, P7xL54 e P8xL53, respectivamente (Tabela 19). Em comparação com a safra, notou-se que apenas a combinação híbrida P7xL54 obteve \hat{s}_{ij} favorável para ambas as épocas.

Tabela 19. Estimativa dos efeitos da capacidade específica de combinação (\hat{s}_{ij}) e desvio padrão (DP) para as onze características agrônômicas de milho-pipoca cultivado na safrinha

Híbridos	CO	AP	AE	DC	CE	PG	M100	PR	CS	LS	ES
P1xP3	0,21	0,01	0,01	-0,14	3,02	-99,60	1,15	-0,01	-0,16	-0,06	-0,04
P1xP6	-0,07	0,03	0,04	0,30	-0,73	-26,17	1,04	-0,04	0,28	0,39	0,12
P1xP7	-0,97	0,00	0,00	0,15	-1,94	229,78	0,26	0,01	0,13	0,03	-0,06
P1xP8	-0,22	-0,02	-0,01	-0,14	-2,70	-194,27	-0,58	0,06	-0,23	-0,04	0,02
P1xP10	-0,18	0,01	0,00	0,23	-1,11	310,59	0,08	0,05	0,12	-0,05	-0,16
P1xL53	0,16	0,05	0,01	0,17	1,25	401,79	-0,27	0,03	-0,08	-0,06	0,00
P1xL54	0,27	0,01	-0,03	0,19	2,19	-241,06	-0,59	0,03	0,04	-0,13	0,13
P1xL70	0,83	-0,05	-0,01	-0,34	-1,07	-552,12	-0,57	-0,03	-0,16	-0,10	0,07
P1xL76	-0,03	-0,04	-0,01	-0,42	1,10	171,06	-0,51	-0,10	0,06	0,03	-0,08
P3xP6	0,10	0,00	-0,05	-0,31	-0,13	-112,54	-0,01	-0,07	0,06	0,10	-0,06
P3xP7	0,08	-0,01	0,00	-0,31	2,25	92,70	-0,43	-0,05	0,13	-0,10	-0,02
P3xP8	-0,42	0,03	0,01	0,50	-0,41	-9,77	-0,04	0,07	0,21	0,25	0,08
P3xP10	-0,26	0,00	0,00	0,08	-0,45	336,35	-0,21	-0,05	-0,04	-0,15	-0,20
P3xL53	0,46	-0,01	0,01	0,25	0,98	-3,57	-0,13	0,05	0,06	0,05	0,10
P3xL54	0,19	-0,01	0,01	-0,13	-2,52	-18,70	0,25	0,03	-0,05	-0,12	-0,04

Tabela 19, cont.

Híbridos	CO	AP	AE	DC	CE	PG	M100	PR	CS	LS	ES
P3xL70	-0,12	-0,01	-0,01	-0,33	-0,44	-258,75	-0,83	0,02	-0,29	0,04	0,04
P3xL76	-0,23	-0,01	0,01	0,39	-2,29	73,88	0,25	0,00	0,09	-0,02	0,13
P6xP7	1,30	-0,01	0,01	-0,62	0,14	-434,43	-0,35	0,01	-0,28	-0,14	0,09
P6xP8	-0,82	-0,05	-0,01	0,62	1,60	140,64	-0,02	0,07	-0,20	-0,15	-0,17
P6xP10	0,21	-0,04	-0,02	-0,18	0,46	-238,54	-0,21	-0,03	0,27	0,17	-0,02
P6xL53	0,43	-0,04	-0,02	-0,09	-2,70	-460,22	-1,08	-0,11	-0,09	-0,13	0,04
P6xL54	-0,34	0,06	0,05	-0,11	1,48	160,10	-0,80	0,01	-0,12	-0,20	-0,09
P6xL70	-0,15	0,00	-0,03	0,55	-0,28	592,49	0,99	0,10	0,13	0,04	0,09
P6xL76	-0,64	0,07	0,03	-0,16	0,16	378,66	0,45	0,04	-0,05	-0,09	0,00
P7xP8	-0,09	0,02	-0,01	-0,24	0,24	379,10	0,99	-0,04	0,00	-0,08	-0,10
P7xP10	-0,43	-0,03	0,01	-0,13	-1,15	-400,24	-0,74	0,06	-0,22	-0,04	-0,04
P7xL53	0,53	0,03	0,01	0,30	-1,31	-209,30	-0,40	-0,02	0,03	0,08	0,11
P7xL54	-0,61	0,03	0,01	0,62	0,87	188,61	-0,34	-0,01	0,03	0,11	-0,07
P7xL70	-1,04	-0,04	-0,02	0,27	-0,60	315,65	0,32	0,06	0,03	0,11	0,05
P7xL76	1,22	0,02	-0,01	-0,05	1,51	-161,87	0,70	-0,01	0,13	0,03	0,03
P8xP10	2,07	-0,08	-0,05	-0,62	-2,85	-745,21	-0,69	-0,05	0,00	-0,02	0,09
P8xL53	-0,59	0,05	0,04	-0,14	2,23	203,33	1,12	-0,05	0,27	0,00	0,16
P8xL54	-0,23	0,02	0,02	-0,16	1,44	181,00	0,16	0,01	0,14	0,05	-0,20
P8xL70	0,33	0,05	0,05	-0,03	0,95	182,49	-0,16	-0,07	-0,22	0,08	-0,04
P8xL76	-0,03	-0,02	-0,03	0,20	-0,48	-137,29	-0,78	-0,01	0,03	-0,09	0,15
P10xL53	-0,81	0,01	0,00	0,23	2,95	341,20	0,64	0,10	0,00	0,01	0,01
P10xL54	-0,32	0,06	0,01	0,12	0,87	327,08	1,12	-0,07	-0,03	0,21	0,23
P10xL70	0,86	0,04	0,02	-0,06	0,73	-105,20	-0,31	-0,05	-0,10	-0,12	0,02
P10xL76	-1,12	0,03	0,03	0,34	0,55	173,97	0,34	0,04	0,01	-0,01	0,07
L53xL54	0,52	-0,07	-0,03	-0,54	-3,62	-318,69	-0,43	0,01	-0,10	0,13	-0,06
L53xL70	-1,04	0,03	0,00	0,28	-1,14	61,48	0,34	0,02	0,04	-0,12	-0,15
L53xL76	0,35	-0,06	-0,02	-0,46	1,36	-16,02	0,21	-0,04	-0,11	0,04	-0,20
L54xL70	0,19	-0,06	-0,02	-0,24	1,54	-15,99	0,76	-0,06	0,41	-0,04	0,06
L54xL76	0,33	-0,04	-0,02	0,25	-2,23	-262,34	-0,13	0,05	-0,32	-0,01	0,05
L70xL76	0,14	0,04	0,03	-0,09	0,31	-220,04	-0,53	0,02	0,16	0,12	-0,15
DMS	1,43	0,11	0,07	0,86	2,74	414,84	1,15	0,17	0,41	0,29	0,25
DP	0,54	0,04	0,03	0,32	1,03	156,08	0,43	0,06	0,15	0,11	0,09

CO= ciclo; AP= altura de planta; AE= altura da espiga superior; DC= diâmetro do colmo; CE= capacidade de expansão; PG= produtividade; M100= massa de cem grãos; PR= prolificidade; CS= comprimento do grão; LS= largura do grão; ES= espessura do grão

Para AP, AE e DC, os $\hat{\sigma}_{ij}$ favoráveis são negativos para AP e AE e positivos para DC. Assim, as melhores combinações híbridas para ambas as características foram P6xP8, P7xL70 e P8xL76 (Tabela 19). Porém, nota-se que, em todas essas combinações híbridas, a magnitude de $\hat{\sigma}_{ij}$ para pelo menos uma característica não superou a respectiva DMS, tendo sido observado ainda que os

híbridos com as melhores estimativas de \hat{s}_{ij} para a safra são diferentes dos híbridos da safrinha.

As melhores estimativas de \hat{s}_{ij} para CE foram obtidas pelas combinações híbridas P1xP3, P1xL53, P1xL54, P1xL76, P3xP7, P6xP8, P7xL76, P8xL53, P8xL54, P10xL53 e L54xL70 (Tabela 19). Para PG, foram as combinações P1xL53, P1xL76, P3xP10, P6xL54, P6xL70, P6xL76, P7xL54, P7xL70, P8xL53, P8xL54, P8xL70, P10xL53, P10xL54, P10xL76. Observou-se que as combinações híbridas P1xL53, P1xL76, P8xL53, P8xL54 e P10xL53 obtiveram \hat{s}_{ij} favorável para ambas as características. De acordo com as médias (média entre o híbrido e seu recíproco) observadas na Tabela 13, esses híbridos têm alta capacidade de expansão e boa produtividade de grãos na época da safrinha.

As combinações com \hat{s}_{ij} mais favoráveis para CE e PG simultaneamente para a safrinha envolvem linhagens de diferentes origens: tropical e temperada com tropical (P1xL53, P8xL53, P8xL54 e P10xL53) e tropical e temperada com tropical e temperada (P1xL76), corroborando os resultados obtidos na época da safra

Ao comparar os híbridos com \hat{s}_{ij} favorável obtidos na safra e na safrinha para CE e PG simultaneamente, observou-se que P1xL76 e P8xL54 obtiveram \hat{s}_{ij} favoráveis para as duas épocas, evidenciando que esses híbridos têm potencial para serem cultivados tanto em safra quanto em safrinha. Silva et al. (2011) observam que as combinações híbridas P₁xP₃ e P₃xP₇ obtiveram alta CE e PG nos dois locais avaliados, Campos dos Goytacazes e Itaocara, norte e noroeste do estado do Rio de Janeiro, respectivamente.

Para M100, as estimativas de \hat{s}_{ij} mais favoráveis foram para as combinações híbridas P1xP3, P1xP6, P6xL70, P6xL76, P7xL76, P10xL54 e L54xL70 (Tabela 19). Em comparação com os resultados obtidos na safra, observou-se que as combinações híbridas P6xL70, P7xL76 e P10xL54 tiveram \hat{s}_{ij} favoráveis para ambas as épocas, simultaneamente.

Em função da alta correlação entre as características do grão e o CE, Tabela 7, possibilitando ganhos com a seleção indireta, são desejadas estimativas de \hat{s}_{ij} de alta magnitude, negativas para CS e LS e positivas para ES. Contudo, a combinação híbrida que obteve \hat{s}_{ij} mais favorável para ambas as características e que pelo menos um dos genitores tivesse \hat{g}_i favorável foi P1xP8

e P1xL70. Porém, pode-se perceber que a magnitude de \hat{s}_{ij} em pelo menos um caráter para ambos os híbridos não superou a respectiva DMS.

As características CO, AE, PG e CS foram significativas para ER (Tabela 13). Assim, entre os híbridos que obtiveram as melhores estimativas de \hat{s}_{ij} para CO, nenhum obteve estimativa do efeito recíproco (\hat{R}_{ij}) que superasse a DMS(1,43) (Tabela 20).

Tabela 20. Estimativa do efeito recíproco (\hat{R}_{ij}) e desvio padrão (DP) para as onze características agrônômicas de milho-pipoca cultivado na safrinha

Híbridos	CO	AP	AE	DC	CE	PG	M100	PR	CS	LS	ES
P1xP3	1,88	0,00	-0,03	-0,11	1,29	-795,79	-0,40	0,05	-0,19	0,02	0,19
P1xP6	1,38	-0,06	-0,04	-0,15	1,13	-239,43	0,91	-0,04	0,09	0,09	0,22
P1xP7	0,75	-0,10	-0,07	-1,29	-1,35	-541,17	0,24	0,00	-0,22	0,03	0,07
P1xP8	1,13	-0,01	-0,02	-0,25	-0,97	-192,10	-0,02	-0,01	-0,28	0,12	0,11
P1xP10	0,25	-0,04	-0,04	0,00	-0,82	-239,98	0,33	-0,05	-0,17	-0,30	0,05
P1xL53	0,38	-0,03	-0,04	-0,45	-0,29	-385,81	0,94	-0,08	-0,01	0,00	0,13
P1xL54	0,13	-0,08	-0,05	-0,64	-0,60	-254,48	-0,11	-0,20	-0,07	-0,12	-0,04
P1xL70	1,25	-0,09	-0,05	-0,13	-1,85	-434,73	0,14	-0,02	-0,13	0,20	0,11
P1xL76	2,75	-0,12	-0,07	-0,82	-0,54	-888,32	0,17	-0,17	-0,18	0,11	0,01
P3xP6	0,13	0,06	0,05	0,16	-1,08	214,68	0,87	-0,11	-0,02	0,00	-0,04
P3xP7	-0,13	0,03	0,03	-0,08	0,81	392,21	-0,83	0,00	-0,23	-0,03	0,01
P3xP8	-0,25	-0,02	-0,07	-0,32	0,39	375,60	0,05	-0,08	0,04	0,00	0,05
P3xP10	-0,50	-0,02	0,01	-0,56	-1,42	-136,72	-1,19	0,00	-0,37	-0,13	0,00
P3xL53	-1,00	-0,07	0,00	-0,19	0,21	297,21	-0,02	-0,06	0,40	0,15	-0,16
P3xL54	-0,38	0,03	-0,02	0,13	-1,63	204,41	-0,14	0,08	0,04	-0,04	0,12
P3xL70	-0,38	0,05	0,00	-0,05	1,92	-136,43	-0,93	0,11	-0,08	-0,06	0,16
P3xL76	-0,13	0,03	0,03	-0,13	0,50	-157,23	-1,11	-0,02	-0,24	-0,03	0,04
P6xP7	0,63	-0,14	-0,07	-0,46	-3,33	-409,12	-1,59	-0,06	-0,61	-0,37	-0,05
P6xP8	1,13	-0,09	-0,07	-0,93	-0,21	-257,45	0,17	-0,05	-0,11	0,02	0,14
P6xP10	1,50	-0,04	-0,03	-0,73	1,00	-399,36	-0,09	-0,06	-0,21	-0,17	-0,01
P6xL53	0,50	-0,07	-0,06	0,04	-1,55	-239,82	-1,08	-0,01	-0,49	-0,36	0,13
P6xL54	-0,13	0,04	0,02	0,38	-0,96	90,87	0,29	-0,03	0,10	-0,02	0,06
P6xL70	1,38	0,06	-0,01	0,29	-0,08	-778,48	-0,15	0,20	-0,20	0,01	0,11
P6xL76	0,50	-0,06	-0,04	0,73	0,21	-100,45	-0,18	-0,03	0,06	0,03	-0,15
P7xP8	-1,63	0,10	0,05	0,53	-1,00	162,14	0,32	0,01	-0,15	-0,25	0,13
P7xP10	0,88	-0,04	-0,06	0,32	2,79	-42,97	-0,21	-0,05	-0,43	-0,08	-0,09
P7xL53	-0,13	-0,04	-0,01	-0,41	1,43	-201,28	0,72	-0,08	0,35	0,11	0,15
P7xL54	0,38	0,09	0,04	0,23	0,92	143,92	1,27	0,06	0,40	0,27	0,04
P7xL70	0,50	0,01	-0,03	0,11	3,09	-363,73	0,54	-0,06	0,06	-0,09	0,16
P7xL76	-0,63	0,00	0,02	0,38	1,21	-365,04	0,90	0,03	0,14	0,33	0,11
P8xP10	0,50	0,05	0,03	0,14	-0,34	-103,02	0,86	0,13	-0,33	-0,02	-0,06
P8xL53	0,13	-0,02	0,00	-0,73	0,72	128,83	-0,03	-0,05	-0,16	-0,05	0,25

Tabela 20, cont.

Híbridos	CO	AP	AE	DC	CE	PG	M100	PR	CS	LS	ES
P8xL54	-0,13	-0,03	-0,01	0,45	-1,79	-152,93	-0,10	0,02	-0,10	0,05	-0,19
P8xL70	1,75	0,02	0,04	0,13	-1,13	-30,60	-0,87	0,05	0,10	-0,07	-0,13
P8xL76	1,25	-0,05	-0,05	0,61	-0,88	-479,78	-0,47	0,00	0,13	0,01	-0,06
P10xL53	0,00	-0,04	-0,03	0,10	-0,58	37,59	0,17	-0,05	0,12	0,14	-0,11
P10xL54	-0,38	0,00	0,01	-0,11	1,74	-205,06	0,34	0,05	-0,08	0,05	0,11
P10xL70	-1,13	0,05	0,02	0,06	0,25	44,90	0,27	0,05	0,26	0,21	-0,26
P10xL76	0,25	0,00	-0,03	-0,14	-0,09	-46,65	0,56	-0,07	0,04	-0,08	-0,07
L53xL54	0,25	0,00	0,02	-0,03	0,87	137,98	0,61	0,08	0,37	0,14	-0,04
L53xL70	0,25	-0,06	-0,06	-0,30	0,68	102,16	0,28	0,05	0,02	0,16	0,13
L53xL76	0,25	-0,01	-0,03	0,00	0,17	182,52	0,22	0,03	0,00	0,02	0,08
L54xL70	0,38	-0,02	-0,05	-0,05	0,42	-87,00	-0,28	-0,03	-0,20	-0,02	0,04
L54xL76	0,63	-0,03	-0,02	0,42	-1,66	-590,53	0,00	0,03	0,13	0,02	0,17
L70xL76	-0,50	-0,05	-0,04	-0,01	-0,17	-236,57	0,26	-0,05	-0,15	-0,14	0,10
DMS	1,43	0,11	0,07	0,86	2,74	414,84	1,15	0,17	0,41	0,29	0,25
DP	0,61	0,05	0,03	0,37	1,17	176,98	0,49	0,07	0,17	0,13	0,11

CO= ciclo; AP= altura de planta; AE= altura da espiga superior; DC= diâmetro do colmo; CE= capacidade de expansão; PG= produtividade; M100= massa de cem grãos; PR= prolificidade; CS= comprimento do grão; LS= largura do grão; ES= espessura do grão

Os híbridos selecionados para as características AP, AE e DC foram P6xP8, P7xL70 e P8xL76, porém apenas AE obteve ER significativo. A Tabela 20 mostra as estimativas negativas para \hat{R}_{ij} para ambos os híbridos, assim, não devem ser utilizados os recíprocos, pois eles têm uma maior AE. O que corrobora os dados da Tabela 13, que mostra que o híbrido P6xP8 obteve AE de 0,65 e o seu recíproco (P8xP6), AE de 0,78 m, o P7xL70 obteve AE de 0,71, enquanto o seu recíproco (L70xP7) obteve AE de 0,78 m, o P8xL76 (0,68 m) e o seu recíproco (0,78 m).

Entre os híbridos selecionados por terem as melhores estimativas de \hat{s}_{ij} simultaneamente para CE e PG, apenas o P1xL76 obteve estimativa de \hat{R}_{ij} , a qual superou a DMS, que foi de 414,84 (Tabela 20). Esse híbrido obteve estimativa negativa de \hat{R}_{ij} , indicando que seu recíproco tem maior PG. Esses resultados podem ser observados na Tabela 13, em que o híbrido P1xL76 obteve 1137,0 e o seu recíproco (L76xP1), 2913,7 kg.ha⁻¹.

Para as características relacionadas com a forma do grão (CS, LS e ES), foram selecionados, de acordo com o \hat{s}_{ij} de ambas, os híbridos P1xP8 e P1xL70. Assim, para a característica CS, a única que foi significativa para ER, observou-se

que nenhum desses híbridos obteve \hat{R}_{ij} de magnitude superior à DMS (Tabela 20).

3.3.4.2.4 CONCLUSÕES

Houve um pronunciado efeito recíproco para ciclo, altura de espiga, produtividade de grãos e comprimento do grão.

As linhagens L53 e L70 mostraram simultaneamente capacidade geral de combinação favorável para capacidade de expansão e produtividade de grãos para a época da safra e a L70, para a época da safrinha.

Os melhores híbridos para capacidade de expansão e produtividade, na época da safra, foram P1xL70, P1xL76, P3xP7, P7xL54 e P8xL54. E para a época da safrinha, foram P1xL53, P1xL76, P8xL53, P8xL54 e P10xL53.

Os híbridos P1xL76 e P8xL54 obtiveram alta capacidade de expansão e produtividade para ambas as épocas.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Agrianual (2012) Anuário da agricultura Brasileira. São Paulo. Milho. FNP-Consultoria & Comercio. p. 408-409, novembro.
- Amaral Junior, A. T. do, Freitas Júnior, S. P., Rangel, R. M., Pena, G. F., Ribeiro, R. M., Morais, R. C., Schuelter, A. R.(2010). Improvement of a popcorn population using selection indexes from a fourth cycle of recurrent selection program carried out in two different environments. *Genetics and Molecular Research*, v. 9, p. 340-370.
- Andrade, R. A. de, C. D., Scapim, C. A., Silvério, L., Pinto, R. J. B., Tonet, A. (2002). Análise dialéctica da capacidade combinatória de variedades de milho-pipoca. *Acta Scientiarum*, Maringá, v. 24, p. 1197-1204.
- Andrade, R.A. Cruzamentos dialécticos entre seis variedades de milho-pipoca. 1995. 79f. Tese (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa.
- Antuna, O.G., Sanches, F.R., Rio, E.G. del, Torres, N. A. R., Garcia, L. B. (2003) Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, Chapingo, v.26, p.11-17.
- Association of Official Seed Analysts – AOSA. (1983) *Seed vigor testing handbook*. East Lansing: AOSA, 93p.
- Balbinot Junior, A. A., Backes, R. L., Alves, A. C., Ogliari, J. B., Fonseca, J. A. da. (2005) Contribuição de componentes de rendimento na produtividade de grãos em variedades de polinização aberta de milho. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, v.11, p. 161-166.
- Baldissera J. N. C., Valentini, G., Coan, M. M. D., Almeida, C. B., Guidolin, A. F., Coimbra, J. L. M. (2012) Capacidade combinatória e efeito recíproco em

características agronômicas do feijão. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 33, p. 471-480.

- Barreto, R. R., Scapim, C. A., Amaral Júnior, A. T. do, Rodovalho, M. A., Vieira, R. A., Schuelter, A. R. (2012) Avaliação da capacidade de combinação de famílias S2 de milho-pipoca por meio de diferentes testadores. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 33, n. 3, p. 873-890.
- Barros, A.S.R., Dias, M.C.L.L., Cicero, S.M., Krzyzanowski, F.C. (1999) *Teste de frio*. In: Krzyzanowski, F.C., Vieira, R.D., França Neto, J.B. (Eds.). Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: ABRATES, Cap.5, p.1-15.
- Benin, G., Silva, G. O. da, Pagliosa, E. S., Lemes, C., Signorini, A., Beche, E., Marcio Andrei Capelin, M. A. (2009).Capacidade de combinação em genótipos de trigo estimada por meio de análise multivariada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol.44, p. 1145-1151.
- Brasil, Ministério da Agricultura Agropecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. (2009) *Regras para Análise de Sementes*. Brasília, 398p.
- Broccoli, A. M., Burak, R. (2004) Effect of genotype x environment interactins in popcorn maize yield and grain quality. *Spanish J.of Agric.Res.* v. 2, p. 85-91.
- Brunini, O. (1997) Probabilidade de cultivo do milho safrinha no Estado de São Paulo. In: Seminário sobre a cultura do milho safrinha, 4. Resumos... Campinas: IAC/ Centro de Desenvolvimento Agropecuário do Médio Vale do Paranapanema, p. 37-53.
- Cabral, P.D.S., Soares, T. C. B., Lima, A. B. P., Soares, Y. J. B., Silva, J. A. da. (2011) Análise de trilha do rendimento de grãos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e seus componentes. *Revista Ciência Agrônômica*, v. 42, n. 1, p. 132-138.
- Carpentieri-Pípolo, V., Takahashi, H.W., Endo, R.M., Petek, M.R., Seifert, A.L. (2002) Correlações entre caracteres quantitativos em milho pipoca. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 20, n. 4, p. 551-554.
- Coimbra, R.C., Miranda, G.V., Viana, J.M.S., Cruz, C.D. (2001) Correlações entre características na população de milho pipoca DFT1-Ribeirão. *Revista Ceres*, Viçosa, v.48, n.278, p.427-435.
- Copeland, L. O., Mcdonald, M. B. (1995) *Principles of seed science and technology*. 3. ed., New York: Chapman & Hall, 409p.
- Cruz, C. D. (2013) GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum. Agronomy*, Maringá, v. 35, n. 3, p. 271-276.
- Cruz, C. D., Carneiro, P. C. S. (2006) Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético 2. ed. Viçosa: UFV, v. 2, 506p.

- Cruz, C. D., Regazzi, A. J. (1994) *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: UFV, Imp. Univ., 390p.
- Cruz, C.D., Regazzi, A.J. (2004) *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: UFV, 480p.
- Daros, M., Amaral Júnior, A. T. do, Pereira, M. G., Santos, F. S. (2004a). Recurrent selection in inbred popcorn families. *Sci. Agric.*, v. 61, p. 609-614.
- Daros, M., Amaral Júnior, A. T. do, Pereira, M. G., Santos, F. S. (2004b). Correlations among agronomic traits in two recurrent selection cycles in popcorn. *Cienc. Rural*, v. 34, p. 1389-1394.
- Delouche, J.C. (1985) *Nuevos caminos en la investigación sobre tecnología de semillas*. In: Memorias Tecnológicas de Semilla. CIAT. Colombia, 34p.
- Deobley, J. F. (1990) Molecular evidence for gene flow among *Zea* species. *Bioscience*, v. 40, p. 443-448.
- Dofing, S. M., Croz-Mason, N. D., Thomascompton, M. A. (1991) Inheritance of expansion volume and yield in two popcorn x dent crosses. *Crop Science*, v. 31, p. 715-718.
- Duarte, A. P., Paterniani, M. E. A. G.Z. (1998) *Cultivares de milho no Estado de São Paulo: resultados das avaliações regionais IAC/CATI/EMPRESAS – 1997/98*. Campinas: Instituto Agrônômico, 81p. (Documentos IAC,62).
- Durães, F. O. M., Chamma, H. M. C. P., Costa, J. D., Magalhães, P. C., Borba, C. da S. (1995) Índices de vigor de sementes de milho (*Zea mays* L.): Associação com emergência em campo, crescimento e rendimento de grãos. *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília, v.17, n.1, p.13-18.
- Dutra, A. S., Medeiros Filho, S. (2008) Teste de deterioração controlada na determinação do vigor em sementes de algodão. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 30, n. 1, p.19-23.
- Eagles, H. A., Hardacre, A. R. (1978) Genetic variation in maize (*Zea mays* L.) for germination and emergence at 100°C. *Euphytica*, Wageningen, v.28, n.2, p.287-295.
- Erwin, A. T. (1949) The origin and history of popcorn, *Zea mays* L. var. indurata (Sturt) Bailey mut. Everta (Sturt) Erwin. *Agronomy Journal*, v.41, n.2, p.53-56.
- Fachin, D. T., Scheer, A.P., Sampaio, E. (1993) Elaboração de pós para bebidas utilizando milho-pipoca. *Boletim do CEPPA*, Curitiba, v.11, n.1, p.11-16.
- Falconer, D. S. (1981) *Introduction to quantitative genetics*. 3 ed. New York: Longman, 489p.

- Ferrão, R.G., Silva, J. C., Cruz, C.D. (1985) Avaliação da capacidade combinatória de oito linhagens de milho em um sistema dialélico desbalanceado. *Revista Ceres*, v.32, p.283-292.
- Fischer, K. S., Palmer, F. E. (1984) *Tropical maize*. In: Goldsworthy, P.R., Fischer, N.M. (Eds.). *The physiology of tropical field crops*. New York: Wiley Interscience, 213-248p.
- Forsthofer, E.L., Silva, P.R.F. da, Strieder, G.A.M. L., Suhre, E., Rambo, L. (2004) Desenvolvimento fenológico e agrônômico de três híbridos de milho em três épocas de semeadura. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 23, n. 5, p.1341-1348.
- Freitas Júnior, S. P., Amaral Junior, A. T. do, Rangel, R. M., Viana, A.P. (2009a). Genetic gains in popcorn by full-sib recurrent selection. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* v.9, p1-7.
- Freitas Júnior, S. P., Amaral Junior, A. T. do, Rangel, R. M., Viana, A. P. (2009b) Predição de ganhos genéticos na população de milho-pipoca UNB-2U sob seleção recorrente, utilizando-se diferentes índices de seleção. *Semina*,v.30, p.803-814.
- Freitas Júnior, S. P., Amaral Júnior, A.T. do, Pereira, M. G., Cruz, C.D. (2006) Capacidade combinatória em milho-pipoca por meio de dialelo circulante. *Pesq. Agropec. Bras.*,v.41,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 (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas)-Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 96 p.
- Furtado, M. R., Cruz, C. D., Cardoso, A. A., Coelho, A. D. F., Peternelli, L. A. (2002) Análise de trilha do rendimento do feijoeiro e seus componentes primários em monocultivo e em consórcio com a cultura do milho. *Ciência Rural*. Santa Maria. v. 32, n.2, p.217-220.
- Galvão, J.C.C., Sawazaki E., Miranda, G.V. (2000) Comportamento de híbridos de milho pipoca em Coimbra, Minas Gerais. *Revista Ceres*, Viçosa, v.270, p.201-218.
- Gama, E.E.G., Hallauer, A.R., Ferrão, R.G., Barbosa, D.M. (1995) Heterosis in maize single crosses derived from a yellow Tuxpeño variety in Brazil. *Rev. Brasil. Genet.*, v.18, p.81-85.
- Gardner, C. O., Eberhart, S. A. (1966) Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. *Biometrics*, v. 22, n. 3, p. 439-452.
- Gavioli, E.A., Dilermando Perecin, and Antonio Orlando Di Mauro. (2008) Analysis of combining ability in soybean cultivars. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v8, p.001-007.

- Gomes, M.S., Von Pinho, E.V.R., Von Pinho, R.G., Vieira, M.G.G.C. (2000) Estimativas da capacidade de combinação de linhagens de milho tropical para qualidade fisiológica de sementes. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.24 (Edição Especial), p.41-49.
- Goodman, M.M., Smith, J.S.C. (1987) *Botânica* In: Paterniani, E., Viegas, G. P. (Ed.). Melhoramento e produção de milho. Campinas: Fundação Cargil, 1987, cap.1, 41-78p.
- Green Jr., V.E., Harris Jr., E.D. (1960) Popcorn quality and the measurement of popping expansion. *Proceedings of the Soil and Crop Science Society of Florida*, v.20, p.28-41.
- Griffing, J.B. (1956a) A generalized treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. *Heredity*, v.10, p. 31-50.
- Griffing, J.B. (1956b) Concept of general and specific ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Sciences*, v.9, n.4, p.462-93.
- Hallaeur, A.R., Miranda Filho, J.B. (1995) *Quantitative genetics in maize breeding*. 2.ed. Ames: Iowa State University Press, 468 p.
- Hallauer, A.R., Miranda Filho, J.B. (1988) *Quantitative genetics in maize breeding*. 2 ed. Ames. Iowa State University Press. 468 p.
- Hallauer, A.R., Miranda Filho, J.B., Carena, M.J. (2010). *Quantitative genetics in maize breeding*. Springer, New York.
- Hampton, J.M., Tekrony, D.M. (1995) *Handbook of vigour test methods*. Zürich: ISTA, 117p.
- Hayman, B. I. (1954) The analysis of variance of diallel tables. *Biometrics*, Washington, v. 10, 235-244.
- Hoseney, R.C., Zeleznak, K., Adelrahman, A. (1983) Mechanism of popcorn popping. *Journal Cereal Science*, London, v.1, p.43-52.
- IAC 2010. <http://www.iac.sp.gov.br/IACnaMidia/2012/Maio/milho-hibrido-pipoca.pdf>. Acessado em: 20 de dezembro de 2012.
- International Seed Testing Association (ISTA) (1995). *Handbook of vigour test methods*. 3.ed., Zürich, 117p.
- Johnson, R.R., Wax, L.M. (1978) Relationship of soybean germination and vigor tests to field performance. *Agronomy Journal*, Madison. v.70, n.2, p.273-278.
- Kantety, R.V., Zeng, X., Bennetzen, J., Zehr, B.E. (1995) Assessment of genetic diversity in dent and popcorn (*Zea mays* L.) inbred lines using inter-simple sequence repeat (ISSR) amplification. *Molecular Breeding*, v.1, p.365-373.

- Kurek, A. J., Carvalho, F. I. F. de, Assmann, I. C., Marchioro, V. S., Cruz, P. J. (2001) Análise de trilha como critério de seleção indireta para rendimento de grãos em feijão. *Revista Brasileira de Agrociência*. v.7, n.1, p. 29-32.
- Larish, L.B., Brewbaker, J. L. (1999). Diallel analyses of temperate and tropical popcorn. *Maydica*, Bergamo, v. 44, 279-284.
- Li, C. C. (1956) The concept of path coefficient and its impact on population genetics. *Biometrics*, Washington, v. 12, p. 190-210.
- Li, Y., Dong, Y., Niu, S., Cui, D.(2007c) The genetics relationships among plant-height traits found using multiple trait QTL mapping of a dent corn and popcorn cross. *Genome*, Toronto, v.50, n.4, p.357-364.
- Li, Y.L., Dong, Y.B., Niu, S.Z., Cui, D.Q. (2007a) QTL for popping characteristics in popcorn. *Plant Breeding*, v.126, p. 509-514.
- Li, Y.L., Niu, S.Z., Dong, Y.B., Cui, D.Q., Wang, Y.Z., Liu, Y.Y., Wei, M.G. (2007b) Identification of trait-improving quantitative trait loci for grain yield components from a dent corn inbred line in an advanced backcross BC2F2 population and comparison with its F2:3 population in popcorn. *Theor. Appl. Genet.*, v.115, p.129-140.
- Lima, M., Zinsly, J.R., Vencovsky, R., Melo, M.R. (1971) *Resultados parciais de um programa de melhoramento de milho (Zea mays L.) visando ao aumento da produtividade, caracteres agrônômicos e capacidade de expansão*. In: _____. Relatório científico do departamento e instituto de genética. Piracicaba: ESALQ, v.5, p.84-93.
- Lobato, P. N., Von Pinho, R. G., Von Pinho, E. V. R., Ramalho, M. A. P. (2005) Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de híbridos duplos de milho utilizando a geração F1 e F2 de híbridos simples. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.4, n.1, p.54-64.
- Lorenz, A. J., Coors, J.J., Leon, N. de, Wolfrum, J., Hames, B. R., Sluiter, A. D., Weimer, P. J. (2008) Characterization, Genetic Variation, and Combining Ability of Maize Traits Relevant to the Production of Cellulosic Ethanol. *Crop Science*, v. 49,n. 1, p. 85-98.
- Lu, H.J., Bernardo, R., Ohm, H.W. (2003) Mapping QTL for popping expansion volume in popcorn with simple sequence repeat markers. *Theor Appl Genet*, v. 106, p.423–427.
- Lyerly, P.J. (1942) Some genetic and morphological characters affecting the popping expansion of popcorn. *Journal American Society of Agronomy*, v. 34, p. 986-995.
- Malik, S.I.,Minhas, N.M., Munir, M. (2004)General and specific combining ability studies in maize diallel crosses. *International journal of agriculture & biology*. v. 6, n. 5, p. 856–859.

- Mangelsdorf, P.C. (1974) *Corn its origin, evolution and improvement*. Cambridge: Harvard University Press, 262p.
- Mangelsdorf, P.C., Smith Jr., C.E. (1949) A discovery of remains of primitive maize in New Mexico. *The Journal of Heredity*, Washington, v.17, p.39-43.
- Marcos Filho, J., Cícero, S.M., Silva, W.R. da. (1987) *Avaliação da qualidade das sementes*. Piracicaba: FEALQ, 230p.
- Marcos Filho, M. (2005) *Fisiologia de sementes de espécies cultivadas*. Jaboticabal: Funep, 546 p.
- Matta, F. P., Viana, J. M. S. (2001) Testes de capacidade de expansão em programas de melhoramento de milho pipoca. *Scientia Agricola*, v.58, n.4, p.845-851.
- Mcdonald Junior, M.B. (1975) A review and evaluation of seed vigour test. *Proceeding of the Association of Official Seed Analysts*, Lansing, v.65, n.1, p.108-139.
- Mino, M. (1980) Hybrid vigor in some characters of maize seedlings. *Japanese Journal Breeding*, Ikushugaku Zasshi, v.30, n.1, p.131-138.
- Miranda, G. V., Souza, L. V. de, Galvão, J.C.C, Guimarães, L. J. M., Melo, A. V. de, Santos, I. C. dos. (2008) Genetic variability and heterotic groups of Brazilian popcorn populations. *Euphytica*, v.162, p. 431–440.
- Molina, J.C., Irigon, D.L., Zonta, E.P. (1987) Comparação entre metodologias do teste de frio na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho (*Zea mays* L.). *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília, v.9, n.3, p.77-85.
- Monteiro, M. C. D., Clodoaldo Filho, J. A., Oliveira, F. J., Bastos, G. Q., Reis, O. V., Tabosa, J. N. (2008) Capacidade de combinação em híbridos interespecíficos de sorgo forrageiro. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 3, n. 2, p.111-115.
- Montgomery, D.C., Peck, E.A. (1981) *Introduction to linear regression analysis*. New York : J. Wiley, 504p.
- Moterle, L. M. (2010) *Análise dialélica da qualidade fisiológica e produtividade das semente de milho pipoca e milho*. Tese (doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Maringá (UEM) – Maringá – Paraná.
- 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.
- Moterle, L.M., Braccini, A.L., Scapim, C.A., Pinto, R.J.B., Gonçalves, L.S.A., Amaral Júnior, A.T. do, Silva, T.R.C. (2011) Combining ability of tropical maize lines for seed quality and agronomic traits. *Genetics and Molecular Research*, Ribeirão Preto, v.10, n.3, p.2268-2278.

- Nakagawa, J. (1994) *Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas*. In: Vieira, R.D., Carvalho, N.M. (Ed.) *Testes de vigor em sementes*. Jaboticabal: FUNEP, 48-85p.
- Oliveira, V.de.P.S. (1996) *Avaliação do sistema de irrigação por sulco da Fazenda do Alto em Campos dos Goytacazes - RJ*. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) - Campos dos Goytacazes - RJ, UENF, 94p.
- Ortiz, F.C., Santos, G.G. dos, Carballo-Carballo, A., Bergvinson, D., Crossa, J.L., Mendoz-Elos, M., Moreno-Martinez, E. (2006) Análisis dialéxico para caracteres de vigor de semilla y de plântula en genótipos de maíz tropical. *Revista Fitotecnia Mexicana*, Chapingo, v.32, n.1, p.77-87.
- 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.
- Paterniani, E. e Miranda Filho, J.B. (1978) *Melhoramento de populações*. In: Paterniani, E. (Ed.) *Melhoramento e produção de milho no Brasil*. Piracicaba, Esalq, 202-246.
- Paterniani, E., Campos, M.S. (2005) Melhoramento do milho. In: Borém, A. (Ed.). *Melhoramento de espécies cultivadas*. Viçosa: Editora UFV, p.491-552.
- Paterniani, M.E.A.G.Z., Guimaraes, P.S., Luders, R.R., Gallo, P.B., Souza, A.P. de, Laborda, P.R., Oliveira, K.M. (2008) Capacidade combinatória, divergência genética em linhagens de milho e correlação com a heterose. *Bragantia*, v.67, n. 03, p.639-648.
- Pena, G.F., Amaral Junior, A.T., Gonçalves, L.S.A., Candido, L.S., Vitorrazzi, C., Ribeiro, R. M., Freitas Junior, S.P. (2012). Stability and adaptability of popcorn genotypes in the State of Rio de Janeiro, Brazil. *Genetics and Molecular Research*, v.11, p.3042-3050.
- Pereira, A. F., Melo, P. G. S., Oliveira, J. P. de, Assunção, A., Bueno, L. G. (2008) Qualidade fisiológica de sementes e desempenho agrônômico de genótipos de milho doce. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 38, n. 4, p. 249-261.
- Pereira, M.G., Amaral Júnior, A.T. (2001). Estimation of genetic components in popcorn based on the nested design. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v.1, p.3-10.
- Pesey, N.V. (1970) Genetic factors affecting maize tolerance to low temperatures at emergence and germination. *Theoretical and Applied Genetics*, Berlim, v.40, n.8, p.350-356.
- Pfann, A.Z., Faria, M.V., Andrade, A.A. de, Nascimento, I.R. do, Faria, C.M.D.R, Bringhentti, R.M. (2009) Capacidade combinatória entre híbridos simples de milho em dialelo circulante. *Ciência Rural*, v.39, n.3, p. 635-641.

- Pimentel-Gomes, F. (1985) *Curso de estatística experimental*. 11. ed. Piracicaba: Nobel, 466p.
- Pinto, R.J.B., Kvitschal, M.V., Scapim, C.A., Fracaro, M., Bignotto, L.S., Souza Neto, I.L. de. (2007) Análise dialélica parcial de linhagens de milho-pipoca. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.6, n.3, p. 325-337.
- 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.
- Popcorn. Disponível em: <http://www.popcorn.org/Home/tabid/36/Default.aspx>. Acessado em 12 de dezembro de 2012.
- Popinigis, F. (1985) *Fisiologia da semente*. Brasília: Agiplan, 289p.
- Ramalho, M. A P., Santos, J. B. dos, Pinto, C. A. B. P. (2004) *Genética na agropecuária*. Lavras. Ed. UFLA, p.326.
- 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 Junior, A. T. do, Gonçalves, L. S. A., Freitas Júnior, S. P. (2011). Análise biométrica de ganhos por seleção em população de milho-pipoca de quinto ciclo de seleção recorrente. *Revista Ciência Agronômica* v.42, p. 473-481.
- Rangel, R.M., Amaral Junior, A.T., Scapim, C.A., Freitas Júnior, S.P., Pereira, M.G. (2008). Genetic parameters in parents and hybrids of circulant diallel in popcorn. *Genetics and Molecular Research*, v.7, p.1020-1030.
- 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, p.287-295.
- Ribeiro, R. M., Amaral Junior, A. T. do, Gonçalves, L. S. A., Candido, L. S., Silva, T. R. C., Pena, G. F. (2012) Genetic progress in the UNB-2U population of popcorn under recurrent selection in Rio de Janeiro. *Genetics and Molecular Research* v.11, p. 1417-1423.
- 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. 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.
- Rodvalho, M. A., Mora, F., Santos, E. M. dos, Scapim, C. A., Arnhold, E. (2008). Survival heritability in 169 families of white grain popcorn: A Bayesian approach. *Ciencia e Investigación Agraria*, v.35, p. 255-260.

- Roveri José, S. C. B., Von Pinho, E. V. R., Von Pinho, R. G., Silveira, C. M. da. (2004) Padrões eletroforéticos da enzima α -amilase em sementes de milho submetidas a alta temperatura de secagem. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 26, p.77-83.
- Sangoi, L., Almeida, M. L. de, Silva, P.R.F. da, Argenta, G. (2002) Bases morfofisiológicas para maior tolerância dos híbridos modernos de milho a altas densidades de plantas. *Bragantia*, Campinas, v. 61, p.101-110.
- Santos, F. S., Amaral Júnior, A. T. do, Freitas Júnior, S. P., Rangel, R. M., Scapim, C. A., Mora, F. (2008) Genetic gain prediction of the third recurrent selection cycle in a popcorn population. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 30, p. 651-655.
- Santos, F.S., Amaral Júnior, A.T., Freitas Júnior, S.P., 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*, v. 66, p.389-396.
- Santos, J. B. dos, Vencosvsky, R. (1986) Controle genético de alguns componentes do porte da planta em feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.21, p.957-963.
- Sarkissian, I.V., Kessinger, M.A., Harris, W. (1964) Differential rate of developments of heterotic and nonheterotic young maize seedlings. *Proceedings of the National Academy of Science*, Washington, v.51, p.212-218.
- Sawazaki, E. (2001) A cultura do milho pipoca no Brasil. *O Agrônomo*, v.1, p.11-13.
- Sawazaki, E., Gallo, P.B., Sordi, G., Longo, L.S. (1984) Estudo da capacidade de expansão em cruzamentos dialélicos entre variedades de milho-pipoca. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 15., Maceió. Anais... Brasília, EMBRAPA - DDT, p.157-160.
- Sawazaki, E., Paterniani, M.E.A.G.Z. (2004) *Evolução dos cultivares de milho no Brasil*. In: GALVÃO, J.C.C., MIRANDA, G.V. Tecnologias de produção do milho. 20.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, v.1, p.13-53.
- Sawazaki, E., Paterniani, M.E.A.G.Z., Castro, J.L. de, Gallo, P.B., Galvão, J.C.C., Saes, L.A. (2000) Potencial de linhagens de populações locais de milho pipoca para síntese de híbridos. *Bragantia*, v. 59, p. 143-151.
- Scapim, C. A., Amaral Júnior, A. T. do, 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, p. 321-330.
- 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, p. 219-230.

- Scapim, C.A., Braccini, A.L., Pinto, R.J.B., Amaral Júnior, A.T., Rodovalho, M.A., Silva, R.M. da, Moterle, L.M. (2006) Componentes genéticos de medidas e depressão por endogamia em populações de milho-pipoca. *Ciência Rural*, v. 36, p. 36-41.
- Scapim, C.A., Carvalho, C. G. P. de, Cruz, C. D. (1995) Uma proposta de classificação dos coeficientes de variação para a cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 30, p.683-686.
- Schmidt, E. R., Krause, W., Cruz, C. D. (2006) Melhoria na eficiência dos experimentos de indicação de cultivares de milho. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 30, p. 72-80.
- Shioga, P.S., Gerage, A.C. (2010) Influência da época de plantio no desempenho do milho safrinha no estado do Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.9, p. 236-253.
- Silva, S. A., Carvalho, F. I. F. de, Nedel, J. L., Cruz, P. J., Silva, J. A. G. da, Souza, C. S. (2005) Análise de trilha para os componentes de rendimento de grãos em trigo. *Bragantia*, v. 64, p. 191-196.
- Silva, T.R.C., Amaral Junior, A.T. do, Gonçalves, L.S.A., Candido, L.S., Vittorazzi, C., Carlos Alberto Scapim, C.A. (2013). Agronomic performance of popcorn genotypes in Northern and Northwestern Rio de Janeiro State. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 35, p. 57-63.
- Silva, V. Q. da, Amaral Júnior, A.T. do, Gonçalves, L.S.A., Freitas Júnior, S.P., Ribeiro, R.M. (2011) Heterotic parameterizations of crosses between tropical and temperate lines of popcorn. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 33, p. 243-249.
- Silva, V. Q. R. da. (2009). *Melhoramento de milho pipoca: capacidade combinatória de linhagens, parametrização heterótica e herança de características agronômicas*. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) – Campos dos Goytacazes – RJ.
- 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, p.1742-1750.
- Simom, G. A., Scapim, C. A., Pacheco, C. A. P., Pinto, R. J. B., Braccini, A. L., Tonet, A. (2004). Depressão por endogamia em populações de milho pipoca. *Bragantia*, v.63, n.1, p 55-62.
- Sprague, G.F., Tatum, L. A. (1942) General vs specific combining ability in single crosses of corn. *Journal of American Society of Agronomy*, v. 34, p. 923-932.
- Steel, R. G. D., Torrie, J. H. (1980) *Principles and procedures of statistics*. New York: McGraw-Hill, 633 p.

- Szundy, T., Kovacs, I. (1981) Study of cold tolerance in maize genotypes of various levels of heterozygosity and their hybrids. Emergence percentage in heterozygous genotypes. *Novenytermeles*, Budapeste, v.30, p.385-390, 1981.
- Tardin, F. D., Pereira, M. G., Gabriel, A. P. C., Amaral Júnior, A. T., Souza Filho, G. A. (2007). Selection index and molecular markers in reciprocal recurrent selection in maize. *Crop Breed. Appl. Biotechnol.*, v. 7, p. 225-233.
- Tekrony, D.M., Egli, D.B. (1991) Relationship of Seed Vigor to Crop Yield: A Review. *Crop Science*, v.31, p.816-822.
- Tekrony, D.M., Egli, D.B., Wickham, D.A. (1989) Corn seed vigour effect on no-tillage field performance and field emergence. *Crop Science*, v.29, p.1523-1528.
- Torres, S.B. (1998) Testes de vigor na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho. *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília, v.20, p.55-59.
- Troyer, A. F. (1996) Breeding widely adapted, popular maize hybrids. *Euphytica*, Wageningen, v. 92, p. 163-174.
- Vencovsky, R. (1970) *Aspectos teóricos e aplicados do cruzamento dialélico de variedades*. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de São Paulo – USP, Piracicaba – SP.
- Vencovsky, R., Barriga, P. (1992) *Genética biométrica aplicada ao fitomelhoramento*. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 335-486p.
- Vencovsky, R., Cruz, C.D. (1989) Comparação de alguns métodos de análise dialélica. *Revista Brasileira de Genética*. Ribeirão Preto, v.12, 425-438.
- 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* 56:273–281.
- Viana, M. S., Matta, F.P. (2003) Analysis of general and specific combining abilities of popcorn populations, including selfed parents. *Genetics and Molecular Biology*, v. 26, p. 465-471.
- Vieira, R.A., Rodvalho, M.A., Scapim, C.A., Tessmann, D.J., Tessmann, D. J., Amaral Junior, A.T. do, Bignotto, L.S. (2009b) Agronomic performance of new popcorn hybrids in Northwestern Paraná State, Brazil. *Acta Sci. Agron.*, v. 31, p. 29-36.
- 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., Souza Neto, I.L., Bignotto, L.S., Cruz, C.D., Amaral Junior, A. T., Scapim, C.A. (2009a) Heterotic parametrization for economically important traits in popcorn. *Acta Sci. Agron.* v. 31, p. 411-419.
- Vitorazzi, C., Amaral Junior, A.T. do, Gonçalves, L.S.A., Candido, L.S., Silva, T.R.C. (2013) Selecting pre-cultivars of popcorn maize based on nonparametric indices. *Revista Ciência Agronômica*, v.44, p.356-362.
- Wright, S. (1921) Correlation and causation. *Journal of agricultural Research*, Washington, v.20, p.557-585.
- Yoki. Disponível em: <http://www.yoki.com.br/pipoca/enciclo/index.asp>. Acessado em 12 de dezembro de 2010.
- Zanette, V.A. (1989) Análise da variabilidade genética em variedades de milho-pipoca (*Zea mays* L.): I. Heterose da capacidade de expansão do grão. *Agropecuária Sulriograndense*, Porto Alegre, v.25, p.173-181.
- Ziegler, K.E., Ashman, B. (1994) *Popcorn*. In: Hallauer, A.R. (Ed.) Specialty corns. Iowa: CRC Press, 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.