

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Programa de Pós-Graduação em Agronomia



Dissertação

Dialelo parcial e associação entre caracteres de rendimento em híbridos de milho

Diego Baretta

Pelotas, 2013

Diego Baretta

Dialelo parcial e associação entre caracteres de rendimento em híbridos de milho

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (área do conhecimento: Fitomelhoramento).

Orientador: Luciano Carlos da Maia, Dr. - FAEM/UFPeI

Co-orientador: Antonio Costa de Oliveira, Ph.D. - FAEM/UFPeI

Valmor Antonio Konflanz, Dr. - KSP Sementes Ltda., Pato Branco/PR

Pelotas, 2013

Catalogação na fonte

Gabriela Machado Lopes CRB: 10/1842

B248d Baretta, Diego

Dialelo parcial e associação entre caracteres em rendimentos de híbridos de milho / Diego Baretta; orientador Luciano Carlos da Maia. - Pelotas, 2013.

134 f. :il

Dissertação (Programa de Pós-graduação em Agronomia). Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2013.

1. *Zea mays* L., 2. Análise dialélica 3. Coeficiente de correlação 4. Rendimento de grãos 5. Análise de trilha I. Maia, Luciano Carlos da (orientador) II. Título

CDD 633.15

Banca Examinadora:

Luciano Carlos da Maia, Dr. - Dep. de Fitotecnia, FAEM/UFPeI

Antonio Costa de Oliveira, PhD. - Dep. de Fitotecnia, FAEM/UFPeI

Valmor Antonio Konflanz, Dr. - Pesquisador da Empresa KSP Sementes Ltda.

Velci Queiróz de Souza, Dr. - Centro de Educação Superior Norte – CERSNORS

A família:

Em especial, aos meus pais, Ilto Baretta e Ivanilce Masson Baretta, que primeiramente me presentearam com a vida, pelos valiosos ensinamentos dados, por ter dedicado suas vidas em esforços para minha formação, com muito amor, compreensão e apoio incondicional em minhas decisões.

A meu irmão Douglas Rodrigo Baretta, pelos valiosos conselhos, amizade, participação sempre ativa nos momentos mais difíceis e futuro colega de profissão.

A minha namorada Saionara Dalla Pasqua, pelo companheirismo, apoio e amor a mim dado.

Dedico

A Deus, pelo privilégio da vida e força espiritual.

Ao orientador professor Luciano Carlos da Maia, pela orientação, por todo seu empenho, paciência e sempre disposição por sanar dúvidas com o velho giz e quadro negro, a confiança e principalmente amizade formada por todos estes anos, pelo crescimento tanto intelectual quanto pessoal.

Ao co-orientador professor Antonio Costa de Oliveira, pela co-orientação, pelo apoio sempre dado, amizade, auxílio nos momentos que necessitei e pelos valiosos ensinamentos a mim transmitidos, oportunizando o amadurecimento como profissional e pessoa.

Ao co-orientador professor e pesquisador Valmor Antonio Konflanz, pela confiança sempre depositada à minha pessoa, aos preciosos ensinamentos e a primeira experiência profissional oportunizada, sempre incentivando-me e um dos principais mentores para que pudesse dar início a esta longa jornada acadêmica.

Ao professor Velci Queiroz de Souza, pela amizade a longa data, confiança sempre depositada à minha pessoa, e valiosos ensinamentos prestados, assim como toda sua equipe de bolsistas e estagiários do CESNORS - RS, em especial aos colegas Carlos e Maicon.

Aos colegas doutorandos, mestrandos, bolsistas de iniciação científica, estagiários do Centro de Genômica e Fitomelhoramento, pelo companheirismo, colaboração nos trabalhos, preciosos conselhos, pelos obstáculos vencidos, agregação de conhecimento e pelas sinceras amizades construídas.

A Universidade Federal de Pelotas, a Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel" e ao programa de Pós-Graduação em Agronomia por oportunizar o curso em que tenho grande orgulho de ter formação - Agronomia - além da Pós-Graduação na referida área.

A coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concessão da bolsa de Pós-Graduação.

Agradeço

Resumo

Baretta, Diego. **Dialelo parcial e associação entre caracteres de rendimento em híbridos de milho**. 2013, 134f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - RS.

No melhoramento de milho (*Zea mays* L.) a utilização de cruzamentos dialélicos visando combinações híbridas promissoras é prática comum, assim como o conhecimento da inter-relação entre rendimento de grãos e seus componentes, visando uma maior eficiência nos programas de melhoramento. Desta forma o objetivo deste trabalho foi estimar a capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação, utilizando o esquema de dialelo parcial entre linhagens endogâmicas de milho, assim como estimar os coeficientes de correlações fenotípicas entre caracteres de rendimento em milho e o desdobramento em efeitos diretos e indiretos pela análise de trilha. As combinações híbridas oriundas dos dois grupos heteróticos foram avaliadas em cinco ambientes de cultivo, utilizando-se delineamento de blocos casualizados. Avaliaram-se os caracteres: altura de plantas (AP), altura de inserção de espiga (AE), rendimento de grãos de parcela (RG), diâmetro de espiga (DE) e comprimento de espiga (CE). Realizou-se a análise dialélica, seguindo o método IV, modelo I adaptado para dialelos parciais para múltiplos ambientes. Detectaram-se diferenças significativas para cruzamentos entre todos os caracteres. O ambiente revelou significância entre todos os caracteres, com exceção de DE. A interação cruzamento e ambiente foi significativa para os caracteres AP e RG. As CGC's e CEC's foram significativas para todos os caracteres, revelando importância dos efeitos aditivos (CGC) e não-aditivos (CEC) na expressão dos caracteres, revelando predominância dos efeitos não-aditivos da CEC. Os genitores que apresentaram elevados valores de CGC foram 14 e 8 (grupo I) e 6' e 7' (grupo II) para os caracteres AE e AP, assim como dos genitores 15 e 4 (grupo I) e 3' e 4' (grupo II) para os caracteres RG, DE e CE. As combinações híbridas 10x4', 2x4', 12x4', 11x4', 10x3', 7x3', 9x3', 8x3', 14x3' e 15x7' se destacaram-se para os caracteres AE e AP apresentando elevadas magnitudes de CEC. Para os caracteres RG, DE e CE evidenciou-se elevados valores de CEC entre as combinações 3x1', 4x7', 1x1', 4x6', 15x2', 15x5' e 15x8'. Para as estimativas de correlação e análise de trilha foram mensurados caracteres primários e secundários envolvidos nos componentes do rendimento de grãos em milho em cinco locais distintos. Os resultados indicaram que rendimento de grãos de parcela apresentou estimativas positivas e significativas entre os caracteres diâmetro da espiga, peso de espiga, peso de grãos e massa de cem grãos nos ambientes classificados como desfavoráveis. Da mesma forma,

evidenciou-se associação significativa e positiva com prolificidade de plantas e rendimento de grãos de parcela em todos os locais analisados, e revelou elevado efeito direto positivo, indicando ser um caráter promissor via seleção indireta visando ganho genético para o rendimento de grãos na cultura.

Palavras-chave: *Zea mays* L., análise dialélica, coeficiente de correlação, rendimento de grãos, análise de trilha, capacidade geral e específica.

Abstract

Baretta, Diego. **Partial diallel association between characters and yield of maize hybrids**. 2013. 134f. Dissertation (Master of Science) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - RS.

For maize (*Zea mays* L.) using diallel hybrids order promising is common practice, as well as knowledge of the inter-relationship between grain yield and its components in order to achieve greater efficiency in breeding programs. Thus the aim of this study was to estimate the general (CGC) and specific (CEC), using the scheme of partial diallel among maize inbred lines as well as estimate the coefficients of correlations between traits in maize yield and unfolding direct and indirect effects in path analysis. The hybrid combinations stemming from two heterotic groups were assessed in five cultivation environments, using a randomized block design. Characters were evaluated: plant height (AP), ear insertion height (AE), grain yield plot (RG), ear diameter (DE) and ear length (CE). The intersection and environment interaction was significant for the characters AP and RG. The CGC's and CEC's were significant for all the characters, revealing the importance of additive (CGC) and non-additive (CEC) in the expression of the characters, noting the predominance of non-additive effects of CEC. The parents who had high values were CGC 14 and 8 (group I) and 6 'and 7' (group II) for AE and AP characters, as well as parents of 15 and 4 (group I) and 3 'and 4' (group II) for the characters RG, DE and CE. The hybrid combinations 10x4', 2x4', 12x4', 11x4', 10x3', 7x3', 9x3', 8x3', 14x3' and 15x7' can be up to the characters AE and AP presenting high magnitudes of CEC. For characters RG, DE and CE showed up high CEC values between combinations 3x1', 4x7', 1x1', 4x6', 15x2', 15x5' and 15x8'. For the correlation coefficients and path analysis were measured characters involved in primary and secondary components of grain yield in maize in five different locations. The results indicated that grain yield plot showed positive and significant estimates between characters ear diameter, ear weight, grain weight and weight of hundred grains in environments classified as unfavorable. Likewise, there was a significant positive association with prolificacy of plants and grain yield of the plot at all sites analyzed, and showed high positive direct effect and could be a promising character through indirect selection targeting genetic gain for grain yield in culture.

Keywords: *Zea mays* L., diallel analysis, correlation coefficient, grain yield, path analysis, general ability and specific.

Lista de Tabelas

3. Capítulo II -	Análise dialélica parcial entre linhagens endogâmicas de milho (<i>Zea mays</i> L.)	
Tabela 3.1	Resumo da análise de variância pelo modelo de análise dialélica conjunta, para os caracteres altura de espiga (AE), altura de planta (AP), rendimento de grãos de parcela (RG), comprimento da espiga (CE) e diâmetro da espiga (DE), de híbridos de milho de um esquema dialélico parcial, avaliados em cinco ambientes. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.....	69
Tabela 3.2	Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) dos 15 genitores femininos (Grupo I) para os caracteres altura de espiga (AE), altura de planta (AP), rendimento de grãos de parcela (RG), diâmetro da espiga (DE) e comprimento da espiga (CE) em milho. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.....	70
Tabela 3.3	Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) dos 8 genitores masculinos (grupos II), para o caráter altura de espiga (AE) em milho, para cinco ambientes. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.....	70
Tabela 3.4	Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) dos 15 genitores femininos (grupos I), para o caráter altura de plantas (AP) em milho, para cinco ambientes. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.....	71
Tabela 3.5	Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) dos 8 genitores masculinos (grupos II), para o caráter altura de planta (AP) em milho, para cinco ambientes. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.....	71
Tabela 3.6	Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) dos 8 genitores masculinos (grupos II), para o caráter rendimento de grãos de parcela (RG) em milho, para cinco ambientes. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.....	72
Tabela 3.7	Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) dos 8 genitores masculinos (grupos II), para o caráter diâmetro de espiga (DE) em milho, para cinco ambientes. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.....	72
Tabela 3.8	Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) dos 8 genitores masculinos (grupos II), para o caráter comprimento de espiga (CE) em milho, para cinco ambientes. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.....	73

Tabela 3.9	Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação para o caráter altura da inserção da espiga (AE) resultante dos cruzamentos 15x8 genitores em cinco ambientes. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.....	73
Tabela 3.10	Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação para o caráter altura de planta (AP) resultante dos cruzamentos 15x8 genitores em cinco ambientes. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.....	74
Tabela 3.11	Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação para o caráter rendimento de grãos de parcela (RG) resultante dos cruzamentos 15x8 genitores em cinco ambientes. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.....	76
Tabela 3.12	Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação para o caráter diâmetro de espiga (DE) resultante dos cruzamentos 15x8 genitores em cinco ambientes. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.....	78
Tabela 3.13	Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação para o caráter comprimento de espiga (CE) resultante dos cruzamentos 15x8 genitores em cinco ambientes. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.....	79
4. Capítulo III -	Correlação e análise de trilha entre rendimento de grãos e caracteres de importância agrônômica em distintos locais de cultivo	
Tabela 4.1	Resumo da análise de variância entre os caracteres rendimento de grãos de parcela (RG), plantas acamadas e quebradas (AC_QB), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), prolificidade (PROL), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), peso de espiga (PE), peso de grãos (PG), diâmetro de sabugo (DS), número de grãos da espiga (NG), peso de sabugo (PS) e massa de cem grãos (MCG) entre 25 híbridos de milho, nos cinco ambientes estudados. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.....	116
Tabela 4.2	Estimativa dos coeficientes de correlação de Pearson entre os caracteres rendimento de grãos de parcela (RG), plantas acamadas e quebradas (AC_QB), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), prolificidade (PROL), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), peso de espiga (PE), peso de grãos (PG), diâmetro de sabugo (DS), número de grãos da espiga (NG), peso de sabugo (PS) e massa de cem grãos (MCG) em 25 híbridos de milho, no município de	117

	Ampére - PR. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.....	
Tabela 4.3	Estimativa dos efeitos diretos e indiretos entre os caracteres plantas acamadas e quebradas (AC_QB), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), prolificidade (PROL), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), peso de espiga (PE), peso de grãos (PG), diâmetro de sabugo (DS), número de grãos da espiga (NG), peso de sabugo (PS) e massa de cem grãos (MCG) sobre o caráter rendimento de grãos de parcela (RG), obtido por análise de trilha (análise de trilha com colinearidade) em 25 híbridos de milho, no município de Ampére - PR. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.....	118
Tabela 4.4	Estimativa dos coeficientes de correlação de Pearson entre os caráter rendimento de grãos de parcela (RG), plantas acamadas e quebradas (AC_QB), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), prolificidade (PROL), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), peso de espiga (PE), peso de grãos (PG), diâmetro de sabugo (DS), número de grãos da espiga (NG), peso de sabugo (PS) e massa de cem grãos (MCG) em 25 híbridos de milho, no município de Clevelândia - PR. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.....	119
Tabela 4.5	Estimativa dos efeitos diretos e indiretos entre os caracteres plantas acamadas e quebradas (AC_QB), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), prolificidade (PROL), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), peso de espiga (PE), peso de grãos (PG), diâmetro de sabugo (DS), número de grãos da espiga (NG), peso de sabugo (PS) e massa de cem grãos (MCG) sobre o caráter rendimento de grãos de parcela (RG), obtido por análise de trilha (análise de trilha com colinearidade) em 25 híbridos de milho, no município de Clevelândia - PR. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.....	120
Tabela 4.6	Estimativa dos coeficientes de correlação de Pearson entre os caráter rendimento de grãos de parcela (RG), plantas acamadas e quebradas (AC_QB), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), prolificidade (PROL), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), peso de espiga (PE), peso de grãos (PG), diâmetro de sabugo (DS), número de grãos da espiga (NG), peso de sabugo (PS) e massa de cem grãos (MCG) em 25 híbridos de milho, no município de Itapiranga - SC. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.....	121
Tabela 4.7	Estimativa dos efeitos diretos e indiretos entre os caracteres plantas acamadas e quebradas (AC_QB), altura de espiga	122

(AE), altura de planta (AP), prolificidade (PROL), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), peso de espiga (PE), peso de grãos (PG), diâmetro de sabugo (DS), número de grãos da espiga (NG), peso de sabugo (PS) e massa de cem grãos (MCG) sobre o caráter rendimento de grãos de parcela (RG), obtido por análise de trilha (análise de uma cadeia) em 25 híbridos de milho, no município de Itapiranga - SC. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.....

Tabela 4.8	Estimativa dos coeficientes de correlação de Pearson entre os caráter rendimento de grãos de parcela (RG), plantas acamadas e quebradas (AC_QB), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), prolificidade (PROL), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), peso de espiga (PE), peso de grãos (PG), diâmetro de sabugo (DS), número de grãos da espiga (NG), peso de sabugo (PS) e massa de cem grãos (MCG) em 25 híbridos de milho, no município de Pato Branco - PR. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.....	123
Tabela 4.9	Estimativa dos efeitos diretos e indiretos entre os caracteres plantas acamadas e quebradas (AC_QB), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), prolificidade (PROL), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), peso de espiga (PE), peso de grãos (PG), diâmetro de sabugo (DS), número de grãos da espiga (NG), peso de sabugo (PS) e massa de cem grãos (MCG) sobre o caráter rendimento de grãos de parcela (RG), obtido por análise de trilha (análise de uma cadeia) em 25 híbridos de milho, no município de Pato Branco - PR. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.....	124
Tabela 4.10	Estimativa dos coeficientes de correlação de Pearson entre os caráter rendimento de grãos de parcela (RG), plantas acamadas e quebradas (AC_QB), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), prolificidade (PROL), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), peso de espiga (PE), peso de grãos (PG), diâmetro de sabugo (DS), número de grãos da espiga (NG), peso de sabugo (PS) e massa de cem grãos (MCG) em 25 híbridos de milho, no município de Frederico Westphalen - RS. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.....	125
Tabela 4.11	Estimativa dos efeitos diretos e indiretos entre os caracteres plantas acamadas e quebradas (AC_QB), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), prolificidade (PROL), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), peso de espiga (PE), peso de grãos (PG), diâmetro de sabugo (DS), número de grãos da espiga (NG), peso de sabugo (PS) e massa de cem grãos (MCG) sobre o caráter rendimento de grãos de	126

parcela (RG), obtido por análise de trilha (análise de uma cadeia) em 25 híbridos de milho, no município de Frederico Westphalen - RS. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.....

Tabela 4.12	Estimativa dos coeficientes de correlação de Pearson entre os caráter rendimento de grãos de parcela (RG), plantas acamadas e quebradas (AC_QB), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), prolificidade (PROL), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), peso de espiga (PE), peso de grãos (PG), diâmetro de sabugo (DS), número de grãos da espiga (NG), peso de sabugo (PS) e massa de cem grãos (MCG) em 25 híbridos de milho, nos cinco locais. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.....	127
Tabela 4.13	Estimativa dos efeitos diretos e indiretos entre os caracteres plantas acamadas e quebradas (AC_QB), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), prolificidade (PROL), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), peso de espiga (PE), peso de grãos (PG), diâmetro de sabugo (DS), número de grãos da espiga (NG), peso de sabugo (PS) e massa de cem grãos (MCG) sobre o caráter rendimento de grãos de parcela (RG), obtido por análise de trilha (um diagrama causal) em 25 híbridos de milho, nos cinco locais. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.....	128
Tabela 4.14	Estimativa dos índices ambientais e média dos locais entre 25 híbridos de milho, segundo metodologia proposta por Eberhart & Russell (1966), considerando os caracteres rendimento de grãos de parcela (RG, em kg), plantas acamadas e quebradas (AC_QB, em unidades), altura de espiga (AE, em m), altura de planta (AP, em m), prolificidade (PROL, em unidades), diâmetro de espiga (DE, em mm), comprimento de espiga (CE, em cm), peso de espiga (PE, em g), peso de grãos (PG, em g), diâmetro de sabugo (DS, em mm), número de grãos da espiga (NG, em unidades), peso de sabugo (PS, em g) e massa de cem grãos (MCG, em g), em cinco locais. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.....	129

Sumário

Resumo	vi
Abstract	viii
Lista de Tabelas	ix
1. Introdução geral	17
2. Capítulo I - Análise dialéctica e relação entre caracteres de importância agrônômica no melhoramento genético de milho híbrido (Revisão Bibliográfica)	22
2.1 Introdução	23
2.2 Classificação botânica, origem e domesticação	24
2.3 Importância socioeconômica	27
2.4 Milho Híbrido	28
2.5 Obtenção das linhagens	31
2.6 Análise dialéctica	32
2.7 Estimativas de correlação e análise de trilha entre caracteres	35
2.8 Considerações finais	36
2.9 Referências Bibliográficas	38
3. Capítulo II - Análise dialéctica parcial entre linhagens endogâmicas de milho (<i>Zea mays</i> L.)	42
3.1 Introdução	43
3.2 Material e métodos	46
3.3 Resultados e discussão	49
3.4 Conclusões	61
3.5 Referências Bibliográficas	63
4. Capítulo III - Correlação e análise de trilha entre rendimento de grãos e caracteres de importância agrônômica em distintos locais de cultivo	81
4.1 Introdução	82

4.2 Material e métodos.....	84
4.3 Resultados e discussão.....	88
4.4 Conclusões.....	107
4.5 Referências Bibliográficas	108
5. Discussão geral	131
5.1 Referências Bibliográficas (Introdução geral e discussão geral)	134

1. Introdução geral

A espécie humana tem sido altamente dependente das plantas para sua sobrevivência. Os produtos alimentares quase que em sua totalidade, são oriundos de plantas e seus derivados, sendo elas também, direta ou indiretamente, as maiores fontes do vestuário, combustíveis, medicamentos e materiais de construção. Devido a importância primordial das plantas, o homem tem se preocupado e vem buscando desenvolver constituições genéticas que sejam mais adaptadas as suas necessidades. Devido ao aumento da população, principalmente pós século XX, grandes avanços da genética e de técnicas que propiciem um maior desempenho em relação a caracteres agrônômicos de interesse, tem sido priorizado a tal ponto, que passou a ser considerada uma ciência, denominada melhoramento genético de plantas (ALLARD, 1971).

O melhoramento de plantas tem contribuído com cerca de 50% do aumento das principais espécies cultivadas pelo homem (FEHR, 1987). O progresso na produção por alimentos torna-se de suma importância visto que, a população mundial que atualmente é estimada em cerca de 7 bilhões de habitantes, alcançará 9 bilhões no ano de 2050, sendo assim, a produção agrícola precisará aumentar em 60% para atender a essa demanda de alimentos no decorrer desse período. Dentre as tecnologias capazes de suprir esse demanda por alimentos, que contribuem e deverão continuar contribuindo para este aumento da produção, o melhoramento genético de plantas se destaca (RAMALHO et al., 2012).

Um dos grandes feitos do melhoramento de plantas foi a produção de milho híbrido, sendo iniciada com os trabalhos de Shull, East e Jones, nas duas primeiras décadas do século XX. Até 1940, a produtividade estava estagnada, quando os primeiros híbridos foram recomendados aos agricultores. A partir disso, o incremento

em produtividade foi substancialmente elevado, como por exemplo, em Minnesota, EUA, onde a produtividade passou de 2.010 Kg ha⁻¹ em 1930 para 10.000 Kg ha⁻¹ em 2010 (RAMALHO et al., 2012).

Nesse contexto, o milho em função do seu elevado valor nutritivo, adaptação a distintas condições edafoclimáticas, além de apresentar elevados por unidade de área, é um dos cereais mais cultivados no mundo, assumindo grande relevância econômica e social (DUETE et al., 2009).

O milho é uma gramínea pertencente ao reino Plantae, divisão Magnoliophyta, classe Liliopsida, ordem Poales, família Poaceae, subfamília Panicoideae, tribo Maydeae, gênero *Zea* e espécie *Zea mays* L. É taxonomicamente identificado como *Zea mays* L. spp *mays*, para distinguir do seu parente silvestre mais próximo, o teosinto, ambos com $2n = 2x = 20$ cromossomos (PATERNIANI; CAMPOS, 1999).

O milho é um cereal essencialmente americano, pois são encontrados neste continente se seus parentes selvagens: *Teosinte* e *Tripsacum*. Fora das Américas não há evidências de fósseis e nem evidências linguísticas, históricas e pictóricas de milho. Antes da chegada de Cristóvão Colombo, o cereal já era cultivado pelos seus habitantes, desde o Canadá até a Argentina. As evidências indicam que o milho foi domesticado entre 8.000 a 10.000 anos atrás, tornando-se o principal cultivo das civilizações astecas, maias e incas (PATERNIANI; CAMPOS, 1999).

O uso do milho em grão como alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal, com cerca de 70% no mundo. No Brasil, cerca de 70 a 80% do milho produzido é utilizado na alimentação animal, principalmente avicultura e suinocultura, sendo o restante consumido pela indústria, para diversos fins (EMBRAPA, 2013).

De acordo com dados da Faostat (2013), para o ano de 2011, o milho foi o cereal mais produzido no mundo com 883,4 milhões de toneladas, seguido pelo arroz e trigo com 722,76 e 704,08 milhões, respectivamente. O Brasil ocupa a terceira posição mundial na produção do cereal, superado apenas pelos Estados Unidos e China (USDA, 2012). A produção de milho do Brasil na safra 2012/2013 foi de 80,25 milhões de toneladas em 15,86 milhões de hectares, com uma produtividade média de 3.495 kg ha⁻¹. A região Centro-Oeste apresenta a maior produção, com cerca de 34,13 milhões de toneladas, seguido das regiões Sul

(26,87), Sudeste (12,77), Nordeste (4,78) e Norte (1,67). O estado do Mato Grosso destaca-se como líder de produção nacional com 19,74 milhões de toneladas, seguido de Paraná (18,06), Minas Gerais (7,45), Goiás (6,97), Mato Grosso do Sul (6,95), Rio Grande do Sul (5,38), São Paulo (5,22), e Santa Catarina (3,42) em milhões de toneladas, respectivamente (CONAB, 2013).

No melhoramento convencional, as maiores dificuldades encontradas pelos melhoristas na busca de genótipos superiores de interesse consistem na herança genética dos caracteres, como rendimento de grãos e seus componentes, por serem caracteres quantitativos, ou seja, de herança complexa. Entretanto, o melhoramento genético dispõe de ferramentas para criação de novas cultivares, com superioridade agrônômica, e que atendam as exigências do mercado consumidor. Segundo Fehr (1987) a escolha de genitores somente com base no seu comportamento *per se* pode proporcionar progresso genético, entretanto tal progresso pode ser aleatório e de difícil repetibilidade.

Dessa maneira a análise dialéctica tem sido empregada na avaliação da capacidade combinatória, fornecendo estimativas de parâmetros úteis na seleção de genitores para cruzamentos artificiais, assim como no entendimento dos efeitos gênicos envolvidos na determinação dos caracteres. Entre as metodologias mais comumente utilizadas citam-se a proposta por Griffing (1956), onde são estimados os efeitos e as somas de quadrados de efeitos da capacidade geral e específica de combinação, a metodologia proposta por Gardner e Eberhart (1966), na qual são avaliados os efeitos de variedade e heterose varietal e a proposta por Haymann (1954), que gera informações sobre o mecanismo de herança do caráter em estudo, dos valores genéticos dos genitores e do limite de seleção (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Para Singh; Shahi e Langade (2013) o real valor de um genitor encontra-se na capacidade deste combinar-se com outro genitor, sendo isso atribuído a capacidade de combinação, ou seja, a capacidade relativa de um genitor em transmitir seu desempenho desejável para seus cruzamentos. Análises da capacidade de combinação não são apenas métodos rápidos para estimar a natureza genética de caracteres herdados quantitativamente, mas também oferece informações essenciais para seleção de genitores que evidenciem combinações híbridas superiores.

No melhoramento vegetal a seleção pode ser feita de modo direto, através de seu maior potencial produtivo ou nutritivo, ou feita de modo indireto, através da associação entre caracteres. Para Srećkov et al. (2010) o objetivo dos programas de melhoramento genético é a obtenção de novos híbridos que apresentem performance superior aos já existentes acrescido de um maior número de caracteres de interesse, entretanto, o rendimento de grãos, principal caractere alvo, apresenta uma herança quantitativa complexa dependente de um grande número de fatores.

As estimativas de correlação possuem essa aplicabilidade no melhoramento genético, principalmente como critério de seleção de genótipos superiores. Nesse sentido, quando um caractere almejado apresenta difícil seleção, devido a dificuldades de avaliação/identificação, ou apresenta baixa herdabilidade, pode-se ter maior eficiência ao selecionar de forma indireta caracteres de alta herdabilidade e fácil mensuração (CARVALHO et al., 2004).

No caso do milho, o rendimento de grãos segundo Hallauer; Carena e Miranda Filho (2010) apresenta uma herdabilidade menor que 30%, ou seja, é consideravelmente influenciado pelo ambiente. Contudo, esse caráter pode estar correlacionado com outros que sejam menos influenciados pelo ambiente ou com maior facilidade de mensuração, como por exemplo, altura de planta, altura de inserção de espiga, número de fileiras de grãos ou dias de florescimento que apresentam maiores herdabilidades, variando de 50 a 70%. Da mesma forma, citam-se os caracteres número de espigas, comprimento de grãos, diâmetro da espiga, peso da espiga e diâmetro do sabugo que apresentam herdabilidades que variam de 30 a 50%.

O entendimento das associações existentes entre caracteres é de fundamental importância visando à resposta correlacionada de seleção, podendo afirmar que, a seleção para determinado caráter, provoca alterações em outros que estão associados geneticamente. Isso possibilita o desenvolvimento de estratégias de seleção que proporcionem um equilíbrio na busca de genótipos que evidenciem um maior conjunto de caracteres ideais possíveis (FALCONER, 1989).

A existência de correlações genéticas e fenotípicas permite avaliar o quanto da alteração de um caráter pode afetar os demais durante o processo de seleção. No entanto, quando se têm muitos caracteres selecionados simultaneamente, as estimativas de correlação simples produzem uma informação incompleta. Isso

devido ao fato de que uma correlação alta entre dois caracteres pode ser resultado de uma terceira ou um grupo de caracteres atuando sobre o par de caracteres (CARVALHO et al., 2004).

Nesse contexto a análise de trilha, é uma ferramenta que os melhoristas dispõem para facilitar o entendimento das causas envolvidas nas associações entre caracteres, permitindo decompor a correlação existente em efeitos diretos e indiretos, através de uma variável principal, como o rendimento de grãos e as variáveis explicativas, ou seja, os componentes primários e secundários do rendimento (KUREK et al., 2001).

Portanto o objetivo geral do trabalho foi o de contribuir para a melhoria das técnicas de seleção, com escolha de genitores que expressem elevada capacidade combinatória, às combinações híbridas formadas, e aferir associações genéticas para um conjunto de caracteres de interesse agrônomo, potencializando os ganhos com a seleção. O trabalho teve os seguintes objetivos específicos: (1) estimar a capacidade geral e específica de combinação, por meio de um esquema dialelo parcial entre dois grupos heteróticos de linhagens endogâmicas de milho, com intuito de determinar informações sobre os efeitos gênicos envolvidos em caracteres de importância agrônoma e (2) estimar os coeficientes de correlação e avaliar o desdobramento das estimativas das correlações em efeitos diretos e indiretos pela análise de trilha, entre o rendimento de grãos em milho e caracteres que compõem os componentes do rendimento, assim como caracteres de importância relevante, de uso acessível aos programas de melhoramento.

2. Capítulo I

**Análise dialélica e relação entre caracteres de importância agronômica no
melhoramento genético de milho híbrido**

(Revisão Bibliográfica)

2.1 Introdução

O melhoramento de plantas apresenta expressiva importância e contribuição no desenvolvimento da humanidade, fornecendo progressivos incrementos no potencial produtivo das espécies cultivadas, assim como maior adaptação das plantas frente os diversos estresses ambientais, sendo uma necessidade cada vez maior nas condições atuais, visto o progressivo crescimento da população mundial juntamente com uma falta de expansão ou até mesmo redução das fronteiras agricultáveis, necessárias para manter a sustentabilidade agrícola (ARAUS et al., 2008).

O milho destaca-se neste contexto, pelo elevado valor nutritivo que apresenta, a adaptação a distintas condições edafoclimáticas e os elevados rendimentos que apresenta por unidade de área, o que o torna um dos cereais mais produzidos a nível mundial, assumindo grande importância social e econômica (DUETE et al., 2009). Pode-se dizer que é uma cultura estratégica do ponto de vista de segurança alimentar, desenvolvimento regional e afirmações comerciais, considerando neste enfoque, tanto o produto primário grãos, como seus derivados. Além da grande capacidade de geração de emprego e absorção de mão-de-obra na zona rural e urbana, a partir do milho tem-se mais de 500 derivados que são empregados nos mais diversos setores como a indústria alimentícia, química, de bebidas, fermentação, mecânica e de rações (PROCIANO; SOUZA; REZENDE, 2003).

A cadeia produtiva do milho é uma das mais importantes do agronegócio brasileiro, sendo que, apenas a produção primária, responde por 37% da produção nacional de grãos. A demanda crescente, tanto interna como externa, o coloca em destaque no setor, junto com a soja, é insumo básico para a avicultura e

suinocultura, dois mercados importantes e geradores de receita para o país (CARDARELLI; BACCHI, 2012).

2.2 Classificação botânica, origem e domesticação

O milho é uma gramínea que pertence ao reino Plantae, divisão Magnoliophyta, classe Liliopsida, ordem Poales, família Poaceae, subfamília Panicoideae, tribo Maydeae, gênero *Zea* e espécie *Zea mays* L. É taxonomicamente identificado como *Zea mays* L. spp *mays*, para distinguir do seu parente silvestre mais próximo, o teosinto, ambos com $2n = 2x = 20$ cromossomos (PATERNIANI; CAMPOS, 1999).

De acordo com a revisão de Buckler e Stevens (2006), cinco espécies do gênero *Zea* são reconhecidas atualmente, baseadas nas características morfológicas e nos delineamentos geográficos estabelecidos:

- a) *Zea diploperennis*: teosinto diplóide e perene, encontrado em regiões muito limitadas das montanhas do oeste do México;
- b) *Zea perennis*: teosinto tetraplóide e perene, também com distribuição restrita as montanhas do oeste do México;
- c) *Zea luxurians*: teosinto diplóide e anual, encontrado em regiões equatoriais do sudeste da Guatemala e Honduras;
- d) *Zea nicaraguensis*: teosinto diplóide, anual e muito próximo ao *Zea luxurians*, é encontrado na Nicarágua;
- e) *Zea mays* L.: compreende espécies diplóides e anuais, altamente polimórficas, incluindo outros teosintos e o milho cultivado.

Essa última espécie foi subdividida em quatro subespécies diplóides ($2n = 20$ cromossomos):

- a) *Z. mays* L. subsp. *huehuetenangensis*: teosinto anual encontrado em poucas montanhas do noroeste da Guatemala;
- b) *Z. mays* L. subsp. *mexicana*: teosinto anual das montanhas das regiões central e norte do México;
- c) *Z. mays* L. subsp. *parviglumis*: teosinto anual, comum no sudoeste do México;

d) *Z. mays* L. subsp. *mays*: milho, provavelmente domesticado no sul do México.

O milho é uma planta anual, de porte variável, com variedades que atingem entre 1 e 4 metros de altura, possui raízes fasciculadas que podem ter 1,5 a 3 metros de comprimento, sendo apresentado comumente com 30 centímetros, e adventícias que ajudam como suporte a planta, folhas são dispostas alternadamente e são suportadas pela superposição das bainhas que envolvem o colmo, o qual é compacto, comumente tem uma a três espigas, inflorescência feminina corresponde a um colmo com internódios mais condensado, onde a flor é parcialmente envolvida pela lema e pálea e um pistilo funcional está presente com um ovário basal único e estilos longos que expõem-se para a polinização. Na parte terminal do colmo está a flecha (inflorescência masculina) com um eixo central e várias ramificações laterais. O milho é uma planta monóica, em que o tipo de polinização principal é anemófilo. O grão de milho é o fruto de uma semente ou cariopse, a camada externa (pericarpo) é derivada da parede do ovário e pode ser incolor, vermelha, marrom, laranja e variegado. Dentro do grão está o endosperma e o embrião. O endosperma é responsável por aproximadamente 85% do peso total do grão, o embrião 10% e o pericarpo 5%. Com exceção de sua(s) camada(s) mais externa constituída por uma ou (raramente) algumas camadas de células de aleurona, o endosperma é constituído principalmente de amido. O embrião é posicionado em uma depressão da superfície superior do endosperma perto da base do grão. O escutelo consiste em uma modificação foliar que age como um órgão digestivo durante a germinação e desenvolvimento da plântula. A extremidade do broto é envolvida e protegida pelo coleóptilo, enquanto que a coleorriza envolve a raiz primária (PATERNIANI, 1978).

O milho é um cereal essencialmente americano, uma vez que no continente americano se encontram seus parentes selvagens: Teosinte e *Tripsacum*. Fora das Américas não há evidências de fósseis e nem evidências linguísticas, históricas e pictóricas de milho. Antes da chegada de Cristóvão Colombo, o cereal já era cultivado pelos seus habitantes, desde o Canadá até a Argentina. As evidências indicam que o milho foi domesticado entre 8.000 a 10.000 anos atrás, tendo se tornado o principal cultivo das civilizações astecas, maias e incas (PATERNIANI; CAMPOS, 1999).

Evidências indicam que populações (tribos) indígenas mexicanas iniciaram a domesticação instintivamente aperfeiçoando o milho, submetendo a cultura a um constante processo de seleção de plantas mais vigorosas, produtivas, resistentes às pragas e doenças e com maior adaptabilidade às condições edafoclimáticas. Assim, por meio de um processo de seleção contínuo, uma gramínea com vários colmos, espiguetas pequenas e poucos grãos foi sendo selecionada, até se transformar na planta de milho atual (MIRANDA FILHO; VIÉGAS, 1987).

Ramalho e Lambert (2004) relatam que, embora haja algumas controvérsias a respeito da origem evolutiva do milho, sabe-se que ele tem como parente silvestre mais próximo o teosinto (*Zea mays ssp. parviglumis*). O teosinto é uma planta com muitas ramificações laterais que saem de sua haste central e terminam em uma inflorescência masculina. Cada ramificação também possui uma inflorescência feminina, que dá origem a uma espiga pequena. O milho, entretanto, não perfilha e tem espigas maiores.

Foi demonstrado que essa diferença no afilhamento é devida apenas a um gene, o *tb1*, que contribui para o incremento acentuado na dominância apical, com isso, ocorre à concentração dos fotoassimilados no caule central da planta e a supressão dos ramos axilares. Segundo dados de Doebley et al. (1997), que isolaram o gene *tb1*, presente no milho, demonstraram que seu padrão de expressão atua tanto para crescimento de órgãos axilares, como permite a formação de inflorescência femininas. Além disso, estudando níveis de expressão, revelaram que o gene *tb1* do milho se expressa duas vezes mais no teosinto. Esse fato sugere que alterações no sistema regulatório do gene foram responsáveis pela divergência tão acentuada entre as duas espécies.

Já foram identificadas cerca de 300 raças e milhares de variedades que são cultivadas em diferentes condições ambientais (TEIXEIRA et al., 2005). No que diz respeito ao tipo de endosperma, 40% são amiláceos, 30% são grãos duros cristalinos, 20% são dentados, menos de 10% são pipocas, e cerca de 3% são milhos doces. Estima-se que cerca de 100.000 acessos de milho são mantidos em bancos de germoplasma em todo o mundo (CHANG, 1992).

Atualmente o milho vem sendo cultivado em quase todos os continentes. Em regiões compreendidas entre 58° de latitude Norte (Canadá e União Soviética) a 40° de latitude Sul (Argentina), distribuídas nas mais diversas altitudes, compreendendo

localidades situadas abaixo do nível do mar (Região do Mar Cáspio) até regiões apresentando mais de 2.500 m de altitude, nos Andes Peruanos (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

2.3 Importância socioeconômica

A cultura do milho confere inúmeras vantagens que justificam a sua ampla distribuição, tais como: (i) composição e valor nutritivo; (ii) alta produção por unidade de área; (iii) fonte de nutrição de fácil transporte; (iv) pequenas perdas de grãos causadas por pássaros e chuvas; (v) período longo de colheita e (vi) permite o armazenamento (JONES, 1985).

Devido a grande diversidade de aplicações, tanto na alimentação humana quanto na alimentação animal, assim como diversos usos em indústrias de alta tecnologia: farmacêuticas, cosméticas, siderúrgicas, pneumáticas, celulose, entre outras, a cultura de milho apresenta relevante importância social e econômica. Além da geração de empregos no setor primário, o milho é indispensável como fonte de matéria-prima para impulsionar diversos complexos agroindustriais (FANCELLI e DOURADO NETO, 2000).

Na realidade, o uso do milho em grão como alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal, isto é, cerca de 70% no mundo. No Brasil, cerca de 70 a 80% do milho produzido é utilizado na alimentação animal, principalmente avicultura e suinocultura, sendo restante consumido pela indústria, para diversos fins (EMBRAPA, 2013).

O incremento do consumo mundial do cereal vem ocorrendo desde o final do século XX, devido à alteração do hábito alimentar dos europeus e americanos que ampliaram o consumo de carne de aves, aumentando conseqüentemente a demanda por rações, cuja principal matéria prima é o milho (JASPER et al., 2009).

De acordo com dados da Faostat (2013), para o ano de 2011, o milho foi o cereal mais produzido no mundo com 883,4 milhões de toneladas, seguido pelo arroz e trigo com 722,76 e 704,08 milhões, respectivamente. O Brasil ocupa a terceira posição mundial na produção do cereal, superado apenas pelos Estados Unidos e China (USDA, 2012). A produção de milho do Brasil na safra 2012/2013 foi de 80,25 milhões de toneladas em 15,86 milhões de hectares, com uma

produtividade média de 3.495 kg ha⁻¹. A região Centro-Oeste apresenta a maior produção, com cerca de 34,13 milhões de toneladas, seguido das regiões Sul (26,87), Sudeste (12,77), Nordeste (4,78) e Norte (1,67). O estado do Mato Grosso destaca-se como líder de produção nacional com 19,74 milhões de toneladas, seguido de Paraná (18,06), Minas Gerais (7,45), Goiás (6,97), Mato Grosso do Sul (6,95), Rio Grande do Sul (5,38), São Paulo (5,22), e Santa Catarina (3,42) em milhões de toneladas, respectivamente (CONAB, 2013).

No Brasil, o milho merece destaque como matéria-prima principalmente para fabricação de vários pratos típicos como: canjica, cuscuz, polenta, curau, angu, mingaus, pamonhas, cremes, bolos, pipoca ou simplesmente milho cozido ou assado, sendo um alimento com alto potencial energético devido ao seu importante teor de amido.

Segundo Menegaldo (2013) componentes funcionais presentes na composição do milho, começaram a ser identificados nos últimos cinco anos, sendo de grande importância para a dieta humana e capazes de atuar na prevenção de doenças cardiovasculares e degenerativas, como alguns tipos de câncer. O milho apresenta carotenóides ligados à prevenção de doenças degenerativas da visão, auxiliando a prevenção de cegueira. O óleo que é extraído do gérmen contém, em sua composição, ácidos graxos insaturados que atuam no combate ao colesterol sanguíneo elevado e na prevenção de doenças cardiovasculares. Além disso, há a presença de tocoferóis, compostos biológicos que compõem o grupo da vitamina E, conhecida por suas propriedades antioxidantes. A presença de fitoquímicos com ação antioxidante, principalmente o ácido fenólico, o ácido ferúlico e os flavonóides estão associados à redução dos danos em células neuronais e à redução da lesão pré-cancerosa de câncer de cólon.

2.4 Milho Híbrido

O termo variedade híbrida é usado para designar as populações F₁ que são empregadas para cultivos comerciais. São obtidas pelo cruzamento de clones, variedades de polinização livre, linhagens endogâmicas ou outras populações que sejam geneticamente diferentes. O maior desenvolvimento de variedades híbridas tem ocorrido com o milho explorando a heterose através de hibridações artificiais,

sendo este, o método de melhoramento mais adequado para a cultura. Tal fato é facilitado por possuir estrutura morfológica das inflorescências estaminadas e pistiladas, aliada a uma disposição pela qual elas estão separadas uma da outra no espaço tornado desta forma, uma espécie que possibilita uma fecundação forçada e cruzamento controlado e, portanto, a produção de linhagens endogâmicas e sementes híbridas (ALLARD, 1971).

Os primeiros experimentos comparativos de plantas autofecundadas e cruzadas das mesmas espécies foram conduzidos por Darwin (1877). Posteriormente, Beal (1880) realizou hibridações entre variedades de polinização aberta, obtendo expressivo aumento da produtividade da população na geração posterior, apontando a hibridação como um método de aumentar a produtividade do milho. Shull (1909) apresentou um esquema básico para a produção de sementes de milho híbrido que é válido até hoje, que tem como premissa a obtenção das linhas puras e a utilização destas linhas puras para cruzamentos e produção de sementes de milho híbrido. East (1908), paralelamente, conduziu trabalhos visando estudar os efeitos da endogamia e da hibridação em milho. Julgava que o método de linhas puras não era viável do ponto de vista comercial. Wallace a partir de 1919 foi o primeiro melhorista de empresa privada a efetuar trabalhos de autofecundações para obtenção de linhagens de milho. Jones em 1918 sugeriu que para a utilização de híbrido comercial se utilizasse o híbrido duplo, mediante o cruzamento de dois híbridos simples, tornado a produção viável economicamente. Por volta de 1930, os primeiros híbridos foram introduzidos na região conhecida como “*Corn Belt*” nos Estados Unidos (PATERNIANI, 1978).

No Brasil, o primeiro programa de melhoramento de milho foi desenvolvido em 1932, no Instituto Agrônomo - IAC, em Campinas. No IAC, Krug e colaboradores produziram, o primeiro híbrido duplo brasileiro. No entanto, em 1935, Gladstone e Antonio Secundino iniciaram trabalhos de pesquisas em milho na Universidade Federal de Viçosa, produzindo em 1938, o primeiro híbrido comercial, sendo um cruzamento composto pelas variedades Cateto e Amarelão. Os trabalhos destes pesquisadores tiveram continuidade com a fundação da companhia Sementes Agroceres S/A (PATERNIANI; CAMPOS, 1999).

Segundo PATERNIANI (1978) as vantagens da utilização do milho híbrido são: (1) associar características de genitores/linhagens distintos no menor espaço

de tempo possível; (2) obter genótipos superiores em um prazo relativamente curto; (3) utilizar interações gênicas na geração híbrida; (4) produzir genótipos uniformes; (5) conseguir menor interação com o ambiente na geração F1 e (6) produzir comercialmente sementes de milho híbrido, com reflexos favoráveis sobre a economia da região.

De acordo com Carvalho et al. (2008) os tipos de híbridos que podem ser produzidos são:

a) Híbrido Simples: Obtido mediante cruzamento de duas linhagens endogâmicas (AA x BB). Em geral, é mais produtivo do que os outros tipos de híbridos, apresenta grande uniformidade de plantas e nos seus componentes do rendimento de grãos. As sementes tem alto custo porque são produzidas a partir de linhagens que não exibem alto potencial produtivo (plantas fracas e pequenas). Contudo, atualmente os melhoristas têm dirigido esforços no desenvolvimento de linhas endogâmicas de alto vigor.

b) Híbrido Simples Modificado: Utiliza-se como genitor fêmea um híbrido simples resultante do cruzamento de duas linhas irmãs, isto é, AA x A'A', e como genitor paterno uma outra linhagem (BB). O cruzamento AA x A'A' é realizado para aumentar o vigor da linhagem usada como fêmea, visando reduzir o custo de sementes com aumento de produtividade.

c) Híbrido Triplo: É obtido do cruzamento de um híbrido simples (AA x BB) com uma terceira linhagem (CC). O híbrido triplo é também bastante uniforme e como consequência são requeridas duas gerações para ser produzido a partir de linhagens. É um híbrido bastante uniforme, de menor custo sobre a semente, porém com menos heterose do que o híbrido simples.

d) Híbrido Duplo: Resultado do cruzamento de dois híbridos simples (AA x BB) x (CC x DD), envolvendo quatro linhagens endogâmicas. Para sua formação são necessárias duas gerações a partir das linhagens. Esse tipo de híbrido apresenta menor custo para produção de sementes, devido à elevada produtividade de sementes evidenciada pelos híbridos simples utilizados como genitores do híbrido duplo. Apresenta uma menor uniformidade e heterose que o híbrido simples e triplo.

e) Híbrido múltiplo ou sintético: São produzidos mediante a utilização de cinco ou mais linhagens endogâmicas. Tem pequena utilidade comercial, tendo

como principal vantagem a maior variabilidade genética, que pode resultar em maior adaptabilidade fenotípica. As gerações avançadas de um híbrido múltiplo podem ser utilizadas como fonte de novas linhagens e/ou como variedades de polinização aberta.

2.5 Obtenção das linhagens

Em um programa de melhoramento genético, para a obtenção de híbridos, algumas etapas são necessárias, sendo elas: 1) escolha das populações; 2) obtenção de linhagens endogâmicas; 3) avaliação da capacidade de combinação e 4) teste extensivo das combinações híbridas obtidas. De todas essas etapas, a escolha das populações a serem autofecundadas é de fundamental importância, pois todo o sucesso do programa dependerá dela (PATERNIANI; CAMPOS, 1999).

De acordo com Carvalho et al. (2008), o método padrão é o mais empregado para a obtenção de linhagens endogâmicas, que apresenta como premissa a autofecundação das plantas selecionadas fenotipicamente. A autofecundação consiste da polinização da espiga com o pólen da mesma planta. As plantas são selecionadas com base em caracteres fenotípicos como vigor, resistência a moléstias, pragas e outros caracteres de importância agrônômica.

A escolha de populações para obtenção de linhagens superiores é uma etapa crucial para o sucesso do programa de melhoramento. Diante disso, várias são as opções de populações base para extração de linhagens promissoras para produção de híbridos. Uma alternativa viável seria o uso de híbridos simples comerciais, tendo em vista a vantagem de já terem sido testados em vários ambientes, associando, dessa forma, alta produtividade com grande proporção de alelos favoráveis já fixados (AMORIM; SOUZA, 2005). Dessa forma, efetua-se sucessivos processos de auto-polinização até o predomínio de *loci* em homozigose da linhagem. Esse processo é alcançado com aproximadamente sete ciclos de auto-polinização, e apresentando 99,20% de *loci* em homozigose, sendo que, nesses ciclos são realizadas seleções das linhagens promissoras para caracteres agrônômicos pertinentes e mais favoráveis sob o ponto de vista do melhorista.

Para o desenvolvimento de híbridos produtivos, as linhagens devem possuir características segundo Poehlman e Sleper (1995) tais como: a) a semente das

linhagens deve ser vigorosa para produção de alta qualidade de sementes híbridas; b) a linhagem polinizadora necessita ter produção abundante de pólen viável e possuir um longo período de disponibilidade do mesmo e c) as linhagens necessitam possuir complementaridade de genes que contribuam para produtividade e outras características superiores em um híbrido.

Após obtenção da coleção de linhagens elites, vários métodos podem ser utilizados para avaliação da capacidade de combinação, onde podemos citar: dialélos completos, parciais, circulantes e *top cross*. Esses métodos são baseados nos conceitos da capacidade geral (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC), descritos por Sprague e Tatum (1942). Embora os processos para obtenção de linhagens possa parecer complicada e lenta, não constitui a maior dificuldade para a produção de híbridos. O processo para obtenção de boas combinações genéticas é extremamente crucial, pois nem todas as linhagens produzirão híbridos superiores, devido a sua baixa capacidade combinatória (CARVALHO et al., 2008).

2.6 Análise dialélica

As estratégias adotadas nos programas de melhoramento dependem do conhecimento prévio da genética dos caracteres de interesse, pois dessa forma, leva a um melhor conhecimento das relações genéticas dos genitores envolvidos nos cruzamentos, e podem ser úteis na escolha mais adequada de métodos de melhoramento e seleção a serem empregadas, bem como na estimativa do potencial genético das futuras linhagens. A análise dialélica vem sendo utilizada em muitas espécies cultivadas, apresentando vantagens na escolha mais eficiente de genitores e populações segregantes, bem como obter informações sobre o controle gênico dos caracteres (CRUZ; REGAZZI, 1994).

Dessa forma Hayman (1954) e Griffing (1956) sistematizaram estratégias para cruzamento dialélos, possibilitando a recombinação da variabilidade genética disponível, permitindo a obtenção de novos genótipos e gerando informações do controle genético para os caracteres avaliados neste esquema.

A análise dialélica é utilizada para estimar a capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC) (CRUZ; REGAZZI, 1994), e muito usada no melhoramento do milho, se mostrando eficiente

para detectar combinações genéticas entre as linhagens e a alocação destas em grupos heteróticos distintos (GONZALEZ et al., 1997; HAN et al., 1991; TERRON et al., 1997).

A capacidade geral de combinação é atribuída a efeitos aditivos sendo de grande importância seu conhecimento no programa de melhoramento para indicação e seleção de genitores. A capacidade específica de combinação está relacionada a efeitos gênicos não-aditivos, ou seja, de dominância completa, parcial e epistasia, que caracteriza a diferença das combinações híbridas em relação à média dos genitores. Além disso, podemos obter informações dos parâmetros genéticos, indicando os melhores genótipos para serem usados como genitor masculino ou genitor feminino para obtenção de híbrido, mediante seu desempenho como doador ou receptor de pólen (RAMALHO; SANTOS; PINTO, 2008).

Para Bagheri e Jelodar (2010) o desempenho *per se* do genitor não é suficiente em revelar a alta ou baixa capacidade de combinação. Portanto, reunir informações sobre o efeito gênico e sua expressão em termos de capacidade de combinação é necessário, e ao mesmo tempo, de elucidar a ação gênica envolvida na expressão dos caracteres de interesse.

Estimativas da capacidade de combinação usando esquema de cruzamento dialélico, tem sido amplamente utilizado para fornecer informações da performance do conjunto de genitores e seu padrão heterótico nos cruzamentos, assim como identificação de grupos heteróticos e prever o desempenho de novas populações e/ou combinações de híbridos derivados de tais cruzamentos (BELLO; OLAOYE, 2009).

Cruz e Regazzi (1994) classificam os cruzamentos dialélicos como balanceados ou desbalanceados, completos, parciais, circulantes e desbalanceados. Entre estes, os mais aplicados são os propostos por Griffing (1956), no qual são estimados os efeitos e as somas de quadrados de efeitos da capacidade geral e específica de combinação, a metodologia proposta por Gardner e Eberhart (1966), no qual são avaliados os efeitos da variedade e heterose varietal, e o proposto por Hayman (1954), que gera informações sobre o mecanismo básico de herança do caráter em estudo, dos valores genéticos dos genitores usados e do limite da seleção.

O método de Griffing (1956) é o mais utilizado, devido a sua generalidade, uma vez que os genótipos podem ser clones, linhas puras, linhas endogâmicas ou populações de autofecundação ou de cruzamento, além de apresentar facilidade nas análises e interpretações (VIANA, 2000).

Griffing (1956) sistematizou uma metodologia de análise dialélica em que os p possíveis genótipos podem ser distribuídos em uma tabela $p \times p$ e divididos em três grupos: (a) p genitores, (b) $p(p-1)/2$ híbridos F_1 's e (c) $p(p-1)/2$ híbridos F_1 's recíprocos. De acordo com a inclusão ou não dos genitores e/ou híbridos F_1 's recíprocos, esta metodologia pode ser classificada em quatro delineamentos experimentais:

Método 1: são incluídos as p^2 combinações;

Método 2: são incluídos $p(p + 1)/2$ combinações, excluindo os híbridos F_1 's recíprocos;

Método 3: são incluídas $p(p - 1)$ combinações, excluindo genitores;

Método 4: é incluído $p(p-1)/2$ combinações, excluindo os genitores e os híbridos F_1 's recíprocos;

De acordo com a natureza amostral, cada método deve ser analisado considerando um modelo fixo (Modelo 1), quando os genitores são deliberadamente escolhidos e não podem ser considerados como uma amostra ao acaso de uma população, ou analisado conforme modelo aleatório (Modelo 2), se os genitores são considerados como uma amostra ao acaso de uma população sobre a qual se deseja obter conclusões.

No entanto, se o objetivo do pesquisador for cruzar um conjunto de genitores com um ou mais testadores, deve utilizar o cruzamento dialélico parcial, assemelhando-se a um delineamento genético fatorial que permite o cruzamento entre grupos e não dentro de grupos (VENCOVSKY e BARRIGA, 1992; MIRANDA e GORGULHO, 2001).

Segundo Cruz; Regazzi e Carneiro (2012) os dialelos parciais dispõem da avaliação de dois grupos de genitores, pertencendo ou não a um grupo em comum, onde as inferências são feitas para cada grupo. Nos dialelos parciais, os genitores de um grupo são representados por um número constante, entretanto podem ser diferentes do número de combinações híbridas em que são representados o grupo de outros genitores. As gerações comumente avaliadas na

análise dialéctica parcial pode ser de F1's ou de F1's e genitores, e pelas informações genéticas que provem.

Segundo Veiga et al. (2000) a principal restrição oriunda dos cruzamentos dialécticos, ocorre quando tem-se um grande número de genitores envolvidos, e o número de combinações híbridas a serem avaliadas se torna relativamente grande.

2.7 Estimativas de correlação e análise de trilha entre caracteres

Em programas de melhoramento de plantas, grande parte dos caracteres de importância agrônômicas apresentam herança poligênica, sendo controlados por um grande número de genes de pequeno efeito, influenciados pelas condições ambientais, sendo denominados caracteres quantitativos (FALCONER; MACKAY, 1996).

Visto que o carácter rendimento de grãos em milho apresenta herança extremamente complexa, fica evidente a necessidade de estudos genéticos, principalmente relacionado com os componentes do rendimento, dado que, o rendimento é resultado da associação de vários componentes da planta (BIZETI et al., 2004).

O conhecimento da correlação fenotípica, genética e de ambiente entre os caracteres pode ser primordial quando se deseja fazer seleção simultânea de vários caracteres, seleção em um carácter de interesse que revela baixa herdabilidade, ou que seja de difícil mensuração (FALCONER, 1960).

Segundo Cruz e Regazzi (1994) a correlação que pode ser diretamente mensuradas a partir da medida de dois caracteres, em certo número de indivíduos da população, é a fenotípica. Esta correlação tem causas genéticas e ambientais, porém só as genéticas envolvem uma associação de natureza herdável, podendo ser utilizada para orientação de programas de melhoramento de plantas. Assim em estudos genéticos é indispensável distinguir e quantificar o grau de associação genética e de ambiente entre os caracteres.

Entretanto, os coeficientes de correlação, embora muito úteis para a quantificação da associação entre os pares de caracteres, pode gerar enganos quando estimativas foram de elevada magnitude, visto que pode ser devido a efeito indireto oriundo de outro carácter (BIZETI et al., 2004).

Com o intuito de entender melhor a associação entre caracteres, Wright (1921) propôs o método denominado análise de trilha (*path analysis*) que desdobra as correlações estimadas em efeitos diretos e indiretos de cada caráter sobre uma variável resposta, e permite avaliar se a correlação entre duas variáveis é de causa e efeito ou determinado pela influência de outras variáveis.

De acordo com Souza et al. (2008) as correlações existentes entre os componentes primários e os componentes secundários de produção podem proporcionar diferentes estratégias de seleção para fornecer melhorias no ganho genético para caracteres agrônômicos de interesse. Na cultura do milho ou em outros cereais de forma geral, os componentes primários são número de plantas/área, número de espigas/planta (prolificidade), número de grãos/espiga e peso de grãos. Os componentes secundários estão relacionados com o desenvolvimento da planta podendo ser a altura de planta, altura de espiga, dias para florescimento masculino e/ou feminino, número de nós, entre outros.

Magalhães et al. (2002) afirmam que a produção de grãos em milho e os componentes primários da produção correlacionam-se positivamente com uniformidade e velocidade de germinação, prolificidade, número total de folhas, número de folhas acima da espiga e eficiência de produção e, negativamente, com número de dias para florescimento, acamamento, número de ramificações do pendão, relação altura da espiga/altura da planta e ângulo de inserção foliar.

A produtividade de grãos segundo Balbinot et al. (2005) é determinada pela densidade de plantas, prolificidade, número médio de fileiras de grãos por espigas, número médio de grãos por fileira e massa média do grãos. O autor reforça o fato do uso de análises para detectar associações entre caracteres, como é o caso da análise de trilha, quando se têm muitas variáveis explicativas e uma variável básica ou dependente.

Ahmad e Saleem (2003) reportam que a eficiência dos programas de melhoramento, dependem principalmente da direção e magnitude das associações entre rendimento de grãos e seus componentes, assim como, da relação com que cada componente está envolvido na contribuição para expressão do mesmo.

2.8 Considerações finais

A escolha de genitores em programas de melhoramento genético de milho é a fase mais importante para a determinação do sucesso das futuras combinações híbridas. É nesta etapa que o melhorista, através de processos de seleção aloca grupos heteróticos que apresentem um ideótipo de planta tal que possa gerar híbridos superiores, a fim de atender as exigências do mercado. O conhecimento sobre a capacidade de combinação dos genitores é fundamental, e devido ao grande número de informações que a análise dialélica fornece ao melhorista, é intensamente utilizada em várias culturas, sendo muito empregada em programas de melhoramento de milho. A compreensão existente entre os caracteres agronômicos através das estimativas dos coeficientes de correlação e de trilha é de extrema importância para auferir maior eficiência durante os processos de seleção nos programas de melhoramento. Dessa maneira, fica evidente que a execução de estudos para alocação dos melhores genitores, assim como o entendimento das melhores associações genéticas entre caracteres, pode evidenciar um maior progresso genético nos programas de melhoramento de milho, com lançamento de bons híbridos, e que reflita ao produtor que o cultive uma elevada produtividade e qualidade do produto, gerando rentabilidade em sua propriedade.

2.9 Referências Bibliográficas

AHMAD, A.; SALEEM, M. Path Coefficient Analysis in *Zea mays* L. **International Journal of Agriculture & Biology**, v. 5, n. 3, p. 245-248, 2003.

ALLARD, R. W. **Princípios do melhoramento genético das plantas**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1971, 485 p.

AMORIM, E. P.; SOUZA, J. C. Híbridos de milho inter e intrapopulacionais obtidos a partir de populações S₀ de híbridos simples comerciais. **Bragantia**, Campinas, v.64, n. 3, p. 561-567, 2005.

ARAUS, J. L.; SLAFER, G. A.; ROYO, C.; SERRET, M. D. Breeding for yield potential and stress adaptation in cereals. **Critical Reviews in Plant Science**, v. 27, p. 377-412, 2008.

BAGHERI, N.; JELODAR, N. B. Heterosis and combining ability analysis for yield and related-yield traits in hybrid rice. **International Journal of Biology**, v. 2, n. 2, p. P222, 2010.

BALBINOT JR, A.; BACKES, R.; ALVES, A.; OGLIARI, J.; FONSECA, J. Contribuição de componentes de rendimento na produtividade de grãos em variedades de polinização aberta de milho. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.11, n. 2, p. 161-166, 2005.

BEAL, W. J. In rep. Michigan Bd. Agric., 1880, p. 287-288.

BELLO, O. B.; OLAOYE, G. Combining ability for maize grain yield and other agronomic characters in a typical southern guinea savanna ecology of Nigeria. **African Journal of Biotechnology**, v. 8, n. 11, 2009.

BIZETI, H. S.; CARVALHO, C. G. P. D.; SOUZA, J. R. P. D.; DESTRO, D. Path analysis under multicollinearity in soybean. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 47, n. 5, p. 669-676, 2004.

BUCKLER, E. S.; STEVENS, N. M. **Maize origins, domestication, and selection**. In: MOTLEY, T. J.; ZEREGA, N.; CROSS, H. Eds. New York: Columbia, p. 67-90, 2006.

CARVALHO, F. I. F.; LORENCETTI, C.; SILVA, S. A. **Condução de população no melhoramento genético de plantas**. Ed. Universidade Federal de Pelotas, 2008. 288 p.

CALDARELLI, C. E. ; BACCHI, M. R. P. Fatores de influência no preço do milho no Brasil. **Nova Economia**, v. 22, n.1, p. 141-164, 2012.

CHANG, T.T.. Availability of plant germplasm for use in crop improvement. In: STALKER, H.T.; MURPHY, J.P. (Ed.) **Plant breeding in the 1990s**. Melksham: Redwood Press, p.17-35, 1992.

CONAB. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso em 01 set. 2013.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4ª ed. Viçosa: UFV, 2012. 514 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 390. 1994 p.

DARWIN, C. The effects of crops and self-fertilization in the vegetal kingdom. D. Appleton and Company. New York, 1877, 482 p.

DOEBLEY, J.; STEC, A.; HUBBARD; L. The evolution of apical dominance in maize. **Nature**. London, v. 386, p. 485-488, 1997.

DUETE, R. R. C.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C.; TREVILIN, P. C. O.; AMBROSANO, E. J. Viabilidade econômica de doses e parcelamentos da adubação nitrogenada na cultura do milho em Latossolo Vermelho Eutrófico. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, p.175-181, 2009.

EAST, E. M. Inbreeding in corn. Conn. Agr. Exp. Sta. Rpt. 1907, 1908, p. 419-428.

EMBRAPA – Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho>> Acesso em 01 set. 2013.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4.ed. Harlow: Addison Wesley Longman, 1996. 464 p.

FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa: UFV. Imprensa Universitária, 1960. 279 p.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.

FAOSTAT. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>> Acesso em 10 set. 2013.

GARDNER, C. O.; EBERHART, S. A. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. **Biometric**, North Carolina, v.22, p. 439-452, 1966.

GONZALEZ, S.; CÓRDOVA, H.; RODRIGUEZ, S.; DE LEON, H.; SERRATO, V.M. Determinacion de un patron heterotico a partir de la evaluacion de un dialelo de diez lineas de maiz subtropical. **Agronomia Mesoamericana**, v. 8, p.1-7, 1997.

GRIFFING, B. Concept of general and specific ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, v. 9, n. 4, p.462-93, 1956.

HAN, G. C.; VASAL, S. K.; BECK, D. L.; ELIAS, E. Combining ability of inbred lines derived from CIMMYT maize (*Zea mays* L.) germplasm. **Maydica**, v.36, p.57-64, 1991.

HAYMAN, B. I. The theory and analysis of diallel crosses. **Genetics**, v.39, p. 789-809, 1954.

JASPER, S. P.; SEKI, A. S.; SILVA, P. R. A.; BIAGGIONI, M. A. M.; BENEZ, S. H.; COSTA, C. Comparação econômica da produção de grãos secos e silagem de grãos úmidos de milho cultivado em sistema de plantio direto. **Ciênc. agrotec.**, v. 33, n. 5, 2009.

JONES, C.A. **C4 grasses and cereals: growth, development, and stress response**. New York: Wiley, 1985.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P. e PAIVA, E. **Fisiologia do milho**. In: Circular técnico 22, 2002. p. 65.

MENEGALDO, J. G. A importância do milho na vida das pessoas. Grupo Cultivar de Publicações Ltda., Pelotas, 2013. Disponível em: <http://www.grupocultivar.com.br> Acesso em 05 set. 2013.

MIRANDA FILHO, J. B.; GORGULHO, E. P. Cruzamentos com testadores e dialelos. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES, M. C. (Ed.) **Recursos genéticos e melhoramento: plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, p. 650-671, 2001.

PATERNIANI, E.; CAMPOS, M. S. **Melhoramento do milho**. In: BORÉM, A. (ed.). Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: UFV, 1999. 429-486 p.

PATERNIANI, E. e VIÉGAS, G. P. (2ª ed. revisada). **Melhoramento e produção de milho**, Campinas: Fundação Cargill, 1987. 410 p.

PATERNIANI, E. **Melhoramento e produção do milho no Brasil**, Campinas: Fundação Cargill, 1978. 650 p.

POEHLMAN, J. M. e SLEPER, D. A. **Breeding Field Crops**. 4. ed. Iowa State University Press/Ames, 1995. 494 p.

PONCIANO, N. J.; DE SOUZA, P. M.; REZENDE, A. M. Entraves da comercialização à competitividade do milho brasileiro. **Revista Paranaense de Desenvolvimento-RPD**, n. 104, p. 23-40, 2003.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. A. B. P. **Genética na Agropecuária**. 4. ed. Lavras: UFLA, 2008. 461 p.

RAMALHO, M. A. P.; LAMBERT, E. S. Biometria e o melhoramento de plantas na era da genômica. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 3, n. 2, p. 228-249, 2004.

SHULL, G. H. A puri line method of corn breeding. **Amer. Breed. Assoc. Rep.**, v. 5, p. 51-59, 1909.

SOUZA, A. R. R.; MIRANDA, G. V.; PEREIRA, M. G.; FERREIR, P. L. Correlação de caracteres de uma população crioula de milho para sistema tradicional de cultivo. **Caatinga** (Mossoró, Brasil), v. 21, n. 4, p.183-190, 2008.

SPRAGUE, G. F.; TATUM, L. A. **General vs. specific combining ability in single crosses of corn**. Journal of American Society of Agronomy, Madison, v. 34, n.10, p. 923-932, 1942.

TEIXEIRA, F. F.; SOUZA, B. O.; ANDRADE, R. V.; PADILHA, L. **Boas Práticas na Manutenção de Germoplasma e Variedades Crioulas de Milho**. Sete Lagoas - MG. Comunicado Técnico n. 113, 2005. 8 p.

TERRON, A.; PRECIADO, E.; CÓRDOVA, H.; MICKELSON, H.; LÓPEZ, R. Determinacion del patron heterotico de 30 lineas de maiz derivadas de la poblacion 43SR del CIMMYT. **Agronomia Mesoamericana**, v. 8, p. 26-34, 1997

USDA. Disponível em: <http://www.usda.gov> Acesso em 10 set. 2013.

VEIGA, R. D.; FERREIRA, D. F.; RAMALHO, M. A. P. Eficiência dos dialelos circulantes na escolha de genitores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v. 35, n.7, p. 1395-1406, 2000.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496 p.

VIANA, J. M. S. The parametric restrictions of the Griffing diallel analysis model: combining ability analysis. **Genetics and Molecular Biology**, v. 23, n. 4, p. 877-881, 2000.

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**. Washington, v. 20, 1921, p. 557-585.

3. Capítulo II

Análise dialéctica parcial entre linhagens endogâmicas de milho (*Zea mays* L.)

3.1 Introdução

A cultura do milho responde por uma expressiva área de cultivo no território brasileiro, e merece destaque pela geração de empregos no setor agrícola, além de ser importante matéria-prima para a utilização na alimentação humana e animal, bem como na indústria para a produção de cola, amido, óleo, álcool, flocos alimentícios, bebidas e de muitos outros produtos importantes em nosso cotidiano. De acordo com Souza e Braga (2004), a importância do milho para a produção animal pode ser verificada pelo emprego de 80% de todo o milho produzido no país ser consumido na forma de ração, mostrando o papel indispensável para o desenvolvimento da agroindústria brasileira.

O Brasil se destaca como um dos maiores produtores de milho do mundo, superado apenas pelos Estados Unidos e China (FAOSTAT, 2013). De acordo com Conab (2013) a produção de milho do Brasil na safra 2012/2013 foi de 80,25 milhões de toneladas em 15,86 milhões de hectares, com uma produtividade média de 3.495 kg ha⁻¹. Apresenta um consumo interno na faixa de 55,53 milhões de toneladas, e devido a isso, destaca-se como um importante exportador do cereal no cenário econômico, com exportações girando a casa de 15 milhões de toneladas para este ano.

A cultura do milho apresenta perspectivas de considerável expansão, sendo necessária para atender a demanda gerada em virtude do progressivo aumento populacional, e principalmente, pelo aumento do consumo do cereal como matéria-prima para a fabricação de energia renovável, citando o etanol como exemplo (SILVA, 2004).

A importância das sementes híbridas para a cultura do milho fica bem evidenciada quando se compara a evolução da utilização de sementes híbridas e a

produtividade de grãos. Nas últimas seis safras, a utilização de sementes híbridas de milho passou de 10,84 milhões de sacas, safra 2006/2007, para 14,32 milhões na safra 2011/2012, apresentando uma taxa de utilização de sementes que passou de 85% para 91%, respectivamente. Isso é refletido diretamente na evolução da produção de grãos do país, evidenciando progressões referente à safra 2006/2007 de 50,97 milhões de toneladas, para 80,22 milhões de toneladas, safra 2011/2012 (APPS, 2013; ABIMILHO, 2013).

Os programas de melhoramento genético de milho obtiveram grande impulso, no início do século XX, com o desenvolvimento de linhas puras ou linhagens, oriundas do processo clássico de autofecundação das plantas por várias gerações, e com a descoberta do vigor híbrido ou heterose. Para Paterniani (2001) o conhecimento do vigor híbrido representa uma das maiores contribuições práticas da genética à agricultura mundial. O conceito de heterose, definido há mais de um século por George H. Shull (1909), continua sendo aplicado em várias espécies com uma maior ênfase na cultura do milho, onde a produção de híbridos se desenvolveu de maneira ímpar e a hibridação é recomendada como método adequado de melhoramento.

Para Barbieri et al. (2001) o objetivo do melhoramento genético é a obtenção de plantas com um desempenho superior as já existentes, e dessa forma qualquer avanço no conhecimento genético do caráter de interesse é importante para o melhorista de plantas, pois essa superioridade depende da expressão dos genes envolvidos, e também a taxa de ocorrência desta recombinação gênica que reflete em superioridade, depende do modo pelo qual esses genes são reorganizados.

Dessa forma, uma das primeiras decisões a serem tomadas pelo melhorista é a escolha adequada dos genitores para comporem os cruzamentos, e o método de análise dialélica é uma estratégia que permite a identificação precoce de genitores capazes de produzir uma progênie superior (TOMES, 1998). Santos (2009) reforça a ampla utilização do método de cruzamento dialélico pelos melhoristas de modo geral, para predição dos melhores genitores, visto as etapas trabalhosas e onerosas, assim como o tempo demandado pelas autofecundações sucessivas e a avaliação das linhagens quanto à capacidade de combinação.

Entre as metodologias de escolha de genitores mais comumente utilizadas, cita-se a proposta de Griffing (1956). Este modelo fornece informações sobre a

capacidade geral e específica de combinação dos genitores em cruzamentos artificiais. Neste, as somas dos quadrados de tratamentos são desdobradas em efeitos de capacidade geral de combinação (CGC), capacidade específica de combinação (CEC) e, dependendo do método, em efeitos recíprocos. A importância relativa das variâncias da CGC e de CEC estão relacionadas com os efeitos aditivos e não aditivos, respectivamente (LORENCETTI et al., 2005).

Hallauer e Miranda Filho (1995) reforçam o conhecimento dos efeitos da CGC e CEC, pois são parâmetros que auxiliam nos testes de hipóteses e predição de cruzamentos e são importantes para o conhecimento da estrutura genética de linhagens e populações.

Segundo Pinto (2009) a capacidade geral de combinação (CGC) refere-se ao comportamento médio de um genitor em cruzamento, enquanto a capacidade específica de combinação (CEC) aplica-se as progênies híbridas, e é entendida como os desvios da capacidade geral de combinação. As estimativas da CGC são empregadas para eliminação de genitores que de forma geral, participam da formação de híbridos inferiores, sendo utilizadas como parâmetro da superioridade do genitor em questão, frente aos demais genitores do dialelo em relação ao desempenho médio das progênies. A CEC tem maior aplicação quando os cruzamentos envolvem linhagens com alto grau de homozigose, fornecendo aborte para indicação das melhores combinações híbridas.

Diversos estudos genéticos sobre o caráter rendimento de grãos tem sido realizados, a fim de estimar as proporções da variância genética total que são atribuíveis aos efeitos aditivos e não aditivos. Hallauer e Miranda Filho (1988) relatam estimativas dos efeitos genéticos aditivos para esta característica com valores médios de 61,2%, sendo o efeito de dominância apresentando valores de 38,8 %, assumindo que não ocorra efeito de epistasia e nenhuma ligação. Tentativas têm sido feitas para estimar os efeitos aditivos e de dominância para outras características tais como, altura de plantas, altura de espiga, número de espigas, comprimento da espiga, diâmetro da espiga, número de grãos por fileira e profundidade de grãos na cultura do milho. A taxa para efeitos de dominância, em média, é consideravelmente inferior para estas características quando comparada ao rendimento de grãos, o que sugere que a maior parte dos efeitos genéticos podem ser atribuídos aos efeitos aditivos. A base fisiológica da capacidade de

combinação tem recebido pouca atenção, e pouca informação está disponível sobre as inter-relações das porções de efeitos aditivos e não-aditivos para as características fisiológicas que influenciam o rendimento de grãos (LEE; AHMADZADEH; TOLLENAAR, 2005).

Diversos exemplos de utilização da análise dialélica para seleção de genitores e estimação dos efeitos genéticos encontram-se disponíveis na literatura para milho (NIHEI et al., 2012; FIDELIS; MIRANDA; FALUBA, 2010; BORDALLO et al., 2005; OLIBONI et al., 2013), entre outros.

Com o exposto o objetivo deste trabalho foi estimar a capacidade geral e específica de combinação, por meio de um dialélo parcial entre linhagens endogâmicas de milho, a fim de determinar informações sobre os efeitos gênicos envolvidos em caracteres de importância agrônômica, com ênfase na seleção de constituições híbridas promissoras em cinco ambientes distintos de cultivo.

3.2 Material e métodos

Os cruzamentos artificiais entre as linhagens endogâmicas foram conduzidos na estação de pesquisa da empresa KSP Sementes Ltda. no município de Clevelândia-PR no ano agrícola de 2010/2011. No trabalho foram utilizadas 15 linhagens endogâmicas como genitores femininos, extraídas de híbridos simples comerciais que apresentavam características de elevado rendimento de grãos e 8 como genitores masculinos, extraídas de híbridos triplos comerciais com características de rusticidade, formando dois grupos heteróticos distintos e submetidos a cruzamento artificial conforme modelo dialélo parcial, resultando, conseqüentemente, em 25 combinações híbridas. O germoplasma utilizado foi oriundo do programa de melhoramento genético da empresa KSP Sementes Ltda., com sede no município de Pato Branco - PR. As sementes híbridas obtidas dos grupos de cruzamentos foram colhidas manualmente, secadas e preparadas para a semeadura dos ensaios.

A semeadura dos ensaios foi conduzida na safra agrícola 2011/2012 em cinco locais distintos dos três estados da Região Sul do Brasil. No Rio Grande do Sul, o ensaio foi conduzido no Município de Frederico Westphalen, sendo as coordenadas 27°23'47" de latitude sul e 53°25'35" de longitude oeste, com 480

metros de altitude no local do ensaio, a região situa-se no Norte do estado e possui como principais características climáticas temperatura mínima anual de 21,4°C e temperatura média máxima de 25,1°C, com clima de tipo sub-temperado sub-úmido, com índice de precipitação pluviométrica média anual de 1.828,1 mm. Em Santa Catarina, o ensaio foi conduzido no município de Itapiranga, sendo as coordenadas 27°10'10" de latitude sul e 53°42'44" de longitude oeste, com 206 metros de altitude no local do ensaio, região que situa-se no extremo oeste catarinense, possuindo clima sub-tropical úmido, com temperaturas média mínima anual de 13°C e máxima de 30°C, com índice de precipitação pluviométrica média anual de 1.810,00 mm. No Paraná, os ensaios foram conduzidos em três locais; Pato Branco, com as coordenadas 26°13'44" de latitude sul e 52°40'15" de longitude oeste com 760 metros de altitude no local do ensaio, com temperatura média máxima anual de 22°C mínima de 18°C, com clima do tipo sub-tropical úmido, com índice de precipitação pluviométrica média anual de 2.109,79 mm. Ampére com as coordenadas 25°54'20" de latitude sul e 53°25'54" de longitude oeste com 718 metros de altitude no local do ensaio, com clima sub-tropical úmido mesotérmico, com temperatura mínima anual de 18°C e máxima de 22°C. Clevelândia com as coordenadas 26°21'17" de latitude sul e 52°28'56" de longitude oeste com 860 metros de altitude no local do ensaio, com clima sub-tropical temperado, temperatura mínima anual de 11°C e máxima de 27°C, com índice de precipitação pluviométrica média anual de 1.317,00 mm.

O dialelo parcial foi conduzido em delineamento experimental de blocos completos ao acaso com três repetições por local nos cinco ambientes estudados. Antecipadamente a instalação do ensaio realizou-se verificação e levantamento das características estranhas, sendo que o modelo com blocos completos casualizados confere para os ensaios maior controle, priorizando a homogeneidade dentro do bloco e logrando a heterogeneidade entre blocos.

O modelo utilizado foi de acordo com Griffing (1956) método IV, modelo I adaptado para dialelos parciais para múltiplos ambientes, onde;

$$Y_{ij} = \mu + g_i + g'_j + s_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

sendo;

Y_{ij} : valor médio da combinação híbrida entre a i-ésima linhagem do grupo 1 e j-ésima linhagem do grupo 2;

μ : média geral do ensaio;

g_i : efeito da capacidade geral de combinação da i -ésima linhagem do grupo 1;

g_j : efeito da capacidade geral de combinação da j -ésima linhagem do grupo 2;

g_{ij} : efeito da capacidade específica de combinação entre as linhagens de ordem i e j , dos grupos 1 e 2, respectivamente;

ε_{ij} : erro experimental médio.

Para as somas de quadrados das capacidade combinatória, geral e específica, utilizam-se método dos mínimos quadrados e as equações $X'X\beta = X'Y$, derivadas do modelo linear $Y = X\beta + \varepsilon$.

As unidades experimentais foram compostas por duas linhas com cinco metros de comprimento, espaçadas 0,70 metros. As linhas de semeadura foram demarcadas com semeadeira de sistema de semeadura direta, realizando na mesma operação a adubação das linhas e logo, as sementes híbridas provenientes dos cruzamentos dos dois grupos heteróticos foram semeadas de forma manual. A época de semeadura foi realizada de acordo com o zoneamento agroclimático de cada local. O manejo do solo, e os tratos culturais foram os mesmos para os cinco locais obedecendo os estádios fenológicos e a necessidade da cultura, onde após a emergência e estabelecimento da cultura realizou-se o raleio manual, para ajuste do estande de 42 plantas por unidade experimental, o equivalente a 60.000 mil plantas ha^{-1} .

Foram avaliados os seguintes caracteres nos cinco ambientes de cultivo: a) altura da planta (AP) em metros; b) altura da inserção da espiga (AE) em metros; c) rendimento de grãos de parcela (RG) em Kg; d) diâmetro da espiga (DE) em milímetros e e) comprimento da espiga (CE) em centímetros.

Os dados foram submetidos à análise de variância individual, para comprovação da homogeneidade das variâncias, após realizou-se a análise conjunta dos híbridos nos cinco ambientes de estudo. Com a constatação de efeitos significativos para interação passou-se a análise dialélica conjunta com a montagem dos blocos de cruzamentos. Havendo interação para capacidade combinatória as estimativas foram geradas para cada ambiente, na ausência de interação as

estimativas foram logradas pela média dos ambientes, as análises foram elaboradas no programa computacional GENES (CRUZ, 2006).

3.3 Resultados e discussão

O resumo da análise de variância conjunta envolvendo os cinco ambientes para os caracteres altura de espiga (AE), altura de planta (AP), rendimento de grãos de parcela (RG), comprimento da espiga (CE) e diâmetro da espiga (DE), bem como suas estimativas dos quadrados médios dos efeitos para CGC e CEC são apresentados na tab. 3.1. A análise conjunta revelou efeito significativo para os fatores cruzamentos, capacidade geral combinação (CGC I, II), capacidade específica de combinação (CEC) para todos os caracteres analisados (tab. 3.1), evidenciando a existência de variabilidade entre os efeitos da CGC associados a efeitos gênicos aditivos e entre os efeitos da CEC associados aos efeitos não-aditivos. Segundo Aguiar et al. (2004) a variabilidade apresentada pela CGC permite inferir que as linhagens contribuíram diferentemente nos cruzamentos nas quais estavam envolvidas, na frequência de alelos favoráveis. A variabilidade entre os efeitos da CEC indica que existem combinações híbridas que tiveram performance diferente do que era esperado somente com base nos efeitos da CGC.

De acordo com Cruz; Regazzi e Carneiro (2012), os efeitos da capacidade de combinação tem grande importância nos programas de melhoramento de milho, sendo os valores de CGC uma das principais ferramentas utilizadas pelos melhoristas. Quando significativa, a CEC evidencia existência de variação não-aditiva (dominância e epistasia), sendo resultado de toda e qualquer interação intra/inter-alélica, de modo que os valores genotípicos são expressos em função do efeito individual de seus alelos e do efeito resultante de sua interação.

Os resultados desta análise evidenciam a presença de efeitos aditivos e não-aditivos no controle dos caracteres estudados, corroborando com resultados obtidos por Oliboni et al. (2013), Ferreira et al. (2008), Carvalho; Souza e Ramalho (2004) e Aguiar et al. (2003).

Em relação a contribuição relativa para os efeitos da CGC (grupo I e II) e CEC decorrentes da soma de quadrados das combinações híbridas, verificou-se que os efeitos não-aditivos (CEC) apresentaram maior relevância que os efeitos aditivos (CGC grupo I e II) para todos os caracteres analisados, com proporções de 66%,

26% e 7% para a CEC, CGC grupo II e CGC grupo I, respectivamente. Tal fato presume-se predominância dos efeitos não-aditivos entre os *loci* relacionados no controle genético dos caracteres. Além disso, a elevada magnitude apresentada dos efeitos da CEC revela que os genitores apresentam diferentes graus de complementaridade entre ambos os grupos, indicando que as combinações híbridas apresentam um desempenho fenotípico diferente do esperado somente com base nos efeitos da CGC na expressão dos caracteres em questão. Amiruzzaman et al. (2010) analisando a capacidade de combinação em um dialélio 7x7 de milho, verificaram que os efeitos não-aditivos evidenciaram magnitudes superiores aos aditivos em relação os caracteres comprimento da espiga e rendimento de grãos. Os mesmos autores ainda mencionam que, para o caráter rendimento de grãos há predominância do controle por ação gênica não-aditiva (dominância e epistasia).

Andrade et al. (2002) verificaram maiores magnitudes relativas aos efeitos da CEC para o caractere peso de grãos realizado em um esquema dialélico entre variedades de milho pipoca em 3 locais. Vivek et al. (2010) averiguando um esquema dialélico entre 12 linhagens endogâmicas para os caracteres rendimento de grãos e resistência a doenças, obtiveram uma contribuição de 63% dos efeitos da CEC na expressão do caractere rendimento de grãos. Da mesma forma, Oliboni et al. (2013) relataram efeito 9,7 vezes superior das ações gênicas da CEC para o caractere rendimento de grãos em um dialélio completo envolvendo 10 híbridos comerciais. Hefny et al. (2010) obtiveram maiores magnitudes das variâncias decorrente do efeito da CEC em relação a CGC para os caracteres comprimento de espiga e rendimento de grãos estudando o cruzamento de 13 linhagens endogâmicas com dois testadores. Analisando o cruzamento de 12 linhagens endogâmicas com cinco testadores afim de avaliar a capacidade combinatória visando híbridos promissores, Izhar e Chakraborty (2013) denotaram superioridade dos efeitos não-aditivos para os caracteres diâmetro de espiga, comprimento de espiga e rendimento de grãos em milho.

A fonte de variação ambiente mostrou efeito significativo para todos os caracteres, demonstrando comportamento distintos dos ambientes. Observa-se efeito significativo da interação cruzamentos x ambientes no dialélio para os caracteres AP e RG. De acordo com Locatelli; Frederizzi e Napolini Filho (2002), essa interação reduz a correlação entre o fenótipo e o seu genótipo, restringindo a

validade das inferências sobre o comportamento do ponto de vista do melhoramento e da herança de caracteres quantitativos. Para Pinto (2007), a interação entre híbridos simples e ambientes são frequentemente verificadas, visto a base genética estreita que esses híbridos apresentam, o que permite um comportamento diferenciado frente os ambientes de cultivo. Gerações mais homogêneas, linhagens e F1's tem uma maior interação genótipo x ambiente que gerações mais heterogêneas e F2's, assim como uma geração mais homocigótica apresenta uma maior interação em comparação a uma geração mais heterocigótica (VALDIVIA-BERNAL, 1991). Para Bernini e Paterniani (2012) a ausência de interação genótipo x ambiente é vantajosa para os programas de melhoramento, por facilitar a seleção dos melhores genótipos e a recomendação de cultivares.

Interação significativa da CGC com os ambientes ocorreu somente para os caráter AP para o grupo I, mostrando nesse grupo certa estabilidade dos cruzamentos em manter desempenho constante nos ambientes, considerando os demais caracteres. O grupo II revelou interação significativa para CGC e ambiente para os caracteres AE, AP, RG, CE e DE. Resultados semelhantes foram obtidos por Rodrigues et al. (2009) , que reforça o fato do efeito significativo da interação entre CGC e ambientes, revelando que linhagens parentais não exibem o mesmo comportamento “*per se*” e suas frequências alélicas diferem para certas características. Demonstra também que as linhagens contribuem de forma diferente na expressão desses caracteres nos ambientes em questão.

Já para o efeito da interação entre CEC e ambiente os caracteres AP e RG evidenciaram efeito significativo, mostrando efeito diferencial no comportamento esperado com base na capacidade geral de combinação de seus genitores. Carvalho; Souza e Ramalho (2004) relataram efeito significativo para interação CEC x ambiente para os caracteres altura de planta, produção de espigas em um dialelo circulante em 2 locais. Interação significativa entre CEC x ambiente também foram evidenciadas por Deitos et al. (2006) para o caráter rendimento de grãos, mostrando que os efeitos gênicos não-aditivos foram significativamente influenciados pelas alterações ambientais.

Na tab. 3.2 estão apresentadas as estimativas da capacidade geral de combinação para o grupo I e II de genitores. Uma vez que não houve interação da CGC com os ambientes para os caracteres AE, RG, DE e CE (Grupo I), os efeitos da

capacidade geral de combinação dos genitores foram estimados na média dos cinco ambientes. Para os caracteres AE, AP, RG, DE e CE (Grupo II) houve interação da CGC com os ambientes, e dessa forma os efeitos da capacidade geral de combinação dos genitores foram logrados para cada ambiente separadamente (tab. 3.3, 3.5, 3.6, 3.7 e 3.8).

De acordo com as estimativas da CGC verifica-se que os genitores 2, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14 pertencente ao grupo I, foram os que contribuíram para a diminuição da AE na média dos cinco ambientes, destacando os genitores 14 (-0,106), 8 (-0,103), 9 (-0,101) e 11 (-0,098) com as maiores magnitudes negativas para o caráter (tab. 3.2). As demais linhagens do mesmo grupo possuem efeitos positivos da CGC para o caráter em questão, sendo os genitores 15 (0,352), 4 (0,178), 13 (0,058) e 6 (0,005) apresentando as maiores estimativas positivas. A amplitude de variação entre os genitores do grupo I foi de 13,9 vezes o desvio padrão para AE.

Para o grupo II, que apresentou interação significativa da CGC com o ambiente (tab. 3.3), os genitores 1', 2', 5', 6', 7' e 8' apresentaram estimativas negativas de CGC para o caráter AE nos cinco ambientes, indicando diminuição da contribuição gênica para altura de espiga média nos cruzamentos em que participa. Estes genitores podem ser identificados como os mais promissores para serem inclusos em blocos de cruzamentos, pois a capacidade combinatória é uma característica herdável (AGUIAR et al., 2004). Pode-se destacar o genitor 6' que conferiu a menor estimativa média (-0,175) dentre o grupo II enfatizando superioridade nos ambientes Clevelândia (-0,23), Pato Branco (-0,146) e Frederico W. (-0,148). O genitor 7' conferiu superioridade nos ambientes Ampére (-0,174) e Itapiranga (-0,212), além de apresentar a segunda menor média geral do conjunto de genitores (-0,171). Indicando que, para maximizar o potencial dos híbridos com uma menor altura de espiga, para os ambiente analisados a escolha deve ser feita levando em consideração o genitor 6' e 7'. A amplitude de variação foi de 23,6, 24,5, 31,78, 10,78 e 27,74 vezes o desvio padrão para este grupo de genitores nos ambientes Ampére, Clevelândia, Itapiranga, Pato Branco e Frederico W. respectivamente.

De acordo com Sprague e Tatum (1942), baixas estimativas da CGC indicam genótipos com combinações que não diferem muito da média de todos os

cruzamentos do dialélo, ao passo que altos valores (positivos ou negativos) indicam genótipos melhores ou piores com os demais a que está se comparando. Segundo Vencovsky (1970) as maiores magnitudes associadas aos efeitos da CGC são apresentadas pelos genitores que possuem maiores frequências de alelos favoráveis referentes à característica em estudo.

Para AP a amplitude de variação foi 20,97 (Ampére), 18,22 (Clevelândia), 17,80 (Itapiranga), 17,11 (Pato Branco) e 21,50 (Frederico W.) vezes o desvio padrão dos genitores pertencentes ao grupo I, destacando os genitores 2, 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 14 que apresentaram estimativas negativas para CGC, para os cinco ambientes. O genitor 14 revelou as maiores estimativas para redução do caráter nos ambientes de Itapiranga (-0,238) e Pato Branco (-0,109) e a maior estimativa na média dos ambientes (-0,200) dentre o conjunto de genitores. Em Ampére e Frederico W., a melhor CGC para redução do caráter foi manifestada pelo genitor 8 apresentando magnitudes de -0,197 e -0,177 respectivamente, além de apresentar a segunda maior estimativa média dentre os genitores (-0,196). Em Clevelândia, o destaque foi o genitor 9 (-0,338) (tab. 3.4).

Para o grupo II verifica-se efeitos negativos da CGC para o caráter AP dos genitores 1', 2', 5', 6', 7' e 8'. O genitor 6' conferiu a maior estimativa negativa para Clevelândia (-0,544), Itapiranga (-0,368), Pato Branco (-0,170) e Frederico W. (-0,280) e evidenciando o maior efeito médio (-0,333) para redução do caráter nos ambientes, frente os demais genitores. O genitor 7' evidenciou o maior efeito para o ambiente de Ampére (-0,313) e o segundo maior efeito médio entre o conjunto de genitores (tab. 3.5). Dessa forma, o uso dos genitores 6' e 7' são considerados os mais promissores para a redução do caráter AP do grupo II. A amplitude de variação observada para o caráter foi de 39,00, 34,96, 31,27, 29,85 e 41,16 vezes o desvio padrões para os ambientes de Ampére, Clevelândia, Itapiranga, Pato Branco e Frederico W. respectivamente.

Carvalho, Souza e Ribeiro (2003) mencionam este efeito da interação com o ambiente, em que a CGC oriunda de um mesmo número linhagens, em termos médios para um conjunto de híbridos simples, apresenta maior interação com o ambiente em relação aos híbridos duplos (homeostase). Esse fato dificulta a seleção de um híbrido para vários locais, onde seu comportamento não é consistente nos

locais estudados. Assim, o ideal seria conduzir um programa de melhoramento específico para cada região, explorando essa interação à favor do melhoramento.

Para o caráter RG os genitores 1, 3, 4, 5, 6, 13 e 15 do grupo I apresentaram as maiores magnitudes positivas da CGC na média dos cinco ambientes, onde destacam-se os genitores 15 (2,525), 4 (1,266), 13 (0,362) e 1 (0,356). Evidenciou-se uma amplitude de variação para este caráter de 10,90 vezes o desvio padrão (tab. 3.2). Estimativas positivas da CGC de um genótipo indicam aumento na contribuição gênica para rendimento de grãos nos cruzamentos em que participa. Segundo Vencovsky e Barriga (1992), valores relativamente elevados da CGC indicam que tais genitores apresentam maior frequência de alelos favoráveis para o caráter. Gorgulho e Miranda Filho (2001), observaram em um dialélio parcial com populações de milho, que o parâmetro da CGC foi de grande importância para a produção de grãos e deve ser levado em conta no momento da seleção. Entretanto, Andrade et al. (2002) constatou maiores estimativas dos efeitos gênicos não-aditivos decorrente da CEC para o caráter peso de grãos em uma análise dialélica de variedades de milho pipoca em três ambientes.

Para o grupo II de genitores houve interação da CGC com o ambiente, evidenciando os genitores 3' e 4' com efeito positivo para o caráter (tab. 3.6). Os demais genitores apresentaram estimativas negativas para RG. A amplitude de variação foi de 23,97 (Ampére), 20,39 (Clevelândia), 17,84 (Itapiranga), 21,89 (Pato Branco) e 15,72 (Frederico W.) vezes o desvio padrão. O genitor 4' destacou-se com as maiores estimativas positivas para os ambientes de Ampére (2,506), Clevelândia (3,879), Itapiranga (3,148) e Frederico W. (2,078), e apresentando a maior média da CGC (2,897) entre os genitores. Já o genitor 3' conferiu a maior estimativa para o caráter no ambiente de Pato Branco (3,155), mostrando a especificidade do genitor neste ambiente. Em contrapartida, o genitor 6' registrou a maior estimativa negativa para os ambientes de Ampére (-1,065) e Clevelândia (-1,464) e apresentando a maior estimativa média negativa para o caráter (-1,118), seguido do genitor 8' com elevadas magnitudes negativas nos ambientes de Itapiranga (-1,208) e Pato Branco (-1,260) e a segunda maior estimativa média (-1,110) dentre os genitores. Para Frederico W. a maior estimativa negativa foi apresentada pelo genitor 7' (-0,815). Dessa forma, sugere-se que cruzamentos compostos pelos respectivos genitores acarretarão na redução do caráter alvo, e contrapondo os objetivos dos programas

de melhoramento na busca de genótipos com elevado rendimento de grãos. O rendimento de grãos em um programa de melhoramento de milho é um fator decisivo para a continuação do programa de pesquisa (ENGELSING et al., 2011).

Segundo Pinto et al. (2007) a variação apresentada nas estimativas de CGC entre os ambientes de avaliação, permite supor que os híbridos formados pelo intercruzamento desses genitores sofrem um efeito pronunciado da interação entre híbridos e locais. No entanto, o fato desses genitores apresentarem uma elevada CGC, na média dos ambientes, sugere que os mesmos apresentam elevada frequência de alelos favoráveis para rendimento de grãos.

Com relação aos efeitos da CGC, os genitores 1, 3, 4, 5, 6, 13 e 15 (Grupo I) revelaram valores positivos para o caráter DE na média dos cinco ambientes, destacando os genitores 15 (14,495) e 4 (8,077) com magnitudes positivas superiores, indicando aumento médio do diâmetro da espiga para os cruzamentos em que envolvam tais genitores (tab. 3.2). Os demais genitores apresentaram estimativas negativas para o caráter, sendo os genitores 8 (-4,301), 11 (-4,250) e 2 (-4,187) evidenciando os maiores efeitos negativos. A amplitude de variação foi 30,56 vezes o desvio padrão para o caráter DE neste grupo de genitores.

Segundo Fancelli e Dourado Neto (1999) em programas de melhoramento de milho visando o aumento do peso grãos, deve-se considerar o tamanho da espiga (diâmetro e comprimento), pois estes atuam indiretamente para o aumento do peso de grãos. Hefny (2011); Beiragi et al. (2011) reportaram coeficientes de correlação positiva entre os caracteres diâmetro de espiga e rendimento de grãos, indicando aumento linear do rendimento de grãos da cultura com seleção para espiga de maior diâmetro.

Para o grupo II, os genitores 3' (15,919) e 4' (19,147) apresentaram magnitudes positivas superiores para o caráter DE nos cinco ambientes (tab. 3.7). O genitor 4' evidenciou estimativas superiores nos cinco ambientes analisados, podendo-se afirmar que este genitor possui maior concentração de alelos favoráveis para o incremento do caráter. Observou-se amplitude de variação de 49,14, 59,44, 75,81, 55,27 e 56,98 vezes o desvio padrão logrado para DE nos ambientes Ampére, Clevelândia, Itapiranga, Pato Branco e Frederico W. respectivamente.

Observando os resultados da tab. 3.2, os efeitos positivos constatados para o caráter CE para o grupo I foram apresentados pelos genitores 1, 3, 4, 5, 6, 13 e

15. Conforme Cruz e Regazzi (1997), estimativas muito baixas de CGC indicam que a CGC do genitor *i* com base em seus cruzamentos não difere da média geral do dialélo. Por outro lado, valores elevados de g_i , positivos ou negativos, revelam que o genitor *i* é muito superior ou inferior, respectivamente, aos demais genitores do dialélo. Dessa forma, merecem destaque os genitores 15 (5,042) e 4 (2,867) com as maiores estimativas na média dos cinco ambientes. Já os genitores 8 (-1,475), 12 (-1,474) e 10 (-1,450) registraram as maiores estimativas médias negativas, dessa forma, esses genitores com altos valores negativos terão média de seus cruzamentos menores que a média geral dos híbridos, contribuindo com genes de ação aditiva para redução do caráter CE nos cruzamentos em que participarem. Ao analisar a amplitude de variação, verifica-se magnitudes de 20,43 vezes o desvio padrão concernente ao caráter CE pertencente ao grupo I de genitores.

Em relação ao grupo II, os genitores 3' e 4' evidenciaram estimativas positivas para contribuição do caráter CE (tab. 3.8). O genitor 4' obteve destaque em todos os ambientes estudados, assim com a maior média geral (6,566) do conjunto de genitores. No extremo negativo, o genitor 2' apresentou a menor estimativa em Ampére (-2,494), Pato Branco (-2,481) e Frederico W. (-2,177) e a menor média geral dos ambientes (-2,433) dentre os genitores. Para Clevelândia o genitor 7' (-2,398) evidenciou a menor estimativa. Em Itapiranga, a menor CGC do grupo II ocorreu para o genitor 6' (-2,669). Tais estimativas negativas implicam redução do caráter quando utilizado nos cruzamentos, fato indesejado para o melhoramento do milho. A amplitude de variação das estimativas da CGC verificada para o caráter CE (grupo II) foram 50,21, 42,40, 43,44, 31,01 e 32,73 vezes o desvio padrão para os ambientes Ampére, Clevelândia, Itapiranga, Pato Branco e Frederico W. respectivamente.

As estimativas dos efeitos da CEC, para as combinações híbridas entre as linhagens genitoras, por ambiente e na média para os caracteres AE, AP, RG, DE e CE estão apresentados nas tab. 3.9, 3.10, 3.11, 3.12 e 3.13.

Para o caráter AE não houve interação significativa da CEC x ambientes, portanto, foram obtidas as estimativas médias da CEC para os cinco ambientes. Segundo Cruz; Regazzi e Carneiro (2012) interessam ao melhorista as combinações híbridas, com estimativas da capacidade específica de combinação mais favorável, que envolvam pelo menos um dos genitores que tenha apresentado o efeito mais

favorável da capacidade geral de combinação. Em relação ao caráter AE, as maiores estimativas de CEC, na média geral, foram para as combinações 10x4' (-0,595), 2x4' (-0,594), 12x4' (-0,590), 11x4' (-0,587), 10x3' (-0,568), 7x3' (-0,561), 9x3' (-0,557), 8x3' (-0,555), 14x3' (-0,552) e 15x7' (-0,427). Observa-se que essas combinações apresentaram, na média geral, as maiores estimativas para redução da inserção da espiga, refletindo um alto grau de complementaridade alélica.

Os programas de melhoramento almejam genótipos promissores, particularmente no que se refere à altura ideal de planta. Bordallo et al. (2005) avaliando um cruzamento dialélico com genótipos de milho doce e milho comum, registrou correlações positivas entre altura de plantas, peso médio e comprimento de espigas, indicando que seleções para plantas mais altas implicaria em espigas maiores e mais pesadas, corroborando com resultados obtidos por Lemos et al. (1999). No entanto Campos et al. (2010) afirmam que maiores alturas de inserção da espiga na planta leva à predisposição ao acamamento, concordando com resultados obtidos por Casagrande e Fornasiere Filho (2002).

Sawazaki e Paterniani (2004), estudando as cultivares modernas de milho, mostraram uma tendência na redução da altura da planta e da altura da espiga, apresentando também uma arquitetura ereta das folhas e ciclo precoce, permitindo uma maior quantidade de plantas por hectare sem que haja estresse populacional.

Duvick (2005) estudando 51 híbridos e 4 variedades de polinização aberta em Iowa em uma série temporal de 1930 a 2001, mostrou tendência de redução da altura de inserção da espiga de aproximadamente 3 centímetros por década.

O caráter AP evidenciou interação significativa da CEC com os ambientes, indicando que houve resposta diferenciada dos genitores na contribuição de genes que exibem efeito não-aditivo para o caráter em função dos locais (tab. 3.10) .

Segundo Cruz; Regazzi e Carneiro (2012) baixos valores absolutos de CEC indicam que os híbridos F1's comportam-se como o que era esperado com base na capacidade geral de combinação (CGC) dos genitores, enquanto altos valores absolutos demonstram que o comportamento de um cruzamento particular é relativamente melhor ou pior do que era esperado com base na CGC. Para Vencovsky (1970) os maiores valores da CEC ocorrem entre os genótipos mais divergentes nas frequências dos genes com dominância, embora sejam também influenciados pela frequência alélica.

As estimativas negativas de maior magnitude da CEC para o caráter AP, foram obtidas nos cruzamentos 2x4' (-1,169), 10x4' (-1,156), 12x4' (-1,156), 11x4' (-1,155), 10x3' (-1,071), 7x3' (-1,067), 9x3' (-1,063), 8x3' (-1,061), 14x3' (-1,056), 15x1' (-0,984) e 15x7' (-0,826) que evidenciaram as maiores médias nos cinco ambientes. Cabe ressaltar que pelo menos um dos genitores envolvidos nos cruzamentos apresentou estimativas negativas superiores em todos os ambientes. Freitas Júnior (2006) enfatizou a importância de genitores que apresentem esta característica para serem inclusos nos programas de melhoramento com propósito de redução do porte da planta, visto a importância da ocorrência de acamamento principalmente em regiões de incidência de ventos fortes.

Para Sangoi et al. (2002a) plantas que apresentem redução na estatura e inserção de espiga podem aproveitar de forma mais eficiente o uso de adubações nitrogenadas, pois o centro de gravidade da planta fica mais equilibrado, reduzindo o acamamento e quebra de colmos e favorecendo a absorção e translocação de nutrientes à produção de grãos.

As estimativas da CEC para o caráter AP, em Ampére, apresentaram o melhor comportamento específico do cruzamento dos genitores 11x4' (-1,065), 10x4' (-1,061), 12x4' (-1,053), 2x4' (-1,51) e 10x3' (-1,003). As combinações 2x4' (-1,934), 12x4' (-1,919), 11x4' (-1,913), 10x4' (-1,898) e 8x3' (-1,727) se mostraram as mais promissoras para o ambiente de Clevelândia, uma vez que as estimativas da CEC para o caráter foram elevadas e negativas. Paralelamente, as combinações 10x4' (-1,258), 2x4' (-1,243), 12x4' (-1,242), 10x3' (-1,221) e 11x 4'(-1,218) destacaram-se para o ambiente de Itapiranga, revelando estimativas elevadas e negativas. As combinações híbridas mais favoráveis para o ambiente de Pato Branco foram 2x4' (-0,583), 11x4' (-0,578), 12x4' (-0,572), 9x3' (-0,571) e 10x4' (-0,567), uma vez que apresentaram as maiores estimativas negativas para o caráter. As estimativas de maior valor negativo da CEC para o ambiente de Frederico W. foram obtidas para as combinações híbridas 11x4' (-1,001), 12x4' (-0,995), 10x4' (-0,994), 2x4' (-0,988) e 7x3' (-0,895), indicando que estas combinações exploram vantajosamente os efeitos não-aditivos para redução do caráter.

Segundo Cruz; Regazzi e Carneiro (2012) interessam aos melhoristas as combinações híbridas, com estimativas da CEC mais favoráveis, mas que envolvam pelo menos um genitor que tenha apresentado o efeito mais favorável da CGC.

Nesse contexto, algumas combinações, mesmo apresentando uma elevada CEC, não devem ser exploradas em função das estimativas positivas da CGC dos genitores, como os cruzamentos 15x4' (-2,017), 4x4' (-1,698), 1x3' (-1,358) e 3x3' (-1,341) considerando a média geral dos ambientes.

O caráter altura de plantas é de grande relevância nos programas de melhoramento de milho, visto que, altura e inserção da espiga por serem caracteres que evidenciam uma alta correlação genética segundo Li et al., (2007), estão diretamente relacionados ao acamamento de plantas. Isso é explicado, pois uma alta relação inserção/altura de plantas pode diminuir o centro de gravidade da mesma, provocando o acamamento. De acordo com Silva et al. (2006) o acamamento é considerado um fator determinante na redução do rendimento de grãos em cereais em até 60%. Dessa forma, mostra a importância da seleção de combinações híbridas que apresentem superioridade para a redução do caráter altura de plantas.

As estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (CEC) referente ao caráter RG avaliada nos cinco ambientes são apresentados na tab. 3.11. A interação entre CEC e ambientes foi significativa, de maneira que as considerações devem ser baseadas nas estimativas de cada ambiente separadamente, corroborando com resultados obtidos por Deitos et al., (2006) analisando seis cultivares de milho em um cruzamento dialélico completo, mostrando que os efeitos genéticos não-aditivos para rendimento de grãos são influenciados por alterações ambientais. Portanto, para uma maior eficiência a seleção deve ser específica para cada ambiente. Aguiar et al., (2004) da mesma forma, constataram interação significativa entre CEC e o caráter rendimento de grãos, estudando um esquema de cruzamento dialélico envolvendo dez linhagens endogâmicas.

As maiores estimativas de CEC, na média geral foram verificadas pelas combinações 3x1 (6,478), 4x7 (5,969), 1x1 (5,947), 4x6 (5,862), 15x2 (5,493), 15x5 (4,742), 15x8 (4,662), 9x4 (4,223), 12x3 (4,174) e 2x3 (4,051). Aliado a isso, destaca-se os genitores 1, 3, 4, 5, 6, 13 e 15 (Grupo I) e 4 e 3 (Grupo II) que destacaram-se pelas estimativas positivas da CGC para o referido caráter. Segundo Bordallo et al. (2005) estimativas dos efeitos da CEC e os desvios-padrão indicam que os desvios de dominância são positivos, isto é, genes dominantes que contribuem para aumentar a expressão do rendimento de grãos. Contudo, os valores

da CEC próximos a zero, indicam que a heterose presente nos híbridos também será zero ou próximo deste.

As estimativas positivas de maior magnitude da CEC para o caráter RG em Ampére, foram obtidas nos cruzamentos 1x1' (5,461), 15x2' (5,042), 15x8' (5,036), 4x7' (4,850) e 4x6' (4,745). Em Clevelândia, destacam-se as combinação 4x7' (8,790), 3x1' (8,765), 1x1' (7,836), 4x6' (7,159) e 15x2' (6,340). Para Itapiranga merecem destaque as combinações 4x7' (6,583), 4x6' (6,359), 3x1' (6,233), 1x1' (6,078) e 15x2' (5,927) com as maiores estimativas de CEC. As combinações de maiores magnitudes positivas para Pato Branco foram 3x1' (7,139), 1x1' (6,931), 4x6' (6,791), 4x7' (6,389) e 15x2' (6,334), sendo as mais indicadas para este ambiente. Em Frederico W. as combinações 3x1' (4,321), 4x6' (4,259), 15x8' (3,943), 15x2' (3,824) e 1x1' (3,428) apresentaram estimativas superiores dos efeitos da CEC. Cabe salientar que, além da magnitude superior da CEC evidenciada nos cruzamentos, pelo menos um dos genitores envolvidos nos cruzamentos apresentaram elevada capacidade geral de combinação como sugerido por Aguiar et al. (2004) e Bordallo et al. (2005).

Silva e Miranda Filho (2003) relatam que para o rendimento de grãos é esperado que os cruzamentos expressem heterose como consequência dos efeitos de dominância completa e parcial dos genes que controlam o efeito do caráter. Da mesma forma, a expressão da heterose também depende do nível de distância genética dos genitores, ou seja, há necessidade de diferenças nas frequências alélicas para que haja a expressão da mesma. De acordo com Vencovsky e Barriga (1992) a comprovação de efeito significativo da CEC evidencia a existência de complementaridade específica entre os genitores, em *loci* com algum efeito de dominância alélica, contribuindo para desempenho superior de certas combinações híbridas, suprimindo a deficiência genômica de ambos.

As estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (CEC) referente ao caráter DE avaliada nos cinco ambientes são apresentados na tab. 3.12. A interação entre CEC e ambientes não revelou diferenças significativas para o caráter DE, o que permite inferir que as combinações híbridas mantiveram-se estáveis nos cinco ambientes avaliados. Nesse contexto, as maiores estimativas positivas da CEC, na média geral, foram para as combinações 3x1' (40,476), 1x1' (39,723), 4x6' (37,748), 4x7' (36,845), 15x2' (32,580), 15x8' (31,181), 15x5' (27,848)

e 12x3' (27,361). Cabe ressaltar, que pelo menos um dos genitores envolvidos nos respectivos cruzamentos apresenta uma CGC superior.

A seleção visando o caráter DE merece atenção por parte dos melhoristas visando ganhos genéticos para a cultura do milho, visto que vários autores obtiveram correlações positivas com diâmetro da espiga e peso de espiga (SANTOS et al., 2005; OLIVEIRA et al., 1987).

O caráter CE (tab. 3.13) não evidenciou efeito significativo com o ambiente, dessa maneira, as decisões do melhorista podem ser tomadas com base na CEC dos cruzamentos na média dos ambientes. Destaca-se os cruzamentos 1x1' (14,059), 3x1' (13,621), 4x7' (13,193), 4x6' (12,966), 15x8' (11,433), 15x5' (10,659), 15x2' (10,248) e 11x3' (9,498) revelando estimativas positivas da CEC, destacando-se como combinações mais promissoras para o caráter alvo. Para Hallauer; Carena; Miranda Filho (2010) a CEC se manifesta em função dos efeitos de dominância e epistasia e das diferenças alélicas apresentadas pelos genitores para os locos que são envolvidos no controle de determinado caráter. Dessa forma, genitores que apresentem elevadas magnitudes da capacidade combinatória são importantes nos programas de melhoramento genético de híbridos, visando combinações que apresentem complementaridade específica entre grupos heteróticos.

Segundo resultados obtidos por Divan et al. (2013) estudando a capacidade geral e específica de combinação entre 7 linhagens em S_6 e 3 testadores de milho, revelaram que os efeitos gênicos não-aditivos foram os principais responsáveis na expressão dos caracteres altura de planta, altura de espiga, diâmetro de espiga e comprimento de espiga, mostrando relevante importância na exploração via hibridação entre genitores específicos, e tornado as estimativas da CEC úteis para ganhos genéticos visando tais caracteres.

Pelos resultados obtidos e considerando os caracteres de importância agrônômica, fica evidente que os genitores envolvidos nesse dialelo podem ser explorados em programas de melhoramento, com a finalidade de obtenção de novos híbridos comerciais, em virtude da existência de variabilidade aditiva e não-aditiva em relação aos caracteres estudados.

3.4 Conclusões

Os genitores utilizados divergem geneticamente entre si nos *loci* que controlam os caracteres estudados, apresentando resultados promissores para utilização de suas combinações híbridas nos ambientes de estudo.

A ação gênica não-aditiva é a mais importante para o controle dos caracteres estudados.

Os genitores mais promissores quanto a participação dos efeitos gênicos aditivos com altos valores da CGC na manifestação dos caracteres são: 14 e 8 do grupo heterótico I e 6' e 7' grupo heterótico II (AE e AP) e 15 e 4 do grupo heterótico I e 4' e 3' do grupo heterótico II (RG, DE e CE) nos cinco ambientes estudados.

As melhores combinações híbridas que apresentam alta estimativa da CEC, além de possuir pelo menos um genitor com elevada CGC são: 10x4', 2x4', 12x4', 11x4', 10x3', 7x3', 9x3', 8x3', 14x3' e 15x7' para os caracteres AE e AP e 3x1', 4x7', 1x1', 4x6', 15x2', 15x5' e 15x8' para os caracteres RG, DE e CE nos cinco ambientes estudados.

A análise dialélica parcial mostra-se eficiente no estudo da CGC dos genitores de milho e dos efeitos da CEC estimados em combinações híbridas obtidas nos cruzamentos entre genitores de diferentes grupos.

3.5 Referências Bibliográficas

ABIMILHO, 2013. Oferta e demanda de milho do Brasil. Disponível em: < <http://www.abimilho.com.br>>. Acesso em: 20 set. 2013.

AGUIAR, C. G.; SCAPIM, C. A.; PINTO, R. J. B.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; SILVÉRIO, L.; ANDRADE, C. A. B. Análise dialéctica de linhagens de milho na safrinha. **Ciência Rural**, v. 34, n. 6, 2004.

AGUIAR, A. M.; CARLINI-GARCIA, L. A.; SILVA, A. R. D.; SANTOS, M. F.; GARCIA, A. A. F.; SOUZA JR, C. L. D. Combining ability of inbred lines of maize and stability of their respective single-crosses. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 1, p. 83-89, 2003.

AGUIAR, A. M.; CARLINI-GARCIA, L. A.; SILVA, A. R.; SANTOS, M. F.; GARCIA, A. A. F.; SOUZA JR, C. L. Combining ability of inbred lines of maize and stability of their respective single-crosses. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 1, p. 83-89, 2003.

AKBAR, M.; SALEEM, M.; MUHAMMAD, F.; ASHRAF, M. K.; AHMAD, R. A. Combining ability analysis in maize under normal and high temperature conditions. **Journal of Agricultural Research**, v. 46, 2008.

ANDRADE, R. A.; CRUZ, C. D.; SCAPIM, C. A.; SILVÉRIO, L.; BARTH PINTO, R. J.; TONET, A. Análise dialéctica da capacidade combinatória de variedades de milho-pipoca. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 24, n. 5, p. 1197-1204, 2002.

AMIRUZZAMAN, M.; ISLAM, M. A.; HASSAN, L.; ROHMAN, M. M. Combining Ability and Heterosis for Yield and Component Characters in Maize. **Academic Journal of Plant Sciences**, v. 3, n. 2, p. 79-84, 2010.

APPS, 2013. Evolução da oferta e demanda de sementes de milho no Brasil. Disponível em: < <http://www.apps.agr.br>>. Acesso em: 20 set. 2013.

BARBIERI, R. L.; CARVALHO, F. I. F.; BARBOSA NETO, J. F.; CAETANO, V. R.; MARCHIORO, V. S.; AZEVEDO, R.; LONRECETTI, C. Análise dialéctica para tolerância ao vírus-do-nanismo-amarelo-da-cevada em cultivares brasileiras de trigo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 131-135, 2001.

BEIRAGI, M. A.; EBRAHIMI, M.; MOSTAFAVI, K.; GOLBASHY, M.; KHORASANI, S. K. A study of morphological basis of corn (*Zea mays* L.) yield under drought stress condition using correlation and path coefficient analysis. **Journal of Cereals and Oilseeds**, v. 2(2), p. 32-37, 2011.

BERNINI, C. S. e PATERNIANI, M. E. A. G. Z. Estimativas de parâmetros de heterose em híbridos de populações F₂ de milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 1, p. 56-62, 2012.

BORDALLO, P. N.; PEREIRA, M. G.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; GABRIEL, A. P. C. Análise dialéctica de genótipos de milho doce e comum para caracteres agronômicos e proteína total. **Horticultura brasileira**, v. 23, n. 1, 2005.

CAMPOS, M. C. C.; SILVA, V. A. ; CAVALCANTE, I. H. L.; BECKMANN, M. Z. Produtividade e características agronômicas de cultivares de milho safrinha sob plantio direto no Estado de Goiás. **Rev. Acad., Ciência Agrária Ambiental**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 77-84, 2010.

CARVALHO, A. D. F.; SOUZA, J. C.; RAMALHO, M. A. P. Capacidade de combinação de progênies parcialmente endogâmicas obtidas de híbridos comerciais de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 3, n. 3, p. 429-437, 2004.

CARVALHO, A. D. F.; SOUZA, J. C.; RIBEIRO, P. H. E. Desempenho de híbridos de linhagens parcialmente endogâmicas de milho em regiões dos estados de Roraima e Minas Gerais. **Ciências e Agrotecnologia**, Lavras. v. 27, n. 5, 2003.

CASAGRANDE, J. R. R.; FORNASIERI FILHO, D. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 1, p. 33-40, 2002.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: grãos, primeiro levantamento, março 2013. Disponível em: < <http://www.conab.gov.br>>. Acesso em 01 mai. 2013.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4^a ed. Viçosa: UFV, 2013. 514 p.

CRUZ, C. D. **Programa Genes – versão Windows 2001.0.0**. Viçosa: Editora UFV, 2001, 648 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 1997. 390 p.

DEITOS, A.; ARNHOLD, E.; MORA, F.; MIRANDA, G. V. Yield and combining ability of maize cultivars under different ecogeographic conditions. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 6: 222-227, 2006.

DIVAN, R.; KHORASANI, S. K.; EBRAHIMI, A.; BAKHTIARI, S. Study on combining ability and gene effects in inbred lines and single cross hybrids of forage maize (*Zea mays* L.). **International Journal of Agronomy and Plant Production**, v. 4, n. 6, p. 1290-1297, 2013.

DUVICK, D. N. **The Contribution of Breeding to Yield Advances in maize (*Zea mays* L.)**. Advances in agronomy, 86, Copyright 2005. 63 p.

ENGELSING, M. J.; ROZZETTO, D. S.; COIMBRA, J. L. M.; ZANIN, C. G.; GUIDOLIN, A. F. Capacidade de combinação em milho para resistência a *Cercospora zea-maydis*. **Rev. Cienc. Agron.**, v. 42, n. 1, p. 232-241, 2011.

FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. **Tecnologia da produção de milho**. Piracicaba: FEALQ/ ESALQ/USP, 1999. 360 p.

FERREIRA, E. A.; GUIMARÃES, P. S.; SILVA, R. M.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z. Capacidade combinatória de linhagens de milho de germoplasma tropical e temperado e heterose dos híbridos simples. **Revista Biociências**, Unitaú. v. 1, n. 14, 2008.

FIDELIS, R. R.; MIRANDA, G. V.; FALUBA, J. S. Capacidade de combinação de populações de milho tropicais sob estresse de baixo nitrogênio. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 3, 2010.

FREITAS JÚNIOR, S. P.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; PEREIRA, M. G.; CRUZ, C. D.; SCAPIM, C. A. Capacidade combinatória em milho-pipoca por meio de dialelo circulante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.11, p.1599-1607, 2006.

GAMA, E. E. G. ; MEIRELES, W. F.; GUIMARÃES, P. E.; FERRÃO, R. G.; PARENTONI, S. N.; PACHECO, C. A. P.; SANTOS, M. X.; OLIVEIRA, A. C. Combining ability of inbred lines derived from a yellow flint maize synthetic CMS 53. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 2, n. 3, p. 97-102, 2003.

GORGULHO, E. P.; MIRANDA FILHO, J. B. Estudo da capacidade combinatória de variedades de milho no esquema de cruzamento dialélico parcial **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 1, p. 01-08, 2001.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal Biology Science**. East Melborn, v.9, p. 463-493, 1956.

HALLAUER, A. R.; CARENA, J. M.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. New York: Springer, 2010. 500 p.

HALLAEUR, A.R.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative Genetics in Maize Breeding**. 2.ed. Ames: Iowa State University Press, 1995. 468 p.

HALLAUER, A. R.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. Ames: Iowa State University Press, 1988. 869 p.

HEFNY, M. Genetic parameters and path analysis of yield and its components in corn inbred lines (*Zea mays* L.) at different sowing dates. **Asian Journal of Crop Science**, 3 (3): 106-117, 2011.

HEFNY, M. Genetic control of flowering traits, yield and its components in maize (*Zea mays* L.) at different sowing dates. **Asian J. Crop Sci**, v. 2, p. 236-249, 2010.

LEE, E.; AHMADZADEH, A.; TOLLENA, M. Quantitative Genetic Analysis of the Physiological Processes underlying Maize Grain Yield. **Crop Science**, v. 45, 2005.

LEMO, M. A.; GAMA, E. E. G.; PARENTONI, S. N.; OLIVEIRA, A. C.; REIFSHNEIDER, F. J. B.; SANTOS, J. P. O.; TABOSA, J. N. Capacidades geral e específica de combinação em híbridos simples de milho doce. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 23, n.1, p. 48-56, 1999.

LI, Y.; DONG Y, NIU, S.; CUI, D. 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, 2007.

LOCATELLI, A. B.; FEDERIZZI, L. C.; NASPOLINI FILHO, V. Capacidade combinatória de nove linhagens endogâmicas de milho (*Zea mays* L.) em dois ambientes. **Ciência Rural**, v. 32, n. 3, 2002.

LORENCETTI, C.; CARVALHO, F. I. F.; BENIN, G. ; MARCHIORO, V. S.; COSTA de OLIVEIRA, A; SILVA, J. A. G.; HARTWIG, I.; SCHMIDT, D. A. M.; VALÉRIO, I. P. Capacidade combinatória e heterose em cruzamento dialélico de aveia (*Avena sativa* L.) **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v.11, n. 2, p. 143-148, 2005.

NIHEI, T. H.; FERREIRA, J. M. Análise dialélica de linhagens de milho com ênfase na resistência a doenças foliares. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 47, n. 3, p. 369-377, 2012.

OLIBONI, R.; FARIA, M. V.; NEUMANN, M.; RESENDE, J. T. V.; BATTISTELLI, G. M.; TEGONI, R. G.; OLIBONI, D. F. Análise dialéctica na avaliação do potencial de híbridos de milho para a geração de populações-base para obtenção de linhagens. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 7-18, 2013.

OLIVEIRA, L. A. A.; GROSZMAN, A.; COSTA, R. A. da. Caracteres da espiga de cultivares de milho no estágio verde. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 6, p. 587-592, 1987.

PATERNIANI, M. E. A. G. Z. Use of heterosis in maize breeding: History, Methods and Perspectives. **Crop Breeding and Applied Biotechnology** v.1, n. 2, p.159-178, 2001.

PINTO, R. J. B. **Introdução ao melhoramento genético de plantas**. Maringá: Ed. UEM, 2009. 275 p.

PINTO, R. J. B.; KVITSCHAL, M. V. SCAPIM, C. A.; FRACARO, M.; BIGNOTTO, L. S.; NETO, I. L. S. Análise dialéctica parcial de linhagens de milho-pipoca. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 6, n. 3, p. 325-337, 2007.

RODRIGUES, F.; VON PINHO, R. G.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; FARIA FILHO, E. M.; GOULART, J. C. Capacidade de combinação entre linhagens de milho visando à produção de milho verde. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 1, p. 75-84, 2009.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G. Bases morfo-fisiológicas para a maior tolerância dos híbridos modernos de milho a altas densidades de plantas. **Bragantia**, v. 61, p. 101-110, 2002a.

SANTOS, I. C.; MIRANDA, G. V.; VAZ DE MELO, A.; MATTOS, R. N.; OLIVEIRA, L. R.; LIMA, J. S.; GALVÃO, J. C. C. Comportamento de cultivares de milho produzidos organicamente e correlações entre características das espigas colhidas no estágio verde. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 4, n. 1, p. 45-53, 2005.

SAWAZAKI, E.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z. 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, 2004.

SILVA, J. A. G.; CARVALHO, F. I. F.; COSTA de OLIVEIRA, A.; VIEIRA, E. A.; BENIN, G.; VALÉRIO, I. P.; CARVALHO, M. F.; FINATTO, T.; BUSATO, C. C.; RIBEIRO, G. Correlação de acamamento com rendimento de grãos e outros

caracteres de interesse agrônômico em plantas de trigo. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, 2006.

SHULL, G. H. A pure line method of corn breeding. **Amer. Breed. Assoc. Rep.**, v. 5, p. 51-59, 1909.

SILVA, D. F. Bicompostíveis e produção animal impulsionarão a cultura. **Agrianual**, p. 373-374, 2004.

SILVA, R. M. da.; MIRANDA FILHO, J. B. Heterosis Expression in Crosses Between Maize Populations: Ear Yield. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 3, p. 519-524, 2003.

SOUZA, P. M. de; BRAGA, M. J. Aspectos econômicos da produção e comercialização do milho no Brasil. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. (Eds) **Tecnologia de produção do milho**. 20. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, v. 1, p. 13-53, 2004.

SOUZA JR, C. L. D.; BARRIOS, S. C. L.; MORO, G. V. Performance of maize single-crosses developed from populations improved by a modified reciprocal recurrent selection. **Scientia Agricola**, v. 67, n. 2, p. 198-205, 2010.

SPRAGUE, G. F.; TATUM, L. A. General vs. Specific combining ability in single crosses of corn. **Journal of the American Society of Agronomy**, v. 34, n. 10, p. 923-932, 1942.

TAJWAR, T.; CHAKRABORTY, M. Combining ability and heterosis for grain yield and its components in maize inbreds over environments (*Zea mays* L.). **African Journal of Agricultural Research**, v. 8, n. 25, p. 3276-3280, 2013.

TOMES, D. T. Heterosis: performance stability, adaptability to changing technology, and the foundation of agriculture as a business. In: CROP SCIENCE SOCIETY OF AMERICA (Madison, Estados Unidos). **Concepts and breeding of heterosis in crop plants**. St. Paul, 1998. p. 13-28. (CSSA Special Publication, 25).

USDA - **Agência Norte-Americana para o Desenvolvimento Internacional**. Disponível em: <<http://www.usda.gov>>. Acessado em: 05/12/2012.

VALDIVIA-BERNAL, R. Estimates of genetic homeostasis in maize. **Bras. J. Genet.** 14:483-499, 1991.

VENCOVSKY, R. **Alguns aspectos teóricos e aplicados relativos a cruzamentos dialélicos de variedades.** 1970. 59p. (Tese de Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.

VENCOVSKY, R; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento.** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486 p.

VIVEK, B. S.; ODONGO, O.; NJUGUNA, J.; IMANYWOHA, J.; BIGIRWA, G.; PIXLEY, K. Diallel analysis of grain yield and resistance to seven diseases of 12 African maize (*Zea mays* L.) inbred lines. **Euphytica**, v. 172, n. 3, p. 329-340, 2010.

Tabela 3.1 Resumo da análise de variância pelo modelo de análise dialélica conjunta, para os caracteres altura de espiga (AE), altura de planta (AP), rendimento de grãos de parcela (RG), comprimento da espiga (CE) e diâmetro da espiga (DE), de híbridos de milho de um esquema dialelo parcial, avaliados em cinco ambientes. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio				
		AE (m)	AP (m)	PP (Kg)	CE (cm)	DE (mm)
CRUZAMENTOS (C)	119	3,481**	13,060**	152,996**	709,976**	5993,133**
CGC I	14	2,091**	7,889**	105,253**	441,731**	3737,334**
CGC II	7	15,833**	59,160**	670,176**	3159,322**	26970,413**
CEC	98	2,797**	10,506**	122,875**	573,344**	4817,013**
AMBIENTE (A)	4	0,523**	13,997**	49,033**	23,294**	65,607**
C x A	476	0,020 ^{ns}	0,453**	1,880**	1,078 ^{ns}	3,168 ^{ns}
CGC I X A	56	0,015 ^{ns}	0,272**	1,098 ^{ns}	0,823 ^{ns}	1,481 ^{ns}
CGC II X A	28	0,089**	2,011**	7,437**	3,355**	11,152**
CEC X A	392	0,016 ^{ns}	0,367**	1,594**	0,952 ^{ns}	2,839 ^{ns}
Resíduo	1180	0,021	0,030	1,016	1,226	4,621
Média Geral	-	1,178	2,290	7,800	16,895	49,101
CV (%)	-	9,31	10,45	13,44	5,78	4,22

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro pelo teste F; *Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F e CV (%)=Coeficiente de variação.

Tabela 3.2 Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) dos 15 genitores femininos (Grupo I) para os caracteres altura de espiga (AE), altura de planta (AP), rendimento de grãos de parcela (RG), diâmetro da espiga (DE) e comprimento da espiga (CE) em milho. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.

Genitores	CGC - Grupo I				
	AE (m)	AP (m)	PP (Kg)	DE (mm)	CE (cm)
1	0,052	-	0,356	2,033	0,715
2	-0,091	-	-0,666	-4,187	-1,403
3	0,042	-	0,293	2,180	0,535
4	0,178	-	1,266	8,077	2,867
5	0,042	-	0,309	2,227	0,808
6	0,055	-	0,279	1,881	0,700
7	-0,097	-	-0,683	-4,155	-1,409
8	-0,103	-	-0,729	-4,301	-1,475
9	-0,101	-	-0,605	-4,072	-1,333
10	-0,090	-	-0,628	-4,038	-1,450
11	-0,098	-	-0,689	-4,251	-1,380
12	-0,094	-	-0,649	-4,015	-1,474
13	0,058	-	0,362	2,269	0,629
14	-0,106	-	-0,741	-4,142	-1,372
15	0,352	-	2,525	14,494	5,042
DP(G _i)	0,022		0,206	0,420	0,218
DP(G _j -G _i)	0,033		0,301	0,615	0,319

DP=Desvio Padrão. - Caráter que apresentou interação significativa foi apresentado na Tabela 4.

Tabela 3.3 Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) dos 8 genitores masculinos (grupos II), para o caráter altura de espiga (AE) em milho, para cinco ambientes. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.

Genitores	CGC Grupo II - AE (m)					
	Ampére	Clevelândia	Itapiranga	Pato Branco	Frederico W.	Média
1'	-0,080	-0,101	-0,102	-0,067	-0,079	-0,086
2'	-0,161	-0,190	-0,191	-0,145	-0,144	-0,166
3'	0,409	0,451	0,519	0,327	0,355	0,412
4'	0,416	0,532	0,485	0,382	0,379	0,439
5'	-0,075	-0,104	-0,097	-0,069	-0,080	-0,085
6'	-0,168	-0,203	-0,210	-0,146	-0,148	-0,175
7'	-0,174	-0,188	-0,212	-0,139	-0,140	-0,171
8'	-0,169	-0,197	-0,191	-0,142	-0,143	-0,169
DP(G _i)	0,016	0,020	0,016	0,032	0,012	
DP(G _j -G _i)	0,025	0,030	0,023	0,049	0,019	

DP=Desvio Padrão.

Tabela 3.4 Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) dos 15 genitores femininos (grupos I), para o caráter altura de plantas (AP) em milho, para cinco ambientes. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.

CGC Grupo I - AP (m)						
Genitores	Ampére	Clevelândia	Itapiranga	Pato Branco	Frederico W.	Média
1	0,097	0,165	0,107	0,050	0,089	0,102
2	-0,176	-0,294	-0,187	-0,084	-0,167	-0,182
3	0,098	0,141	0,076	0,033	0,072	0,084
4	0,317	0,621	0,358	0,161	0,328	0,357
5	0,070	0,157	0,080	0,044	0,075	0,085
6	0,108	0,152	0,144	0,041	0,094	0,108
7	-0,190	-0,297	-0,209	-0,097	-0,153	-0,189
8	-0,197	-0,288	-0,222	-0,096	-0,177	-0,196
9	-0,169	-0,338	-0,216	-0,086	-0,161	-0,194
10	-0,166	-0,330	-0,172	-0,099	-0,161	-0,186
11	-0,162	-0,315	-0,212	-0,089	-0,154	-0,186
12	-0,174	-0,309	-0,188	-0,094	-0,160	-0,185
13	0,103	0,152	0,120	0,069	0,083	0,105
14	-0,179	-0,301	-0,238	-0,109	-0,174	-0,200
15	0,621	1,083	0,759	0,353	0,565	0,676
DP(G _i)	0,027	0,054	0,038	0,019	0,024	
DP(G _i -G _j)	0,039	0,078	0,056	0,027	0,035	

DP=Desvio Padrão.

Tabela 3.5 Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) dos 8 genitores masculinos (grupos II), para o caráter altura de planta (AP) em milho, para cinco ambientes. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.

CGC Grupo II - AP (m)						
Genitores	Ampére	Clevelândia	Itapiranga	Pato Branco	Frederico W.	Média
1'	-0,141	-0,276	-0,191	-0,087	-0,150	-0,169
2'	-0,304	-0,520	-0,351	-0,163	-0,270	-0,322
3'	0,728	1,235	0,878	0,418	0,642	0,780
4'	0,785	1,449	0,914	0,427	0,749	0,865
5'	-0,155	-0,289	-0,170	-0,089	-0,151	-0,171
6'	-0,305	-0,544	-0,368	-0,170	-0,280	-0,333
7'	-0,307	-0,521	-0,366	-0,169	-0,268	-0,326
8'	-0,301	-0,534	-0,347	-0,167	-0,271	-0,324
DP(G _i)	0,019	0,038	0,027	0,013	0,017	
DP(G _i -G _j)	0,028	0,057	0,041	0,02	0,025	

DP=Desvio Padrão.

Tabela 3.6 Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) dos 8 genitores masculinos (grupos II), para o caráter rendimento de grãos de parcela (RG) em milho, para cinco ambientes. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.

CGC Grupo II - RG (Kg)						
Genitores	Ampére	Clevelândia	Itapiranga	Pato Branco	Frederico W.	Média
1'	-0,549	-0,758	-0,630	-0,675	-0,497	-0,622
2'	-0,920	-1,430	-1,072	-1,142	-0,702	-1,053
3'	2,442	3,323	2,520	3,155	1,761	2,640
4'	2,506	3,879	3,148	2,872	2,078	2,897
5'	-0,435	-0,741	-0,556	-0,486	-0,390	-0,522
6'	-1,065	-1,464	-1,101	-1,215	-0,741	-1,118
7'	-1,058	-1,348	-1,085	-1,244	-0,815	-1,110
8'	-0,921	-1,462	-1,222	-1,266	-0,694	-1,113
DP(Gj)	0,098	0,173	0,162	0,134	0,122	
DP(Gj-Gj')	0,149	0,262	0,245	0,202	0,184	

DP=Desvio Padrão.

Tabela 3.7 Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) dos 8 genitores masculinos (grupos II), para o caráter diâmetro de espiga (DE) em milho, para cinco ambientes. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.

CGC Grupo II - DE (mm)						
Genitores	Ampére	Clevelândia	Itapiranga	Pato Branco	Frederico W.	Média
1'	-3,434	-3,846	-3,735	-3,976	-3,589	-3,716
2'	-6,490	-7,359	-6,937	-6,956	-6,463	-6,841
3'	15,379	16,434	16,270	16,449	15,063	15,919
4'	18,602	20,457	19,391	19,270	18,014	19,147
5'	-3,594	-3,772	-3,799	-3,603	-3,396	-3,633
6'	-6,772	-7,312	-7,007	-7,060	-6,515	-6,933
7'	-6,952	-7,294	-7,039	-7,093	-6,601	-6,996
8'	-6,739	-7,308	-7,143	-7,031	-6,512	-6,947
DP(Gj)	0,344	0,31	0,232	0,315	0,286	
DP(Gj-Gj')	0,520	0,468	0,350	0,477	0,432	

DP=Desvio Padrão.

Tabela 3.8 Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) dos 8 genitores masculinos (grupos II), para o caráter comprimento de espiga (CE) em milho, para cinco ambientes. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.

CGC Grupo II - CE (cm)						
Genitores	Ampére	Clevelândia	Itapiranga	Pato Branco	Frederico W.	Média
1'	-1,394	-1,190	-1,295	-1,299	-1,259	-1,287
2'	-2,494	-2,382	-2,628	-2,481	-2,177	-2,433
3'	5,435	5,376	5,975	5,255	5,097	5,428
4'	6,895	6,591	7,148	6,356	5,841	6,566
5'	-1,205	-1,342	-1,295	-1,033	-1,092	-1,193
6'	-2,449	-2,305	-2,669	-2,315	-2,177	-2,383
7'	-2,397	-2,398	-2,634	-2,221	-2,159	-2,362
8'	-2,391	-2,350	-2,602	-2,263	-2,074	-2,336
DP(Gj)	0,124	0,140	0,150	0,189	0,162	
DP(Gj-Gj')	0,187	0,212	0,226	0,285	0,245	

DP=Desvio Padrão.

Tabela 3.9 Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação para o caráter altura da inserção da espiga (AE) resultante dos cruzamentos 15x8 genitores em cinco ambientes. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.

Grupo I	CEC - AE (m)							
	Grupo II							
	1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'
1	1,025	-0,132	-0,710	0,410	-0,213	-0,123	-0,127	-0,129
2	-0,069	0,011	0,671	-0,594	-0,070	0,020	0,016	0,014
3	0,962	-0,122	-0,700	0,411	-0,203	-0,113	-0,117	-0,119
4	-0,338	-0,258	0,368	-0,863	-0,339	0,813	0,874	-0,256
5	-0,202	-0,122	0,530	0,346	-0,203	-0,113	-0,117	-0,119
6	-0,215	-0,135	0,566	0,389	-0,216	-0,126	-0,130	-0,132
7	-0,063	0,017	-0,561	0,605	-0,064	0,026	0,022	0,019
8	-0,057	0,023	-0,555	0,560	-0,058	0,032	0,028	0,026
9	-0,059	0,021	-0,557	0,575	-0,060	0,030	0,026	0,024
10	-0,070	0,010	-0,568	-0,595	1,176	0,019	0,015	0,013
11	-0,063	0,018	0,626	-0,587	-0,063	0,027	0,022	0,020
12	-0,066	0,015	0,648	-0,590	-0,067	0,023	0,019	0,017
13	-0,218	-0,137	0,545	0,425	-0,218	-0,128	-0,133	-0,135
14	-0,055	0,026	-0,552	0,543	-0,055	0,035	0,030	0,028
15	-0,512	0,765	0,251	-1,036	0,653	-0,422	-0,427	0,729
DP(S _{ij})	0,059							
DP(S _{ij} -S _{ik})	0,089							
DP(S _{ij} -S _{kj})	0,086							
DP(S _{ij} -S _{kl})	0,083							

DP=Desvio Padrão.

Tabela 3.10 Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação para o caráter altura de planta (AP) resultante dos cruzamentos 15x8 genitores em cinco ambientes. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.

Grupo I		CEC - AP (m)							
		Grupo II							
		1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'
1	E=1	1,856	-0,235	-1,266	0,733	-0,384	-0,233	-0,232	-0,238
	E=2	3,247	-0,424	-2,179	1,244	-0,655	-0,400	-0,423	-0,410
	E=3	2,012	-0,272	-1,500	0,998	-0,452	-0,255	-0,256	-0,275
	E=4	0,987	-0,126	-0,707	0,411	-0,200	-0,120	-0,121	-0,123
	E=5	1,635	-0,226	-1,138	0,738	-0,344	-0,215	-0,227	-0,224
	Média	1,947	-0,256	-1,358	0,825	-0,407	-0,245	-0,252	-0,254
2	E=1	-0,124	0,039	1,130	-1,051	-0,111	0,040	0,042	0,035
	E=2	-0,209	0,035	2,160	-1,934	-0,196	0,059	0,036	0,049
	E=3	-0,137	0,022	1,421	-1,243	-0,158	0,039	0,037	0,019
	E=4	-0,069	0,008	0,673	-0,583	-0,067	0,014	0,013	0,011
	E=5	-0,089	0,031	1,031	-0,988	-0,088	0,041	0,029	0,032
	Média	-0,126	0,027	1,283	-1,160	-0,124	0,039	0,031	0,029
3	E=1	1,852	-0,236	-1,267	0,742	-0,385	-0,234	-0,233	-0,239
	E=2	2,984	-0,400	-2,156	1,364	-0,631	-0,376	-0,399	-0,386
	E=3	2,020	-0,241	-1,470	0,807	-0,422	-0,224	-0,226	-0,245
	E=4	0,917	-0,109	-0,690	0,378	-0,183	-0,103	-0,104	-0,106
	E=5	1,537	-0,209	-1,121	0,735	-0,327	-0,198	-0,210	-0,207
	Média	1,862	-0,239	-1,341	0,805	-0,390	-0,227	-0,234	-0,236
4	E=1	-0,617	-0,455	0,524	-1,544	-0,604	1,590	1,565	-0,458
	E=2	-1,124	-0,880	1,157	-2,849	-1,111	2,677	2,996	-0,866
	E=3	-0,683	-0,523	0,775	-1,788	-0,704	1,714	1,737	-0,527
	E=4	-0,314	-0,237	0,285	-0,828	-0,312	0,812	0,828	-0,234
	E=5	-0,584	-0,464	0,539	-1,483	-0,583	1,436	1,602	-0,463
	Média	-0,664	-0,512	0,656	-1,698	-0,663	1,646	1,745	-0,509
5	E=1	-0,370	-0,207	0,911	0,643	-0,356	-0,206	-0,204	-0,211
	E=2	-0,660	-0,416	1,763	1,170	-0,647	-0,393	-0,415	-0,402
	E=3	-0,404	-0,245	1,030	0,748	-0,425	-0,228	-0,229	-0,248
	E=4	-0,197	-0,120	0,549	0,307	-0,194	-0,114	-0,115	-0,116
	E=5	-0,332	-0,212	0,828	0,672	-0,330	-0,201	-0,213	-0,210
	Média	-0,392	-0,240	1,016	0,708	-0,391	-0,228	-0,235	-0,238
6	E=1	-0,408	-0,246	1,020	0,765	-0,395	-0,244	-0,243	-0,249
	E=2	-0,655	-0,411	1,653	1,250	-0,642	-0,388	-0,410	-0,397
	E=3	-0,468	-0,309	1,305	0,859	-0,489	-0,292	-0,293	-0,312
	E=4	-0,194	-0,117	0,508	0,332	-0,192	-0,111	-0,112	-0,114
	E=5	-0,351	-0,231	0,959	0,654	-0,349	-0,220	-0,232	-0,229
	Média	-0,415	-0,263	1,089	0,772	-0,413	-0,251	-0,258	-0,260
7	E=1	-0,110	0,053	-0,979	0,973	-0,096	0,054	0,056	0,049
	E=2	-0,206	0,038	-1,718	1,929	-0,193	0,061	0,038	0,052
	E=3	-0,115	0,044	-1,185	1,231	-0,136	0,061	0,059	0,041
	E=4	-0,056	0,021	-0,561	0,573	-0,054	0,027	0,026	0,024
	E=5	-0,103	0,017	-0,895	1,021	-0,101	0,027	0,016	0,019

	Média	-0,118	0,034	-1,067	1,146	-0,116	0,046	0,039	0,037
8	E=1	-0,103	0,060	-0,972	0,924	-0,089	0,061	0,063	0,056
	E=2	-0,215	0,029	-1,727	1,992	-0,203	0,052	0,029	0,043
	E=3	-0,102	0,057	-1,172	1,140	-0,123	0,074	0,072	0,054
	E=4	-0,057	0,020	-0,561	0,579	-0,055	0,026	0,025	0,023
	E=5	-0,080	0,040	-0,872	0,860	-0,078	0,051	0,039	0,042
	Média	-0,111	0,041	-1,061	1,099	-0,110	0,053	0,046	0,043
9	E=1	-0,131	0,032	-1,000	1,120	-0,117	0,033	0,035	0,028
	E=2	-0,165	0,079	-1,677	1,642	-0,153	0,102	0,079	0,093
	E=3	-0,109	0,051	-1,178	1,186	-0,130	0,068	0,066	0,047
	E=4	-0,067	0,010	-0,571	0,649	-0,065	0,016	0,015	0,013
	E=5	-0,095	0,025	-0,887	0,966	-0,094	0,035	0,023	0,026
	Média	-0,113	0,039	-1,063	1,113	-0,112	0,051	0,044	0,042
10	E=1	-0,134	0,029	-1,003	-1,061	2,082	0,030	0,032	0,025
	E=2	-0,173	0,071	-1,685	-1,898	3,435	0,094	0,071	0,085
	E=3	-0,152	0,007	-1,221	-1,258	2,574	0,024	0,023	0,004
	E=4	-0,054	0,023	-0,558	-0,567	1,072	0,029	0,028	0,027
	E=5	-0,095	0,024	-0,888	-0,994	1,868	0,035	0,023	0,026
	Média	-0,122	0,031	-1,071	-1,156	2,206	0,043	0,035	0,033
11	E=1	-0,138	0,024	1,230	-1,065	-0,125	0,026	0,027	0,021
	E=2	-0,188	0,056	2,015	-1,913	-0,175	0,079	0,056	0,070
	E=3	-0,112	0,047	1,248	-1,218	-0,134	0,064	0,062	0,043
	E=4	-0,064	0,013	0,638	-0,578	-0,062	0,019	0,018	0,016
	E=5	-0,102	0,018	1,121	-1,001	-0,100	0,028	0,017	0,020
	Média	-0,121	0,031	1,250	-1,155	-0,119	0,043	0,036	0,034
12	E=1	-0,126	0,036	1,145	-1,053	-0,113	0,038	0,040	0,033
	E=2	-0,194	0,050	2,056	-1,919	-0,181	0,073	0,051	0,064
	E=3	-0,137	0,023	1,417	-1,242	-0,158	0,040	0,038	0,019
	E=4	-0,058	0,018	0,597	-0,572	-0,056	0,025	0,024	0,022
	E=5	-0,096	0,023	1,081	-0,995	-0,095	0,034	0,022	0,025
	Média	-0,122	0,030	1,259	-1,156	-0,120	0,042	0,035	0,033
13	E=1	-0,403	-0,240	1,085	0,667	-0,389	-0,239	-0,237	-0,244
	E=2	-0,655	-0,411	1,563	1,340	-0,642	-0,388	-0,410	-0,397
	E=3	-0,445	-0,285	1,078	0,945	-0,466	-0,268	-0,270	-0,289
	E=4	-0,222	-0,145	0,574	0,432	-0,219	-0,139	-0,140	-0,141
	E=5	-0,340	-0,220	0,893	0,654	-0,338	-0,209	-0,221	-0,218
	Média	-0,413	-0,260	1,039	0,807	-0,411	-0,249	-0,256	-0,258
14	E=1	-0,121	0,041	-0,990	1,052	-0,108	0,043	0,045	0,038
	E=2	-0,201	0,043	-1,713	1,895	-0,189	0,066	0,043	0,056
	E=3	-0,086	0,073	-1,155	1,025	-0,107	0,090	0,089	0,070
	E=4	-0,044	0,033	-0,548	0,486	-0,041	0,039	0,038	0,037
	E=5	-0,083	0,037	-0,875	0,881	-0,081	0,048	0,036	0,039
	Média	-0,107	0,045	-1,056	1,068	-0,105	0,057	0,050	0,048
15	E=1	-0,921	1,305	0,433	-1,847	1,190	-0,757	-0,755	1,352
	E=2	-1,586	2,540	0,487	-3,311	2,184	-1,319	-1,342	2,347
	E=3	-1,083	1,551	0,607	-2,189	1,330	-0,907	-0,909	1,600
	E=4	-0,506	0,711	0,373	-1,019	0,627	-0,423	-0,424	0,661
	E=5	-0,822	1,348	0,226	-1,720	1,040	-0,691	-0,703	1,322

Média	-0,984	1,491	0,425	-2,017	1,274	-0,819	-0,826	1,456
	DP(S _{ij})	DP(S _{ij} -S _{ik})	DP(S _{ij} -S _{kl})					
E=1	0,071	E=1 0,107	E=1 0,103	E=1 0,103	E=1 0,099	E=1 0,099	E=1 0,099	E=1 0,099
E=2	0,142	E=2 0,214	E=2 0,207	E=2 0,207	E=2 0,199	E=2 0,199	E=2 0,199	E=2 0,199
E=3	0,101	E=3 0,153	E=3 0,148	E=3 0,148	E=3 0,142	E=3 0,142	E=3 0,142	E=3 0,142
E=4	0,050	E=4 0,075	E=4 0,073	E=4 0,073	E=4 0,070	E=4 0,070	E=4 0,070	E=4 0,070
E=5	0,063	E=5 0,095	E=5 0,092	E=5 0,092	E=5 0,088	E=5 0,088	E=5 0,088	E=5 0,088

E1=Ampére, E2=Clevelândia, E3=Itapiranga, E4=Pato Branco, E5=Frederico W., DP=Desvio Padrão.

Tabela 3.11 Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação para o caráter rendimento de grãos de parcela (RG) resultante dos cruzamentos 15x8 genitores em cinco ambientes. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.

		CEC - RG (Kg)							
Grupo I		Grupo II							
		1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'
1	E=1	5,461	-0,748	-4,110	2,592	-1,234	-0,603	-0,611	-0,748
	E=2	7,836	-1,140	-5,893	4,459	-1,828	-1,105	-1,221	-1,108
	E=3	6,078	-1,093	-4,685	4,394	-1,609	-1,064	-1,080	-0,943
	E=4	6,931	-1,142	-5,439	4,574	-1,798	-1,068	-1,040	-1,018
	E=5	3,428	-0,554	-3,017	2,526	-0,866	-0,515	-0,441	-0,562
	Média	5,947	-0,935	-4,629	3,709	-1,467	-0,871	-0,879	-0,876
2	E=1	-0,275	0,096	3,327	-3,330	-0,390	0,241	0,234	0,097
	E=2	-0,543	0,129	5,783	-5,180	-0,560	0,163	0,047	0,161
	E=3	-0,255	0,187	3,675	-4,033	-0,329	0,216	0,200	0,337
	E=4	-0,471	-0,004	4,866	-4,018	-0,660	0,069	0,098	0,120
	E=5	-0,126	0,079	2,603	-2,702	-0,233	0,118	0,191	0,070
	Média	-0,334	0,098	4,051	-3,853	-0,434	0,162	0,154	0,157
3	E=1	5,930	-0,899	-4,261	3,028	-1,385	-0,754	-0,761	-0,898
	E=2	8,765	-1,004	-5,757	2,714	-1,693	-0,969	-1,086	-0,972
	E=3	6,233	-1,032	-4,624	3,875	-1,548	-1,003	-1,019	-0,882
	E=4	7,139	-0,860	-5,158	2,678	-1,516	-0,787	-0,758	-0,737
	E=5	4,321	-0,514	-2,978	1,398	-0,826	-0,475	-0,402	-0,523
	Média	6,478	-0,862	-4,555	2,739	-1,394	-0,798	-0,805	-0,802
4	E=1	-1,811	-1,440	1,890	-4,867	-1,926	4,745	4,850	-1,440
	E=2	-3,040	-2,369	2,532	-7,677	-3,057	7,159	8,790	-2,337
	E=3	-2,366	-1,923	1,705	-6,144	-2,439	6,359	6,583	-1,774
	E=4	-2,650	-2,183	2,747	-6,197	-2,839	6,791	6,389	-2,059
	E=5	-1,552	-1,347	2,550	-4,128	-1,659	4,259	3,232	-1,356
	Média	-2,284	-1,852	2,285	-5,803	-2,384	5,862	5,969	-1,793
5	E=1	-1,216	-0,845	3,713	1,929	-1,330	-0,700	-0,707	-0,844
	E=2	-1,832	-1,160	4,394	3,944	-1,849	-1,126	-1,242	-1,128
	E=3	-1,214	-0,772	3,656	1,741	-1,288	-0,743	-0,759	-0,622
	E=4	-1,435	-0,968	5,195	1,438	-1,624	-0,895	-0,866	-0,844
	E=5	-0,824	-0,619	2,565	1,521	-0,931	-0,580	-0,506	-0,627
	Média	-1,304	-0,873	3,905	2,114	-1,404	-0,808	-0,816	-0,813
6	E=1	-1,176	-0,805	3,180	2,222	-1,290	-0,660	-0,667	-0,804

	E=2	-1,695	-1,024	3,997	3,521	-1,712	-0,989	-1,105	-0,992
	E=3	-1,351	-0,908	3,953	2,264	-1,424	-0,879	-0,895	-0,759
	E=4	-1,331	-0,864	4,106	1,902	-1,520	-0,791	-0,762	-0,740
	E=5	-0,822	-0,617	1,627	2,450	-0,929	-0,578	-0,505	-0,626
	Média	-1,275	-0,843	3,372	2,472	-1,375	-0,779	-0,787	-0,784
7	E=1	-0,255	0,116	-3,246	3,123	-0,370	0,261	0,254	0,117
	E=2	-0,426	0,246	-4,507	4,410	-0,443	0,280	0,164	0,278
	E=3	-0,389	0,053	-3,539	3,986	-0,463	0,082	0,066	0,203
	E=4	-0,321	0,146	-4,151	4,099	-0,510	0,219	0,248	0,270
	E=5	-0,194	0,011	-2,452	2,758	-0,301	0,050	0,124	0,003
	Média	-0,317	0,115	-3,579	3,675	-0,417	0,179	0,171	0,174
8	E=1	-0,222	0,149	-3,213	2,895	-0,337	0,294	0,286	0,149
	E=2	-0,439	0,233	-4,520	4,497	-0,456	0,268	0,151	0,265
	E=3	-0,435	0,007	-3,585	4,307	-0,509	0,036	0,020	0,157
	E=4	-0,250	0,217	-4,080	3,603	-0,439	0,290	0,319	0,341
	E=5	-0,007	0,198	-2,265	1,451	-0,114	0,237	0,310	0,190
	Média	-0,271	0,161	-3,533	3,351	-0,371	0,225	0,217	0,220
9	E=1	-0,309	0,062	-3,300	3,502	-0,424	0,207	0,199	0,062
	E=2	-0,539	0,132	-4,621	5,203	-0,557	0,167	0,050	0,164
	E=3	-0,470	-0,028	-3,620	4,552	-0,544	0,001	-0,015	0,122
	E=4	-0,475	-0,008	-4,305	5,178	-0,664	0,065	0,094	0,116
	E=5	-0,183	0,022	-2,441	2,682	-0,290	0,061	0,135	0,014
	Média	-0,395	0,036	-3,657	4,223	-0,496	0,100	0,093	0,096
10	E=1	-0,370	0,001	-3,361	-3,425	6,869	0,146	0,139	0,002
	E=2	-0,474	0,198	-4,555	-5,111	9,362	0,233	0,116	0,230
	E=3	-0,518	-0,076	-3,668	-4,296	8,595	-0,047	-0,063	0,073
	E=4	-0,548	-0,080	-4,378	-4,095	9,044	-0,007	0,022	0,043
	E=5	-0,104	0,101	-2,362	-2,679	4,596	0,140	0,214	0,093
	Média	-0,403	0,029	-3,665	-3,921	7,693	0,093	0,085	0,088
11	E=1	-0,233	0,138	3,036	-3,289	-0,348	0,283	0,275	0,138
	E=2	-0,539	0,132	5,759	-5,177	-0,557	0,167	0,050	0,164
	E=3	-0,196	0,246	3,264	-3,974	-0,270	0,275	0,259	0,396
	E=4	-0,459	0,008	4,785	-4,007	-0,648	0,081	0,110	0,131
	E=5	-0,157	0,048	2,818	-2,732	-0,264	0,087	0,160	0,040
	Média	-0,317	0,114	3,932	-3,836	-0,417	0,179	0,171	0,174
12	E=1	-0,384	-0,013	4,092	-3,440	-0,499	0,132	0,124	-0,013
	E=2	-0,455	0,216	5,170	-5,093	-0,473	0,251	0,135	0,248
	E=3	-0,360	0,082	4,410	-4,138	-0,434	0,111	0,095	0,232
	E=4	-0,370	0,097	4,162	-3,918	-0,559	0,170	0,199	0,220
	E=5	-0,188	0,017	3,034	-2,763	-0,295	0,056	0,130	0,009
	Média	-0,351	0,080	4,174	-3,870	-0,452	0,144	0,137	0,139
13	E=1	-1,333	-0,962	3,876	2,471	-1,448	-0,817	-0,825	-0,962
	E=2	-1,779	-1,107	4,433	3,584	-1,796	-1,072	-1,189	-1,075
	E=3	-1,405	-0,963	4,425	2,117	-1,479	-0,934	-0,950	-0,813
	E=4	-1,398	-0,931	3,415	2,995	-1,587	-0,858	-0,829	-0,807
	E=5	-0,905	-0,700	1,737	2,839	-1,012	-0,661	-0,588	-0,709
	Média	-1,364	-0,933	3,577	2,801	-1,464	-0,868	-0,876	-0,873
14	E=1	-0,264	0,107	-3,255	3,187	-0,379	0,252	0,244	0,107

	E=2	-0,494	0,177	-4,576	4,888	-0,512	0,212	0,095	0,209
	E=3	-0,152	0,290	-3,302	2,330	-0,226	0,319	0,303	0,439
	E=4	-0,228	0,239	-4,059	3,451	-0,417	0,312	0,341	0,362
	E=5	-0,155	0,050	-2,413	2,489	-0,262	0,089	0,162	0,041
	Média	-0,259	0,173	-3,521	3,269	-0,359	0,237	0,229	0,232
15	E=1	-3,542	5,042	1,633	-6,598	4,490	-3,026	-3,034	5,036
	E=2	-4,345	6,340	2,361	-8,982	6,131	-3,639	-3,755	5,892
	E=3	-3,202	5,927	1,935	-6,981	3,964	-2,731	-2,747	3,836
	E=4	-4,133	6,334	2,296	-7,681	5,738	-3,593	-3,564	4,604
	E=5	-2,534	3,824	0,995	-5,109	3,386	-2,290	-2,216	3,943
	Média	-3,551	5,493	1,844	-7,070	4,742	-3,056	-3,063	4,662
	DP(S _{ij})		DP(S _{ij} -S _{ik})		DP(S _{ij} -S _{kj})		DP(S _{ij} -S _{kl})		
	E=1	0,368	E=1	0,557	E=1	0,539	E=1	0,518	
	E=2	0,648	E=2	0,980	E=2	0,949	E=2	0,912	
	E=3	0,608	E=3	0,919	E=3	0,889	E=3	0,855	
	E=4	0,500	E=4	0,756	E=4	0,732	E=4	0,703	
	E=5	0,456	E=5	0,690	E=5	0,668	E=5	0,642	

E1=Ampére, E2=Clevelândia, E3=Itapiranga, E4=Pato Branco, E5=Frederico W., DP=Desvio Padrão.

Tabela 3.12 Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação para o caráter diâmetro de espiga (DE) resultante dos cruzamentos 15x8 genitores em cinco ambientes. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.

CEC - DE (mm)								
Grupo I	Grupo II							
	1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'
1	39,723	-5,395	-28,131	18,220	-8,575	-5,306	-5,241	-5,295
2	-2,306	0,825	26,153	-25,133	-2,356	0,914	0,978	0,925
3	40,476	-5,542	-28,278	18,352	-8,723	-5,453	-5,389	-5,442
4	-14,570	-11,440	14,775	-37,398	-14,620	37,748	36,845	-11,340
5	-8,720	-5,590	21,292	18,214	-8,770	-5,500	-5,436	-5,490
6	-8,374	-5,244	21,021	16,409	-8,424	-5,154	-5,090	-5,144
7	-2,338	0,792	-21,943	23,157	-2,388	0,882	0,946	0,892
8	-2,192	0,939	-21,797	22,132	-2,241	1,028	1,093	1,039
9	-2,421	0,709	-22,026	23,738	-2,471	0,799	0,863	0,809
10	-2,455	0,676	-22,060	-25,283	46,753	0,765	0,829	0,775
11	-2,243	0,888	25,710	-25,070	-2,292	0,977	1,042	0,988
12	-2,479	0,652	27,361	-25,306	-2,528	0,741	0,806	0,752
13	-8,762	-5,631	21,220	18,537	-8,812	-5,542	-5,478	-5,531
14	-2,351	0,780	-21,956	23,246	-2,401	0,869	0,933	0,880
15	-20,987	32,580	8,661	-43,814	27,848	-17,767	-17,702	31,181
	DP(S _{ij})			1,112				
	DP(S _{ij} -S _{ik})			1,682				
	DP(S _{ij} -S _{kj})			1,628				
	DP(S _{ij} -S _{kl})			1,565				

DP=Desvio Padrão.

Tabela 3.13 Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação para o caráter comprimento de espiga (CE) resultante dos cruzamentos 15x8 genitores em cinco ambientes. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.

		CEC - CE (cm)							
Grupo I	Grupo II								
	1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'	
1	14,059	-1,805	-9,663	6,025	-3,015	-1,846	-1,862	-1,892	
2	-0,822	0,313	9,332	-8,682	-0,897	0,272	0,256	0,227	
3	13,621	-1,625	-9,483	5,381	-2,835	-1,666	-1,682	-1,711	
4	-5,093	-3,957	5,056	-12,953	-5,168	12,966	13,193	-4,044	
5	-3,033	-1,898	7,369	6,550	-3,108	-1,939	-1,955	-1,985	
6	-2,925	-1,790	7,132	6,138	-3,000	-1,831	-1,847	-1,877	
7	-0,816	0,319	-7,539	8,154	-0,891	0,278	0,262	0,232	
8	-0,751	0,385	-7,473	7,696	-0,826	0,344	0,327	0,298	
9	-0,893	0,243	-7,616	8,691	-0,968	0,202	0,185	0,156	
10	-0,775	0,360	-7,498	-8,636	15,652	0,319	0,303	0,274	
11	-0,846	0,290	9,498	-8,706	-0,920	0,249	0,233	0,203	
12	-0,751	0,384	8,837	-8,612	-0,826	0,343	0,327	0,297	
13	-2,855	-1,719	7,178	5,669	-2,930	-1,760	-1,777	-1,806	
14	-0,853	0,282	-7,576	8,412	-0,928	0,241	0,225	0,196	
15	-7,267	10,218	2,446	-15,127	10,659	-6,173	-6,189	11,433	
DP(S _{ij})					0,577				
DP(S _{ij} -S _{ik})					0,872				
DP(S _{ij} -S _{kj})					0,844				
DP(S _{ij} -S _{kl})					0,811				

DP=Desvio Padrão.

4. Capítulo III

Correlação e análise de trilha entre rendimento de grãos e caracteres de importância agronômica em distintos locais de cultivo

4.1 Introdução

A cultura do milho responde por uma expressiva área de cultivo no território brasileiro, e merece destaque pela geração de empregos no setor agrícola, além de ser importante matéria-prima para a utilização na alimentação humana e animal, bem como na indústria para a produção de cola, amido, óleo, álcool, flocos alimentícios, bebidas e de muitos outros produtos importantes em nosso cotidiano. De acordo com Souza e Braga (2004), a importância do milho para a produção animal pode ser verificada pelo emprego de 80% de todo o milho produzido no país ser consumido na forma de ração, mostrando o papel indispensável para o desenvolvimento da agroindústria brasileira.

O Brasil possui destaque sendo um dos maiores produtores de milho do mundo, superado apenas pelos Estados Unidos e China (FAOSTAT, 2013). De acordo com Conab (2013) a produção de milho do Brasil na safra 2012/2013 foi de 77,99 milhões de toneladas em 15,68 milhões de hectares, com uma produtividade média de 4.972 kg ha^{-1} . Apresenta um consumo interno na faixa de 55,53 milhões de toneladas, e devido a isso, destaca-se como um importante exportador do cereal no cenário econômico, com exportações girando a casa de 15 milhões de toneladas para este ano.

Em programas de melhoramento de plantas cultivadas, cujo principal objetivo é rendimento de grãos, são selecionados genótipos que evidenciem superioridade para este caráter. Entretanto o rendimento de grãos, como produto final, é resultado da interação de uma série de fatores, sendo eles genéticos, fisiológicos e ambientais, e por isso, não pode ser considerado de forma isolada (GORDIM et al., 2008). Visto essa dificuldade, a seleção de genótipos almejando maiores tetos produtivos a partir dos componentes do rendimento, e caracteres

adaptativos que indiretamente elevem o rendimento de grãos, representa uma boa estratégia, como ferramenta auxiliar ao melhorista de plantas.

De acordo com Carvalho et al. (2004) as estimativas das correlações possuem uma ampla utilização no melhoramento de plantas, principalmente visando uma maior eficiência na seleção de genótipos superiores. Visto isso, quando o caráter de interesse é de difícil seleção, devido a dificuldades de mensuração/identificação, ou apresenta baixa herdabilidade, pode ser mais conveniente a seleção visando caracteres que apresentem alta herdabilidade e fácil mensuração.

Entretanto, quando vários caracteres são mutuamente correlacionados, as estimativas de correlações simples podem produzir uma informação incompleta, pois a magnitude da correlação evidenciada entre dois caracteres, pode ser resultado de uma terceira ou de um grupo de caracteres sobre os dois caracteres em questão. Nesse contexto, Wright (1921) propôs um método denominado análise de trilha, que permite desdobrar os coeficientes de correlação simples em seus efeitos diretos e indiretos. Com isso, pode-se ter um entendimento das verdadeiras relações de causa e efeito entre os caracteres estudados (CARVALHO et al., 2004).

Esta técnica vem sendo utilizada por melhoristas de várias culturas, *Brachiaria ruziziensis* (BORGES et al., 2011), aveia (CAIERÃO et al., 2001), trigo (VESOHOSKI et al., 2011; GONDIM et al., 2008), trevo vermelho (MONTARDO et al., 2003), batata (SILVA et al., 2009), canola (SABAGHNIA et al., 2010) cana-de-açúcar (FERREIRA et al., 2007) ervilha (RASAEI et al., 2011) feijão (CABRAL et al., 2011). A literatura apresenta alguns estudos sobre a relação entre caracteres de importância agrônômica para a cultura do milho, via análise de trilha (ZEREI et al., 2012, BARROS; MOREIRA e FERREIRA, 2010, ANDRADE e MIRANDA FILHO, 2008, LOPES et al., 2007 e CARVALHO et al., 2001). Entretanto, estudos desta natureza ainda são de extrema relevância, visto que diferentes estruturas genéticas populacionais tem sido consideradas.

Diante do exposto, os objetivos deste trabalho foram estimar os coeficientes de correlação de Pearson entre o rendimento de grãos em milho e caracteres que compõem os componentes do rendimento, assim como caracteres de importância relevante, de uso acessível aos programas de melhoramento. Além disso, avaliar o desdobramento das estimativas das correlações em efeitos diretos e indiretos pela

análise de trilha, para facilitar o entendimento dessas relações, almejando auxiliar pesquisadores no processo de seleção de plantas de forma mais eficiente.

4.2 Material e métodos

Os cruzamentos artificiais entre as linhagens endogâmicas foram conduzidos na estação de pesquisa da empresa KSP Sementes Ltda. no município de Clevelândia-PR no ano agrícola de 2010/2011. No trabalho foram utilizadas 15 linhagens endogâmicas utilizadas como genitores femininos, extraídas de híbridos simples comerciais que apresentavam características de elevado rendimento de grãos e 8 como genitores masculinos, extraídas de híbridos triplos comerciais com características de rusticidade, formando dois grupos heteróticos distintos. Os grupos heteróticos foram submetidos a cruzamento artificial conforme modelo dialélico parcial, resultando, conseqüentemente, em 25 combinações híbridas. O germoplasma utilizado foi oriundo do programa de melhoramento genético da empresa KSP Sementes Ltda., com sede no município de Pato Branco - PR. As sementes híbridas obtidas dos grupos de cruzamentos foram colhidas manualmente, secadas e preparadas para a semeadura dos ensaios.

A semeadura dos ensaios foi conduzida na safra agrícola 2011/2012 em cinco locais distintos dos três estados da Região Sul do Brasil. No Rio Grande do Sul, o ensaio foi conduzido no Município de Frederico Westphalen, sendo as coordenadas 27°23'47.80" de latitude sul e 53°25'35.26" de longitude oeste, com 480 metros de altitude no local do ensaio, a região situa-se no Norte do estado e possui como principais características climáticas temperatura mínima anual de 21,4°C e temperatura média máxima de 25,1°C com clima de tipo sub temperado sub-úmido, com índice de precipitação pluviométrica média anual de 1.828,1 mm. Em Santa Catarina, o ensaio foi conduzido no município de Itapiranga, sendo as coordenadas 27°10'10" de latitude sul e 53°42'44" de longitude oeste, com 206 metros de altitude no local do ensaio, região que situa-se no extremo oeste catarinense, possuindo clima subtropical úmido, com temperaturas média mínima anual de 13°C e máxima de 30°C, com índice de precipitação pluviométrica média anual de 1.810,00 mm. No Paraná, os ensaios foram conduzidos em três locais; Pato Branco, com as coordenadas 26°13'44" de latitude sul e 52°40'15" de longitude

oeste com 760 metros de altitude no local do ensaio, com temperatura média máxima anual de 22°C mínima de 18°C, com clima do tipo subtropical úmido, com índice de precipitação pluviométrica média anual de 2.109,79 mm. Ampére com as coordenadas 25°54'20" de latitude sul e 53°25'54" de longitude oeste com 718 metros de altitude no local do ensaio, com clima subtropical úmido mesotérmico, com temperatura mínima anual de 18°C e máxima de 22°C. Clevelândia com as coordenadas 26°21'17" de latitude sul e 52°28'56" de longitude oeste com 860 metros de altitude no local do ensaio, com clima subtropical temperado, temperatura mínima anual de 11°C e máxima de 27°C, com índice de precipitação pluviométrica média anual de 1.317,00 mm.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados com 25 tratamentos e 3 repetições. As unidades experimentais foram constituídas por 2 linha com 5 metros de comprimento, com espaçamento de 0,70 metros entre linhas, caracterizando a área útil de 7 m². O arranjo de plantas foi composto por 42 plantas por parcela, logrando uma densidade de 60.000 plantas ha⁻¹.

O manejo da cultura foi de acordo com as indicações técnicas para cultivo convencional em milho no Estado do Rio Grande do Sul (INDICAÇÕES, 2011) e EMBRAPA (2011).

Os caracteres avaliados foram: rendimento de grãos de parcela (RG, em Kg), plantas acamadas e quebradas (AC_QB, em unidades), altura de planta (AP, em m), altura de inserção da espiga (AE, em m), prolificidade (PROL, em unidades), diâmetro de espiga (DE, em mm), comprimento de espiga (CE, em cm), peso de espiga (PE, em g), diâmetro do sabugo (DS, em mm), número de grãos da espiga (NG, em unidades), peso total de grãos da espiga (PG, em g), peso de sabugo (PS, em g) e massa de 100 grãos (MCG, em g).

Os coeficientes de correlação de Pearson são idênticos aos coeficientes de correlação fenotípicos. O cálculo dos coeficientes de correlação foi realizado conforme descrito por Steel e Torrie (1980) por meio da equação:

$$r = \frac{C\hat{o}v(X, Y)}{\sqrt{\hat{V}(X) \hat{V}(Y)}}$$

em que:

$C\hat{o}v(X, Y)$ = covariância entre X e Y; e

$\hat{V}(X) \hat{V}(Y)$ = variância de X e de Y, respectivamente.

Foram testadas as hipóteses $H_0: r = 0$ (coeficiente de correlação entre as variáveis X e Y não difere de zero) *versus* $H_1: r \neq 0$ (coeficiente de correlação entre as variáveis X e Y difere de zero). A significância das correlações foi testada por meio do teste *t* através da equação:

$$t = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{n-2}$$

em que *t* está associado a $n-2$ graus de liberdade, sendo n = número de híbridos em cada ensaio, e em um nível de significância α . Assim, se $|r| \geq r(\alpha, n-2)$, rejeita-se $H_0 = r = 0$, caso contrário não se rejeita a hipótese de nulidade.

Os coeficientes de correlação fenotípicas foram desdobrados em efeito direto e indireto dos caracteres de importância agrônoma para milho (variáveis independentes do modelo de regressão) sobre o rendimento de parcela (variável básica) por meio da análise de trilha (WRIGHT, 1921).

O cálculo dos efeitos diretos e indiretos da análise de trilha de uma cadeia foi realizado conforme descrito por Cruz (2006) por meio do modelo:

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon$$

em que X_1, X_2, \dots, X_n são as variáveis explicativas e Y a variável-base (ou variável dependente).

Considerando:

$$y = \frac{Y-\bar{Y}}{\hat{\sigma}_y} \quad x_i = \frac{X_i-\bar{X}_i}{\hat{\sigma}_{x_i}} \quad u = \frac{\varepsilon}{\hat{\sigma}_\varepsilon} \quad p_\varepsilon = \frac{\hat{\sigma}_\varepsilon}{\hat{\sigma}_y} \quad \text{e} \quad p_{oi} = \frac{b_{oi} \hat{\sigma}_{x_i}}{\hat{\sigma}_y}$$

têm-se;

$$y = p_1 x_1 + p_2 x_2 + \dots + p_n x_n + p_\varepsilon u$$

Assim, de forma generalizada, os coeficientes de trilha são estimados a partir de equações $X'X\hat{\beta} = X'Y$, sendo:

$$X'Y = \begin{bmatrix} r_{1y} \\ r_{2y} \\ \dots \\ r_{ny} \end{bmatrix} \quad X'X = \begin{bmatrix} 1 & r_{21} & \dots & r_{1n} \\ r_{12} & 1 & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{1n} & r_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad \text{e} \quad \hat{\beta} = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \dots \\ p_n \end{bmatrix}$$

de modo que se tenha:

$$r_{iy} = p_i + \sum_{j \neq i}^n p_j r_{ij}$$

em que:

r_{iy} : correlação entre a variável principal (y) e a i -ésima variável explicativa;

p_i : medida do efeito direto da variável i sobre a variável principal, e
 $p_{if_{ij}}$: medida do efeito indireto da variável i , via variável j , sobre a variável principal.

O coeficiente de determinação do diagrama de trilha é dado por:

$$R^2 = p_1 r_{1y} + p_1 p_{2y} + \dots + p_n p_{ny}$$

O efeito residual é assim estimado:

$$\hat{p}_\varepsilon = \sqrt{1 - R^2}$$

O cálculo dos efeitos diretos e indiretos da análise de trilha com colinearidade foi realizado conforme descrito por Cruz (2006) por meio do modelo:

$$r_{1y} = (1 + k)p_1 + p_2 r_{12} + \dots + p_n r_{1n}$$

$$r_{2y} = p_1 r_{12} + (1 + k)p_2 + \dots + p_n r_{2n}$$

... ..

$$r_{ny} = p_1 r_{1n} + p_2 r_{2n} + (1 + k)p_n$$

Assim, têm-se;

$$r_{iy} = (1 + k)p_i + \sum_{j \neq i}^n p_j r_{ij}$$

sendo:

r_{iy} : correlação entre a variável principal (y) e a i -ésima variável explicativa;

$(1 + k)p_i$: medida do efeito direto da variável i sobre a variável principal;

$p_j r_{ij}$: medida do efeito indireto da variável i , via variável j , sobre a variável principal.

As variáveis dos efeitos diretos (ε_d) e indiretos (ε_i) são dadas por:

$$V(\varepsilon_d) = V[(1 + k)p_i] = (1 + k)^2 V(p_i)$$

e

$$V(\varepsilon_i) = V(p_j r_{ij}) = r_{ij}^2 V(p_j)$$

O fator de inflação da variância e da covariância dos efeitos descritos no vetor Θ é estimado a partir da matriz:

$$\omega = (X'X + kl)^{-1} (X'X)(X'X + kl)^{-1}$$

de forma que:

$(1 + K)^{-1} \omega_{ij}$: fator de inflação do efeito direto da i -ésima variável; e

$r^2_{ij} \omega_{ij}$: fator de inflação da variância do efeito indireto da variável *i* por meio da variável *j*.

O grau de multicolinearidade da matriz $X'X$ foi estabelecido com base no seu número de condição (MONTGOMERY; PECK, 1981). As análises foram efetuadas com auxílio do programa computacional GENES (CRUZ, 2006) e por meio do programa SAS versão 9.3 (2013).

4.3 Resultados e discussão

Os resultados do resumo da análise de variância conjunta dos cinco locais para os caracteres avaliados são apresentados na tab. 4.1. Observa-se diferenças significativas em relação ao fator de tratamento híbridos para todos os caracteres analisados, mostrando suficiente variabilidade genética entre os materiais estudados, com exceção dos caracteres AC_QB, PROL, PE, PG e NG. O efeito de tratamento local mostrou-se altamente significativo ($p < 0,001$) para todos os caracteres estudados, evidenciando que, os locais de condução dos experimentos foram suficientemente distintos para que se detectasse diferenças significativas entre eles. Da mesma forma, foi verificado efeito significativo da interação híbridos x locais para os caracteres RG, DE, PG, NG, PS e MCG. A presença do efeito da interação entre híbridos e locais é decorrente do comportamento diferenciado dos materiais genéticos frente as variações ambientais, sendo um fator que dificulta a seleção de genótipos mais adaptados (CRUZ e CARNEIRO, 2006). Para os caracteres AC_QB, AE, AP, PROL, CE e DS não houve efeito significativo da interação, mostrando um desempenho semelhante nos cinco locais analisados.

Os coeficientes de variação experimental (CV) estimados na análise foram satisfatórios para todos os caracteres analisados, conforme classificação proposta por Scapim et al. (1995), revelando um bom nível de precisão nos experimentos de campo, com exceção do caráter AC_QB, visto que, a ocorrência desse fenômeno não é uniforme em toda a área experimental, onde rajadas isoladas de vento podem vir a atingir pontos específicos do experimento, e conseqüentemente elevando a magnitude do coeficiente, estando de acordo com Pacheco et al. (1998) que descreve um comportamento normalmente elevado deste caráter, apresentando coeficiente de variação alto.

Devido o fato de ter sido evidenciado interações significativas entre o efeito de tratamento local para todos os caracteres, e para o efeito da interação local x híbridos entre caracteres envolvidos com os componentes do rendimento de grãos, mostrou-se a necessidade de estudos de correlações e análise de trilha para cada local separadamente.

Os programas de melhoramento genético de milho, tem focado a seleção de híbridos cada vez mais produtivos e adaptados a uma ampla gama de ambientes de cultivo. Porém, o rendimento de grãos é um caráter em que a herança genética é muito complexa, pois resulta da atuação de vários genes de pequeno efeito sobre o fenótipo (ALLARD, 1971). Em milho, visto a grande importância dada ao caráter rendimento de grãos, o conhecimento das inter-relações entre o rendimento e os demais componentes de interesse agrônomo irá melhorar a eficiência dos programas de melhoramento através da utilização de índices de seleção mais apropriados. Desse modo, para as análises das estimativas de correlação de Pearson e análises de trilha subsequentes, é dada ênfase para o caráter rendimento de grãos de parcela (RG) sobre os demais componentes avaliados.

Caracteres genotípicos mas que não apresentam uma correlação fenotípica, podem não apresentar um valor prático no momento da seleção, visto que, a mesma é realizada com base no fenótipo (HOOPERHEIDE et al., 2007; CABRAL et al., 2011). Dessa maneira, optou-se por estimar somente as correlações fenotípicas no presente estudo, e seu desdobramento em efeitos diretos e indiretos, por serem estas as que o melhorista realmente manipula.

Na tab. 4.2 têm-se as estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson entre os 13 caracteres avaliados em 25 híbridos de milho, no município de Ampére - PR, sendo que estas variaram entre 0,007 a 0,939.

De acordo com Coimbra et al. (1999), as estimativas das correlações são, em geral, explicadas pelo efeito aditivo dos genes, afetando dois caracteres simultaneamente, demonstrando dessa forma a relevância do conhecimento do grau de associação existente entre caracteres de interesse agrônomo, sobretudo porque a seleção com base em um caractere pode alterar o comportamento do outro.

Analisando-se a tab. 4.2 para o município de Ampére, constata-se que dos 78 pares de caracteres, 34 estimativas apresentaram-se significativas, sendo estas,

29 positivas. Em relação ao caráter RG foram evidenciadas correlações de magnitude positivas e significativas para os pares PROL (0,301), DE (0,281), PE (0,445), PG (0,492) e MCG (0,514) indicando aumento linear pelas associações correspondentes. Em outras palavras, os resultados evidenciam que plantas mais prolíferas, com um maior diâmetro de espiga, peso da espiga, peso total de grãos assim como sua massa, proporcionarão um maior rendimento total de grãos. Tais resultados também foram reportados por Barros; Moreira e Ferreira (2010) que obtiveram correlações fenotípicas positivas entre peso de grãos da espiga e prolificidade com o caráter rendimento de grãos, avaliando seis populações de milho crioulo, sob dois e três ciclos de seleção. Da mesma forma, estes resultados são consistentes com os observados por Sadek; Ahmed e Abd El-Ghaney (2006) em estudos com estimativas de correlação e análise de trilha em seis linhagem e seis híbridos de milho branco.

O estudo de correlação consiste em uma medida de associação entre caracteres, porém não permite concluir sobre estudos de causa e efeito. Dessa forma, procede-se à análise de trilha, que investiga de fato essa relação de causa e efeito. Silva et al. (2005) reportam que esta análise proporciona conhecimento detalhado das influências dos caracteres envolvidos, justificando dessa forma, a ocorrência de correlações positivas e negativas, de alta e baixa magnitude, entre os caracteres estudados.

Assim, o desdobramento dos efeitos diretos e indiretos dos coeficientes de correlação fenotípica entre os caracteres em estudo, está apresentado na tab. 4.3.

Analisando a multicolinearidade, usando o teste de auto-valores e auto-vetores da matriz de correlação fenotípica, nas variáveis independentes do modelo, foi obtido o número de condição igual a 204 ($NC=204$), ou seja multicolinearidade de moderada a severa. Dessa forma, como não era de interesse retirar variáveis dessa relação para assim evitar a muticolinearidade, foi utilizado análise de trilha em crista para estimação dos parâmetros e assim, contornar os efeitos da mesma. A constante k foi determinada pelo exame do traço da crista, sendo que o valor de k adotado foi igual a 0,281 (tab. 4.3).

O coeficiente de determinação do modelo da análise de trilha apresentou baixa magnitude, com valor de 0,333, indicando que as variáveis independentes consideradas no estudo explicaram uma pequena fração da variação observada no

diagrama causal para o caráter dependente rendimento de grãos de parcela (RG), ficando evidente que o ambiente teve grande influencia nas estimativas para o local em questão. Dessa forma, a interpretação dos efeitos dos caracteres em questão deve ser realizado de forma cuidadosa, pois o efeito residual foi elevado e o coeficiente de determinação de baixa magnitude. Por outro lado, Rangel et al. (2011) observaram resultados semelhantes em pesquisas com milho pipoca.

Considerando os efeitos diretos sobre o caráter RG (tab. 4.3), o caráter PROL (0,227) possui o maior efeito direto, indicando grande contribuição para o aumento do rendimento de grãos, seguido da MCG (0,215) que apresentou efeito direto elevado e a maior correlação total, ressaltando também o caráter PG (0,179) apresentando efeito direto sobre o caráter principal, sendo dessa forma, os principais determinantes sobre o RG. Em contrapartida, DE (0,046) foi o caráter que apresentou o menor efeito direto. Os coeficientes de correlação de PROL, MCG e PG resultaram nos maiores efeitos diretos sobre a variável dependente, o que confirmou a relação de causa e efeito (CRUZ; REGAZZI, 1997). Segundo Vencovsky e Barriga (1992) quando ocorre uma seleção direta sobre os referidos caracteres, será eficiente o melhoramento para rendimento de grãos. A seleção para incremento do rendimento de grãos via plantas mais prolíferas torna-se uma estratégia eficiente visto que Aziz; Rehman e Rauf (1998) encontraram elevados coeficiente de herdabilidade para o caráter, com magnitude de 96,95%. Já Hallauer; Carena e Miranda Filho (2010) relatam herdabilidades para prolificidade de plantas e peso de grãos, apresentando magnitude de 39% e 41,8% respectivamente.

Mohammadi; Prasanna e Singh (2003) avaliando 90 combinações híbridas de milho em dois locais, por meio de análise de trilha, evidenciaram que peso de 100 grãos revelou os maiores efeitos diretos sobre o caráter peso total de grãos. Carvalho et al. (2001) em um estudo com 130 híbridos de milho, encontraram efeito direto dos caracteres número de espigas por planta e peso de 50 grãos sobre o rendimento de grãos.

Para o caráter PE, o efeito direto sobre RG foi inexpressivo (0,062). Certamente nesta situação os efeitos indiretos positivos de PG (0,168) e MCG (0,161) contribuíram para a correlação significativa entre os caracteres PE e RG, sendo portanto, os caracteres que devem ser considerados simultaneamente para a seleção no caráter RG. Da mesma forma, no caso do caráter DE o efeito direto

sobre o caráter RG apresentou baixa magnitude (0,046), com efeitos indiretos positivos de MCG (0,106) e PG (0,090). Tais resultados estão de acordo com Khameneh et al. (2012) estudando 21 caracteres de importância agrônômica em milho e sua relação com o rendimento de grãos.

Para Saidaiah; Satyanarayana e Kumar (2008) o rendimento de grãos em milho é o produto final da interação entre o rendimento e a contribuição de seus componentes, dessa forma a seleção com base em caracteres dos componentes do rendimento poderiam ser uma forma mais eficiente para incremento de maiores tetos produtivos na cultura. O conhecimento destas inter-relações é muito útil do ponto de vista dos melhoristas de plantas.

Na tab. 4.4 têm-se as estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson (r_F) entre os 13 caracteres avaliados em 25 híbridos de milho, no município de Clevelândia - PR, sendo que estas variaram entre 0,000 a 0,959.

Analisando os resultados da tab. 4.4, para RG evidencia-se a associação positiva e significativa com PROL (0,789), visto que este caráter é classificado como um dos componente do rendimento de grãos. Tais resultados foram reportados por Barros et al. (2010) em variedades de milho crioulo com magnitude de $r = 0,53$, e da estimativa em populações de milho sob seleção recorrente, por Neto e Souza Júnior (2009) com coeficientes entre 0,45 e 0,53.

Para Cruz; Regazzi e Carneiro (2012), o conhecimento da associação entre caracteres é de grande importância nos trabalhos de melhoramento, principalmente se a seleção em um deles apresenta dificuldades, em razão da baixa herdabilidade ou tenha problemas de mensuração e identificação.

A produção de grãos é uma característica complexa condicionada pela interação de vários processos fisiológicos no decorrer do ciclo da planta. O apropriado conhecimento de tais inter-relações entre o rendimento de grãos e a contribuição dos componentes pode melhorar significativamente a eficiência dos programas de melhoramento através do uso de índices de seleção mais adequados (EL-SHOUNY et al., 2005).

Para que a avaliação da associação entre caracteres tenha uma estimativa e gere uma interpretação biologicamente apropriada e segura, é de fundamental importância que se teste o grau de colinearidade entre as variáveis independentes (COIMBRA et al., 2005). Utilizando-se o caráter RG como variável dependente,

detectou-se multicolinearidade moderada a forte entre as variáveis explicativas baseada na classificação proposta por Montgomery e Peck (2001). Dessa maneira, utilizou-se a análise em crista, onde a constante k foi adicionada à diagonal da matriz $X'X$ pelo exame do traço da crista, sendo que o valor k adotado no presente trabalho foi igual a 0,447 (tab. 4.5).

Os efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre a variável básica analisado sob colinearidade estão apresentados na tab. 4.5. O coeficiente de determinação do modelo da análise de trilha foi igual a 0,524, caracterizando que 52,4 % da variação da variável dependente RG no modelo, estão sendo explicadas pelas variáveis utilizadas no diagrama causal. Para Borges et al. (2011) coeficientes de determinação próximo à unidade (1), aceitam que as variações na variável dependente são explicadas pelas variações das variáveis explicativas. Entretanto tal coeficiente ficou restrito a esta magnitude visto que, o caráter em questão ser de herança quantitativa, com grande número de genes de pequeno efeito no caráter, apresentando variância ambiental considerável, o que conseqüentemente reduz a herdabilidade.

Pode-se observar que a PROL evidenciou efeito direto positivo sobre a variável RG, com magnitudes de 0,567. Além disso, a estimativa corresponde à magnitude e o sinal do valor do coeficiente de correlação fenotípico com RG (0,789), permitindo o estabelecimento de associação mediana, porém verdadeira entre estes caracteres.

De acordo com Vencovsky e Barriga (1992), se o coeficiente de correlação entre um fator causal e o caráter final (variável dependente) for igual ou semelhante ao seu efeito direto, em magnitude e sinal, esta correlação explica a verdadeira associação existente. Nesse caso, uma seleção direta sobre o referido caráter causal será eficiente para melhorar o rendimento de grãos de parcela.

Andrade e Miranda Filho (2008) analisando 147 famílias de meio-irmãos de milho sob um ciclo de seleção massal estratificada e um ciclo de seleção recorrente, obtiveram uma resposta correlacionada sobre o incremento do rendimento de grãos de 16,6 % quando submeteram a seleção para aumento da característica de prolificidade das plantas, sendo que, os mesmos autores alcançaram magnitudes de correlação linear entre esses dois caracteres de $r = 0,48$. Entretanto, deve-se ter clara a finalidade a ser empregada na seleção pois Younes e Andrew (1978)

abordam que a prolificidade foi negativamente relacionada com a produção de espigas úteis, em um estudo com análise dialélica visando investigar a herança da prolificidade em híbridos simples de milho doce. Os autores argumentam que a seleção contra a prolificidade é aconselhável, visto que, a produtividade é medida em termos de espigas utilizáveis por área.

Na tab. 4.6 têm-se as estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson (r_F) entre os 13 caracteres avaliados em 25 híbridos de milho, no município de Itapiranga - SC, sendo que estas variaram entre 0,004 a 0,822.

Pelas significâncias das correlações fenotípicas, percebe-se que 24 pares de caracteres contiveram correlações significativas, sendo que 15 foram positivas (tab. 4.6). Segundo Carvalho et al. (2004) os valores positivos do coeficiente de correlação indicam a existência de uma relação diretamente proporcional entre as variáveis, ou seja, o aumento de uma variável conduz ao aumento da outra.

Com relação ao caráter RG são evidenciados efeitos significativos e positivos com os pares PROL (0,511), DE (0,331), PE (0,645), PG (0,546) e MCG (0,338), indicando aumento linear pelas associações correspondentes, e estimativas de associação negativa com AC_QB (-0,638).

Analisando 15 híbridos de milho Khayatnezhad et al. (2010) obtiveram correlações simples entre massa de 100 grãos e rendimento de grãos $r = 0,796$ assim como para peso de grãos $r = 0,794$. Guilin; Manjit e Orlando (1998) reportam correlações positivas entre número de espigas por planta com rendimento de grãos. Shalygina (1990), ao avaliarem 338 variedades, híbridos e linhagens de milho, encontraram correlações significativas e positivas entre rendimento de grãos com os caracteres diâmetro de espiga, peso de espiga, prolificidade e peso de 1000 grãos, predizendo uma seleção mais eficiente com base nestes caracteres para o incremento do rendimento de grãos na cultura.

Moraditochae et al. (2012) avaliando a eficiência de doses de nitrogênio sobre rendimento de grãos e seus componentes em milho, aferiu elevada associação positiva entre rendimento de grãos e comprimento da espiga $r = 0,962$, da mesma forma evidenciou efeito positivo entre rendimento de grãos e prolificidade $r = 0,610$.

Em relação a associação negativa evidenciada com AC_QB, mesmo sendo observado efeitos negativos embora não significativos entre AE e AP com RG,

Rangel et al. (2011) trabalhando com 200 famílias de irmãos completos sob seleção recorrente em milho pipoca, relatam que plantas de maior porte estão mais sujeitas ao quebramento de colmo principalmente em regiões de maior incidência de ventos fortes, ocasionando dessa forma, redução de rendimento da cultura em virtude de danos no grão. O mesmo autor ainda reporta associação elevada e positiva entre rendimento de grãos com peso de espiga evidenciando magnitudes de $r = 0,964$.

Foi realizado o teste do multicolinearidade da matriz de correlação das variáveis explicativas do modelo. O número de condição desse modelo foi $NC = 57,16$, o que revela uma multicolinearidade fraca, ou seja, um nível aceitável. Dessa forma, não houve a necessidade de utilizar algum método para contornar os efeitos da multicolinearidade.

Os efeitos de trilha, diretos e indiretos, das variáveis explicativas sobre o RG para o local Itapiranga encontram-se na tab. 4.7. Pode-se verificar pelo coeficiente de determinação que estas variáveis explicaram 69,90% da variação do caráter RG.

A correlação entre AC_QB e RG com magnitude de -0,638 e efeito direto de -0,433 indicam relação de causa e efeito, o que permite concluir que a seleção de genótipos que apresentem um menor índice de plantas acamadas e quebradas conduzirão a ganhos indiretos com incremento do rendimento de grãos. De forma similar o caráter PE apresentou efeito direto para a variável dependente com magnitude de 0,381, podendo-se afirmar que seleção indireta via espigas de maior peso será eficiente para um acréscimo na produtividade de grãos.

Para os caracteres DE, PG e MCG não foi constatado efeito direto com a variável dependente, sendo que esta correlação foi devida ao efeito indireto via PE apresentando magnitudes de 0,225, 0,331 e 0,148 respectivamente. O caráter PROL evidenciou efeito direto com RG de 0,140, sendo a principal contribuição foi devido ao efeito indireto positivo via AC_QB (0,211) e em menores proporções via PE (0,129), compreendendo que tanto a PROL quanto PE tendem a elevar o rendimento de grãos, porém tendendo a aumentar o grau de AC_QB de plantas. Presume-se que o maior peso que os colmos necessitem suportar pelo incremento do número e peso de espigas, além da maior demanda de fotoassimilados por estes drenos, favoreçam o acamamento e quebramento de plantas em ambientes que apresentem condições favoráveis para incidência do caráter. Silva et al. (2006) relatam que fatores como ventos fortes, chuvas excessivas e a própria característica intrínseca

da cultivar causam grande interferência para o acamamento de plantas. Gomes et al. (2010) menciona que a chuva aumenta o peso da parte aérea, sobretudo quando os cultivos encontram-se na fase reprodutiva, e também favorece o umedecimento do solo, gerando condições favoráveis para o acamamento das raízes, ao diminuir a sua ancoragem. Além disso, com maior umidade do solo, Easson et al. (1993) reportam que ventos de até 16 Km h^{-1} são suficientes para ocasionarem o acamamento das plantas.

O colmo do milho, além de suportar folhas e as partes reprodutiva, também serve como órgão de reserva de fotoassimilados. Dessa forma quando a aparato fotossintético não produz fotoassimilados em quantidade suficiente para a manutenção dos tecidos, principalmente para enchimento de grãos, a maior demanda exercida por este dreno leva os tecidos da raiz e colmo a senescerem precocemente, fragilizando essas regiões (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000; SANGOI et al., 2001).

Quando o caráter almejado é de difícil seleção em virtude de dificuldades de avaliação/mensuração, ou apresente baixa herdabilidade, pode-se aumentar a eficiência da seleção de forma indireta em caracteres que apresentem alta herdabilidade e facilmente mensuráveis (CARVALHO et al., 2004). Alguns autores relatam valores de herdabilidade maiores que 80% para o caráter peso de espiga por planta (HEFNY, 2011; AVI et al., 2003). Entretanto, Andrade e Miranda Filho (2008) reportam estimativas de herdabilidade consideradas baixas para peso de espiga, em torno de 0,141 a 0,398. Diante dos efeitos das estimativas supracitados, pressupõe-se que PE representa ser um caráter promissor na seleção indireta visando o incremento do rendimento de grãos, estando de acordo com Hallauer e Miranda Filho (1995) que conferem elevada associação entre os referidos caracteres.

Na tab. 4.8 apresentam-se as estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson (r_F) entre os 13 caracteres avaliados em 25 híbridos de milho, no município de Pato Branco - PR, sendo que estas variaram entre 0,002 a 0,793.

Pelas significâncias das correlações fenotípicas, percebe-se que 31 pares de caracteres contiveram correlações significativas, sendo que 26 foram positivas (tab. 4.8). O caráter RG apresentou correlações positivas e significativas com PROL (0,480), DE (0,340), DS (0,288) e MCG (0,284) e estimativa negativa AE (-0,363).

Segundo Souza et al. (2008) ao se fazer a seleção para plantas mais prolíferas, tem-se uma maior produção de grãos na cultura. Os mesmos autores analisando 100 progênies de meios-irmãos de uma população de milho crioulo, não evidenciaram estimativas significativas entre os caracteres altura de espiga e rendimento de grãos. Estimativas discordantes foram obtidas por Andrade e Miranda Filho (2008) apontando magnitudes positivas entre altura de espiga e rendimento, apresentando $r = 0,60$. Khayatnezhad et al. (2010) encontraram elevado efeito positivo e significativo entre peso de 1000 grãos ($r = 0,796$) e diâmetro do sabugo ($r = 0,744$) com rendimento de grãos, em virtude do maior diâmetro do sabugo comportar um maior número de fileiras de grãos. Hefny (2011) analisando 13 linhagens de milho, registraram estimativas de correlação positiva entre diâmetro da espiga e rendimento de grãos com magnitudes de $r = 0,574$.

O conhecimento das inter-relações entre caracteres que fazem parte dos componentes do rendimento é de suma importância visto que, segundo Gondim et al. (2008) o rendimento de grãos pode ser gerado pelo produto de três componentes principais, sendo eles, número de espigas por unidade de área, número de grãos por espiga e massa média de grãos, e seus comportamentos variam, até certo limite, independentemente um do outro.

Foi aplicado o teste dos auto-vetores e auto-valores da matriz de correlação das variáveis explicativas do modelo. O número de condição desse modelo foi $NC = 47,47$, o que revela uma multicolinearidade fraca, isto é, um nível aceitável. Tais resultados, não mostraram necessidade de uso de métodos alternativos para contornar os efeitos da multicolinearidade, permitindo que os parâmetros fossem estimados por meio do método dos mínimos quadrados.

Os efeitos diretos e indiretos via análise de trilha, das variáveis explicativas sobre o RG para o local Pato Branco encontram-se na tab. 4.9. Em relação à análise de trilha, o coeficiente de determinação, que refere-se a estimava do quanto caracteres utilizados estão representando a expressão da variável resposta RG, foi de 62%, indicando uma representação satisfatória dos caracteres na expressão do caráter principal. O desdobramento dos coeficientes de análise de trilha possibilitam confirmar associação entre RG com o caráter AE através do efeito direto com magnitude de $-0,192$, indicando que, o acréscimo de estatura da inserção das espigas das plantas, tem-se redução do rendimento de grãos da cultura, o que não é

desejável. Sangoi (2002a) aborda que redução da altura de planta e inserção de espiga foram importantes alterações dos híbridos de milho modernos, visto que, através dessa redução pode-se ter maior eficiência com uso de adubação nitrogenada, além disso, a redução promovida permitiu que o centro de gravidade da planta ficasse mais equilibrada, reduzindo a quebra de colmos e favorecendo a absorção e translocação de nutrientes para produção de grãos. Duvick (2005) reforça tal fato, analisando estatura de plantas em uma série temporal de 1930 à 2001 em 51 híbridos e 4 variedades adaptadas em *Corn Belt*, Iowa, USA, sendo que a altura de plantas praticamente apresentou-se inalterada ao longo dos anos, mas a altura de inserção da espiga mostrou uma tendência de redução de aproximadamente 3 cm por década. Srećkov et al. (2010) analisando uma população de milho de elevado teor de óleo após 16 ciclos de seleção recorrente com 2 testadores, verificou efeito direto negativo entre altura de espiga e rendimento de grãos, com magnitude de -0,403.

Os efeitos diretos entre PROL (0,513), MCG (0,527) e DS (0,179) sobre RG, revelaram ser estratégicos para ganhos genéticos via seleção indireta objetivando o incremento do rendimento de grãos. Os maiores efeitos diretos entre esses caracteres corroboram com os coeficientes de correlação, em sinal e magnitude semelhante, permitindo estabelecer verdadeira hipótese de associação.

Para o caráter DE, o coeficiente de correlação apresentou magnitude positiva (0,340) com RG. Entretanto, o efeito direto sobre RG apresentou-se inexpressivo (-0,027). Neste caso, os efeitos indiretos positivos via PE (0,125) e MCG (0,244) contribuíram para a correlação evidenciada, sendo, portanto, os caracteres que deverão ser considerados simultaneamente para a seleção de incremento do rendimento de grãos de parcela.

Resultados semelhantes foram verificados por Carvalho et al. (2001) analisando 130 combinações híbridas obtidas do cruzamento das populações Flint e Dentado, onde verificaram elevado efeito direto de número de espigas por planta e massa de 50 grãos sobre o rendimento de grãos por planta. Duvick (2005) em estudos de uma série temporal de 1930 a 2001 com 51 híbridos e 4 variedades adaptadas a região de *Corn Belt*, Iowa, USA, mostrou uma tendência altamente significativa no aumento em número de espigas por 100 plantas, com aumento de 3,6 espigas por década. Agrama (1996) observou que o número de espigas por

planta foi o componente de rendimento que apresentou o maior efeito direto sobre a produtividade de grãos. Srećkov et al (2010) relataram efeito positivo entre massa de 100 grãos com rendimento de grãos (0,573), entretanto evidenciando resultados contrários aos obtidos no referido estudo, encontrando efeito direto positivo com diâmetro de espiga e rendimento de grãos (0,394).

Na tab. 4.10 têm-se as estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson (r_F) entre os 13 caracteres avaliados em 25 híbridos de milho, no município de Frederico Westphalen - RS, sendo que estas variaram entre 0,001 a 0,890.

Analisando a tab. 4.10 foi evidenciado coeficientes de correlação positivos e significativos entre RG com os pares AP (0,294), PROL (0,594), DE (0,291), PE (0,349) e PG (0,396), indicando que seleção para incremento do rendimento de grãos da parcela deveria ser aplicado principalmente em genótipos com maior estatura, mais prolíferos, e com maior diâmetro e peso de grãos e espigas. Tais resultados foram reportados por Zeeshan et al. (2013) onde evidenciaram estimativas positivas entre os pares, rendimento de grãos e diâmetro de espiga com magnitude de $r=0,443$. Hefny (2011) reportaram correlação positiva entre rendimento de grãos por planta e peso de espiga. El-Shouny et al. (2005) obtiveram associações positivas entre rendimento de grãos com altura de plantas e diâmetro de espiga. Analisando seis híbridos simples de milho e seus respectivos genitores Sadek; Ahmed e Abd El-Ghaney (2006) evidenciaram correlações positivas e significativas com rendimento de grãos entre os caracteres altura de planta (0,954), peso de espiga (0,988) e diâmetro de espiga (0,867).

O rendimento de grãos é um caráter de maior importância econômica na cultura do milho, e devido à sua natureza complexa é dependente de todos os demais componentes. Dessa forma, qualquer variação em um dos componentes pode causar distúrbios neste equilíbrio, visto que este cereal não compartilha a característica da maioria das gramíneas com perfilhamento, mediante baixa área foliar ou pequeno número unidades reprodutivas por ramificação (SANGOI, 2001).

Ao se realizar a análise de trilha relativa à correlação entre RG com os demais caracteres de milho, o diagnóstico de multicolinearidade revelou existência de colinearidade fraca, com $NC=93,05$, estando em um nível aceitável, sem necessidade de uso de métodos alternativos para contornar os efeitos da

multicolinearidade, sendo os parâmetros estimados pelo uso do método dos mínimos quadrados.

Os resultados da análise de trilha para RG em função das variáveis explicativas, para o local Frederico Westphalen - RS, encontram-se na tab. 4.11. O coeficiente de determinação do modelo foi igual à 0,529, caracterizando que 52,90% da variação da variável dependente RG estão sendo explicadas pelas variáveis utilizadas no diagrama.

Em relação a associação entre os caracteres AP e RG, apresentou-se significativa e positiva (0,294), porém o efeito direto evidenciou magnitude reduzida (0,054). Isso indica que tais estimativas de correlação foram causadas via efeito indireto de PROL (0,123) e PG (0,153). Kashiani e Saleh (2010) em um estudo com linhagens parcialmente endogâmicas de milho doce, relataram efeitos de associação altamente significativos e positivos entre prolificidade de plantas e rendimento de espigas ($r = 0,99$), ratificando o efeito indireto explicitado acima.

O efeito direto positivo (0,592) expresso pelo caráter PROL sobre a variável dependente, corrobora com os coeficientes de correlação em sinal e magnitude, permitindo estabelecer hipótese de verdadeira existência de associação entre tais caracteres. Para Sangoi (2010) plantas mais prolíficas são geralmente mais tolerantes a condições adversas, visto que, produzem uma espiga sob condições de estresse e mais de uma espiga em condições propícias com densidades abaixo do ideal para a cultura. Dessa forma, híbridos prolíficos apresentam uma ampla faixa de densidade para maximizar o rendimento de grãos, ao contrário de híbridos não prolíficos que possuem uma faixa ótima mais restrita.

Observa-se a correlação total positiva com magnitude de 0,291 entre os caracteres RG e DE, mas seu efeito direto quase não correlacionou-se com o RG (0,090), sendo que para este caráter o efeito de outras variáveis, principalmente PG (0,573) de forma positiva e PE (-0,202) e NG (-0,173) de forma negativa foram a causa da direção da correlação. Alcantara Neto et al. (2011) argumenta do cuidado a ser tomado quando um caráter correlaciona-se positivamente com alguns e negativamente com outros, pois a seleção com base em determinados caracteres pode provocar mudanças indesejáveis em outros. Visto isso, para tal associação tem-se a necessidade de aplicar um esquema de seleção restrito, afim de eliminar tais efeitos indiretos indesejáveis.

O caráter PE apresentou correlação positiva e significativa com RG (0,349), mas seu efeito direto mostrou-se negativo (-0,332). O efeito indireto PG foi o que mais contribuiu (0,774) para a correlação entre PE e RG evidenciada. Neste caso a melhor estratégia, pode ser a seleção simultânea de caracteres, enfatizando os efeitos indiretos positivos desejáveis, ou seja, uma seleção indireta via PG.

O caractere PG mostrou elevada efeito direto sobre a variável dependente (0,869), demonstrando assim, uma boa relação entre o coeficiente de trilha e as estimativas dos coeficientes de correlação, indicando elevada contribuição deste caráter para o incremento do RG.

Duvick (2005) analisando séries temporais da evolução dos híbridos de milho, mostram uma tendência de incremento do peso de grãos e nenhum aumento do número de grãos por espiga, sendo este um dos responsáveis por ter alcançado ganho genético para rendimento de grãos assim como maior estabilidade de produção, dessa forma é dado mais eficiência em plantas com maior peso de grãos que plantas com maior número de grãos.

Na tab. 4.12 têm-se as estimativas dos coeficientes de correlação de Pearson (r_F) entre os 13 caracteres avaliados em 25 híbridos de milho, analisando os cinco ambientes de forma conjunta, sendo que estas variaram entre 0,005 a 0,888. Pelas significâncias das correlações fenotípicas, percebe-se que 62 pares de caracteres contiveram correlações significativas, sendo que 58 foram positivas.

Os altos graus de liberdade incluídos no teste t , contribuíram para evidenciar estimativas de correlação significativas com baixas magnitudes (Barros; Morreira e Ferreira, 2010).

Observa-se ainda na tab. 4.12 que para a análise conjunta, uma boa concordância na direção e na magnitude dos coeficientes de correlação (r_P) para a maioria dos pares de caracteres avaliados. O RG apresentou correlações significativas e positivas com todos os pares de caracteres, e revelou correlações negativas apenas com AC_QB (-0,152). Depreende-se desses resultados que o rendimento de grãos encontra-se diretamente relacionado com todos os componentes primários, secundários de produção e demais caracteres. Em milho, Leng (1954) definiu os componentes do rendimento de grãos, dividindo-os em componentes primários e secundários. Foram alocados como primários os caracteres prolificidade, peso de grãos, número de grãos por fileira e número de

fileiras, e como componentes secundários, os caracteres peso de grãos por espiga e número de grãos por espiga. Balbinot et al. (2005) menciona que a produtividade de grãos é determinada em função da densidade de plantas, prolificidade ou número de espigas por planta, número de fileiras de grãos por espiga, número médio de grãos por fileira e massa média de grãos.

Os resultados deste trabalho são semelhantes aos obtidos por Lopes et al. (2007) que evidenciaram um efeito direto no aumento de peso de grãos em híbridos simples e triplos de milho, devido a maior massa de 100 grãos e número de grãos por espiga. Neto e Miranda Filho (2001) trabalhando com 4 populações submetidas a 6 ciclos de seleção para tamanho de pendão e altura de espiga, obtiveram estimativas de correlação positiva entre altura de planta e altura de espiga com o caráter rendimento de grãos. Avi et al. (2003) encontraram associação positiva e significativa para rendimento de grãos com os caracteres altura de planta ($r = 0,75$), altura de espiga ($r = 0,56$), massa de 100 grãos ($r = 0,67$), número de grãos por fileira ($r = 0,71$), número de fileiras por espiga ($r = 0,92$), diâmetro de espiga ($r = 0,82$) e comprimento de espiga ($r = 0,87$).

Luque et al. (2006) estudando um conjunto de híbridos de milho lançados entre 1965 e 1997, relatam aumentos no rendimento de grãos ao redor de 60%, em função do aumento do número de grãos por área.

Na tab. 4.13 estão as estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre RG, envolvendo a análise conjunta dos cinco locais avaliados.

Ao se realizar a análise de trilha relativa à correlação entre RG com os demais caracteres de milho (tab. 4.13), o diagnóstico de multicolinearidade revelou existência de colinearidade fraca, com $NC = 73,35$, estando em um nível aceitável, sem necessidade de uso de métodos alternativos para contornar os efeitos da multicolinearidade, sendo os parâmetros estimados pelo uso do método dos mínimos quadrados. O coeficiente de determinação equivalente à 0,725 indica que as variáveis explicativas determinaram 72,50% da variação da variável básica, estando muito próximo ao encontrado por Balbinot Jr. et al. (2005).

Todos os caracteres analisados apresentaram efeito direto sobre o RG inferior ao coeficiente de correlação de Pearson, o que demonstra a existência de outras características influenciando, tanto no sentido como na magnitude das

correlações. Para Venkosky e Barriga (1992) tal fato dificulta a seleção de forma isolada do rendimento de grãos.

A decomposição dos efeitos das variáveis analisadas sobre a variável dependente RG apontou os caracteres PROL, DE, NG e PS como os mais indicados para a seleção indireta, principalmente por seu efeito direto apresentar 0,397, 0,267, 0,141 e 0,215 da correlação total 0,488, 0,628, 0,473 e 0,480 respectivamente. Estes resultados concordam com os constatados por Balbinot Jr. et al. (2005), Barros; Morreira e Ferreira (2010) e González et al. (1994). O presente trabalho permite inferir que a seleção para o incremento do rendimento de grãos pode ser obtida a partir da seleção de plantas mais prolíficas, com maior diâmetro de espiga, número total de grãos e peso de sabugo. Para Fancelli e Dourado-Neto (1999) programas de melhoramento de milho que visem o aumento do peso de grão, devem considerar o tamanho de espiga, pois este caráter atua indiretamente com o peso de grãos. Entretanto Lopes et al. (2007) afirma que o tamanho de espiga possui baixa contribuição na produção de grãos, quando o número de espigas por área for pequeno. Khodarahmpour e Hamidi (2012) analisando sete linhagens de milho sob estresse hídrico evidenciam estimativas de correlação de elevada magnitude positiva entre número de grãos por espiga e rendimento de grãos com $r = 0,80$. Segundo Nemati et al. (2009) o incremento do diâmetro de espigas causa o incremento do número de fileiras por espiga e conseqüentemente um incremento no rendimento de grãos.

O caráter PG apresentou correlação positiva (0,705) quando associado com RG. O efeito direto mostrou-se positivo (0,181), também destacando contribuição dos efeitos indiretos via DE (0,185) e PS (0,113), indicando que a seleção indireta de genótipos via peso de grãos, aliado a espigas com maior diâmetro e peso de sabugo apresentam incremento de ganhos para rendimento de grãos.

O caráter PE correlacionado com RG apresentou a maior magnitude entre os pares, com valor de $r = 0,708$, o efeito direto apresentou baixa magnitude (0,011). A correlação gerada ocorreu principalmente em função dos efeitos de DE, PG e PS, sendo os fatores majoritários nessa contribuição.

Para os caracteres DS e CE constatou-se associações lineares positivas com RG (0,274 e 0,224 respectivamente), tendo efeitos diretos negativos (-0,166 e -0,089 respectivamente). Vale ressaltar, contribuição dos efeitos indiretos

principalmente via PG (0,063), NG (0,080) e PS (0,076) para CE e via DE (0,132) e PS (0,123) para DS. Tais resultados são divergentes aos encontrados por Devi et al. (2001), onde reportaram que o comprimento de espiga apresentou um efeito direto e positivo com rendimento de grãos. Da mesma forma, Kumar et al. (2011) analisando 28 híbridos simples de milho oriundos de uma esquema dialélico, constataram um efeito direto positivo do comprimento de espiga sobre a variável dependente rendimento de grãos por planta. Entretanto, Hallauer; Carena e Miranda Filho (2010) relatam a análise de 10 gerações de seleção massal divergente para comprimento da espiga, sendo a seleção executada para maiores e menores comprimentos, atestando que, para o rendimento de grãos não houve melhoria com a seleção de espigas com maior comprimento. Os autores ainda afirmam que, a seleção para incremento do comprimento de espiga provoca um decréscimo da profundidade de grãos, sendo este último altamente correlacionado com rendimento de grãos.

O efeito direto de MCG (0,107), associado com DE (0,130) e PG (0,103) apresentam-se como boas estratégias de seleção para a obtenção de elevado RG.

Embora seja possível fazer inferências das correlações provenientes da análise conjunta dos locais, algumas diferenças são perceptíveis quando compara-se com os obtidos com a análise realizada por local em separado.

O caráter RG apresentou coeficientes de correlações significativos com todos os pares de caracteres, quando analisado de forma conjunta, englobando os cinco locais de estudo (tab. 4.12). Entretanto, quando verificado de forma individual, estratificando os locais, observa-se que PROL foi o único em que as estimativas de correlação mantiveram-se positiva e significativa com RG nos cinco locais analisados. Na tab. 4.14 está apresentada as médias e as estimativas dos índices ambientais para os caracteres avaliados, relativo aos cinco locais, segundo metodologia de Eberhart e Russel (1966).

A análise dos dados (tab. 4.14) indicou que PROL evidenciou baixos desvios relativos a diferença entre a média de todos os híbridos para cada local com a média geral, mostrando uma certa estabilidade nas condições ambientais durante o período estudado para as correlações evidenciadas entre este par de caracteres. Segundo Hallauer; Carena e Miranda Filho (2010) os componentes do rendimento são determinados em certos estágios da ontogenia dos genótipos, dessa forma sua expressão é determinada em um pequeno período de desenvolvimento da cultura.

Os mesmos autores relatam que para o caráter espigas por planta, por exemplo, é determinado pela combinação de fatores genéticos e ambientais durante 6 semanas antes do florescimento até o período de florescimento da planta. Dessa forma, se condições ambientais favoráveis ocorrerem neste período, a planta pode gerar mais de uma espiga/planta, mas em condições ambientais desfavoráveis neste período, a planta pode responder de forma variada.

Observa-se que o caractere DE, revelou estimativas de correlação positivas e significativas em 4 locais, sendo que, somente o local Clevelândia não evidenciou-se relação linear com RG. Para Hallauer; Carena e Miranda Filho (2010) este componente é influenciado por condições ambientais em uma ampla janela de tempo após o florescimento da planta. Analisando a tab. 4.14, nota-se variação no caráter DE entre os ambientes, evidenciando instabilidade nas condições climáticas durante o período de estudo. As correlações se mantiveram positivas e significativas entre o par de caracteres nos ambientes que apresentaram índices ambientais positivos, considerados favoráveis, como os locais Itapiranga (0,611) e Pato Branco (0,663), no entanto, ressalta-se que os coeficientes dos índices ambientais apresentaram baixa magnitude revelando pequenos desvios das médias dos genótipos nos locais em relação a média geral. Já os locais Ampère (-1,628) e Frederico W. (-2,645) foram considerados ambientes desfavoráveis, com as menores médias para o par de caracteres, mas da mesma forma, registraram significativas associações lineares, como os 2 locais supracitados. Percebe-se que o local Clevelândia apresentou a maior média (52,087) para o caráter, sendo considerado o ambiente mais favorável dentre os cinco locais (2,999). Entretanto, não se verifica estimativas de correlações significativas entre os pares de caracteres DE e RG neste local, sugerindo que o maior diâmetro observado não foi acompanhado por um aumento linear do RG, pois segundo Carvalho et al. (2004) a significância é utilizada para a verificação formal de hipóteses para existência de correlação linear entre duas variáveis.

Ao comparar a estimativa de correlação entre os caracteres PE e PG com RG, percebe-se comportamento linear positivo e significativo de forma conjunta e entre os locais Ampère, Itapiranga e Frederico Westphalen, dos 5 estudados. Analisando as estimativas dos índices ambientais (I_j) (tab. 14), verifica-se que os locais Ampère (PE = -7,228 e PG = -2,228), Itapiranga (PE = -5,227 e PG = -3,861) e

Frederico Westphalen (PE = -38,075 e PG = -33,236) foram os ambientes mais desfavoráveis, com médias inferiores, assim como índices negativos na performance dos genótipos para os caracteres. Isso denota que, a despeito da correlação positiva e significativa observada entre os locais, sugere-se que a seleção de genótipos com base nos caracteres peso de espiga e peso de grãos visando aumento linear para rendimento de grãos será eficiente em ambientes desfavoráveis. Tal fato está de acordo com os trabalhos de Hallauer; Carena e Miranda Filho (2010) afirmando que, ao se executar a seleção para ambientes mais favoráveis para a expressão das características, não têm-se a melhor resposta direta em ganhos com a seleção.

Ao analisar as estimativas de correlação entre os caracteres MCG e RG, percebe-se associação positiva e significativa quando realizado a análise de forma conjunta, e para os locais Ampére, Itapiranga e Pato Branco quando feito a estratificação por local. Em relação as estimativas dos índices ambientais (tab. 4.14) percebe-se que os locais Ampére (-3,107) e Itapiranga (-2,640) evidenciaram serem os ambientes mais desfavoráveis para o caráter. Para o local Pato Branco observa-se índice ambiental classificando-o como ambiente favorável (1,100). Para este par de correlações, não podemos afirmar que existe uma relação das estimativas evidenciadas com ambientes favoráveis e desfavoráveis, entretanto, nota-se que não houve uma inversão de sinais para este par de associações nos locais avaliados, o que denota que as diferenças ambientais não foram suficientemente consideráveis para sustentar a hipótese de estabelecimento de programas de melhoramento próprios para cada local. Tal argumento é reforçado por Daros et al. (2004) com estudos em milho pipoca em dois locais distintos.

Com relação a análise de trilha estratificada para cada local e de forma conjunta, pode-se afirmar que PROL, manteve seu efeito direto positivo com RG, tanto na análise conjunta como na estratificação dos locais, com exceção de Itapiranga, o que permite estabelecer uma verdadeira relação de causa e efeito, sugerindo ser este o caráter menos afetado pelos efeitos modificadores do ambiente. Isso demonstra que, nos locais analisados, há influencia marcante da PROL no rendimento de grãos de parcela, e que seria possível acrescentar progresso genético a seleção para incremento do rendimento de grãos *per se*, por intermédio da seleção para prolificidade de plantas, como característica auxiliar. Resultados semelhantes foram relatados por Barros; Moreira e Ferreira (2010) e

Galvão; Sawazaki e Miranda (2000). Segundo Magalhães e Durões (2002) híbridos com característica de prolificidade tendem a apresentar rendimentos mais estáveis em condições de estresses, uma vez que o desenvolvimento da espiga é menos inibido pelo estresse.

Entretanto, chama-se a atenção para os coeficientes de determinação evidenciados nos locais, pois apresentarem-se menores que os valores residuais nas análises de trilha, assim como as estimativas dos efeitos diretos e indiretos, sendo que essas observações devem ser cuidadosamente avaliadas em ensaios subsequentes.

4.4 Conclusões

A significância na fonte de variação genótipo x ambiente para a maioria dos caracteres avaliados confirma a presença da interação entre híbridos e locais.

Os diferentes locais de cultivo promovem modificações nas estimativas de correlação e dos efeitos diretos e indiretos entre caracteres que compõe os componentes primários e secundários do rendimento de grãos em milho.

A prolificidade de plantas apresenta ser um caráter de importância na contribuição para o potencial de rendimento de grãos na cultura do milho pela sua estabilidade confirmada nos locais de cultivo, quando adotado uma densidade de semeadura de 60.000 planta ha⁻¹, podendo ser utilizada como estratégia de seleção indireta visando elevada produtividade de grãos na cultura.

Os caracteres DE, PE, PG e MCG mostram importante influência no rendimento de grãos na estratificação de locais, podendo serem empregados como caracteres auxiliares em programas de melhoramento de milho que visem a obtenção de híbridos mais produtivos, com maiores ganhos genéticos via seleção praticada em ambientes desfavoráveis.

4.5 Referências Bibliográficas

AGRAMA, H. A. S. Sequential path analysis of grain yield and its components in maize. **Plant Breeding**, v.115, n. 5, p. 343- 346, 1996.

ALCANTARA NETO, F.; GRAVINA, G. A.; MONTEIRO, M. M. S.; MORAIS, F. B.; PETTER, F. A.; ALBUQUERQUE, J. A. A. Análise de trilha do rendimento de grãos de soja na microrregião do Alto Médio Gurguéia. **Comunicata Scientiae**, 2(2): 107-112, 2011.

ALLARD, R.W. **Princípios do melhoramento genético das plantas**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1971, 485 p.

ANDRADE, J. A. C. da; MIRANDA FILHO, J. B. Quantitative variation in the tropical maize population, ESALQ-PB1. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 2, p.174-182, 2008.

AVI, M. B.; RAFIQUE, M.; TARIQ, M. S.; HUSSAIN, A.; MAHMOOD, T.; SARWAR, M. Character association and path coefficient analysis of grain yield and yield maize (*Zea mays* L.). **Pakistan journal of biological science**, 6 (2): 136-138, 2003.

AZIZ, K.; REHMAN, A.; RAUF, A. Heritability and interrelationship for some plant traits in maize single cross. **Pakistan journal of biological sciences**, 1 (4): 313-314, 1998.

BALBINOT JR., A. A.; BACKES, R. L.; ALVES, A. C.; OGLIARI, J. B.; FONSECA, J. A. da. Contribuição de componentes de rendimento na produtividade de grãos em variedades de polinização aberta de milho. **Revista brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.11, n. 2, p. 161-166, 2005.

BARROS, L. B.; MOREIRA, R. M. P.; FERREIRA, J. M. Phenotypic, additive genetic and environment correlations of maize landraces populations in family farm systems. **Scientia Agricola**, v. 67, p. 685-691, 2010.

BORGES, V.; SOBRINHO, F. S.; LÉDO, F. J. da S.; KOPP, M. M. Associação entre caracteres e análise de trilha na seleção de progênies de meios-irmãos de *Brachiaria ruziziensis*. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 6, p. 765-772, 2011.

CABRAL, P. D. S.; SOARES, T. C. B.; LIMA, A. B. P.; SOARES, Y. J. B.; SILVA, J. A. Análise de trilha do rendimento de grãos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e seus componentes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 132-138, 2011.

CARVALHO, F. I. F. de; LORENCETTI, C.; BENIN, G. **Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal**. Pelotas: Ed. Universitária da UFPel, 2004. 142 p.

CARVALHO, C. G. P. de; BORSATO, R.; CRUZ, C. D.; VIANA, J. M. S. Path analysis under multicollinearity in $S_0 \times S_0$ maize hybrids. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.1, n. 3, p. 263-270, 2001.

COIMBRA, J. L. M.; BENIN, G.; VIEIRA, E. A.; OLIVEIRA, A. C., CARVALHO, F. I. F.; GUIDOLIN, A. F.; SOARES, A. P. Conseqüências da multicolinearidade sobre a análise de trilha em canola. **Ciência Rural**, 35:347-352, 2005.

COIMBRA, J. L. M.; GUIDOLIN, A. F., CARVALHO, F. I. F.; COIMBRA, S. M. M.; MARCHIORO, V. S. Análise de trilha I: análise do rendimento de grãos e seus componentes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 2, p. 213-218, 1999.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: grãos, primeiro levantamento, março 2013. Disponível em: < <http://www.conab.gov.br>> Acesso em: 01 set. 2013.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4ª ed. Viçosa: UFV, 2012, 514 p.

CRUZ, C. D. **Programa GENES – Versão Windows**, aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa : UFV, 2006. 648 p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2006. 586 p.

CRUZ, C. D; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**, 2 ed. Viçosa: UFV, 1997, 390 p.

DAROS, M.; AMARAL JÚNIOR, A. T.; PEREIRA, M. G.; SANTOS, F. S.; SCAPIM, C. A.; FREITAS JÚNIOR, S. P.; DAHER, R. F.; ÁVILA, M. R. Correlações entre caracteres agrônômicos em dois ciclos de seleção recorrente em milho-pipoca. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p.1389-1394, 2004.

DEVI, I. S.; MUHAMMAD, S.; MUHAMMAD, S. Character association and path coefficient analysis of grain yield and yield components in double crosses of corn. **Crop Res**, 21: 355-359, 2001.

DUVICK, D. N. **The Contribution of Breeding to Yield Advances in maize (*Zea mays* L.)**. Advances in agronomy, 86, Copyright 2005. 63 p.

EASSON, D. L.; WHITE, E. M.; PICKLES, S. J. The effects of weather, seed rate and cultivar on lodging and yield in winter wheat. **Journal of Agricultural Science**, v.121, p.145-156, 1993.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, Madison, v.6, n.1, p.36-40, 1966.

EL-SHOUNY, K. A.; EL-BAGUORY, O. H.; IBRAHIM, K. I. M.; AL-AHMAD, S. A. Correlation and path coefficient analysis in four yellow maize crosses under two planting dates. **Arab universities journal of agricultural sciences**, 13 (2):327-339, 2005.

EMBRAPA. Disponível em :
<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_7_ed/index.htm> Acesso em: 12 set. 2011.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.

FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. **Tecnologia da produção de milho**. Piracicaba: FEALQ/ ESALQ/USP, 1999. 360 p.

FAOSTAT - Food and Agriculture Organization of The United Nations data. Disponível em: < <http://faostat.fao.org/>> Acesso em: 01 set. 2013.

FERREIRA, F. M.; BARROS, W. S.; SILVA, F. L. da; BARBOSA, M. H. P.; CRUZ, C. D.; BASTOS, I. T1. Relações fenotípicas e genotípicas entre componentes de produção em cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 605-610, 2007.

GALVÃO, J. C. C.; SAWAZAKI, E.; MIRANDA, G. V. Comportamento de híbridos de milho em Coimbra, Minas Gerais. **Revista Ceres**, vol. xlvii, nº. 270, 2000.

GETTING **Started with the SAS® Learning Edition**. Cary, NC: SAS Institute, 2013. 81 p.

GOMES, L. S.; BRANDÃO, A. M.; BRITO, C. D.; MORAES, D. D.; LOPES, M. T. G. Resistência ao acamamento de plantas e ao quebramento do colmo em milho tropical. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 2, p. 140-145, 2010.

GONDIM, T. C. O.; ROCHA, V. S.; SEDIYAMA, C. S.; MIRANDA, G. V. Análise de trilha para componentes do rendimento e caracteres agronômicos de trigo sob desfolha. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 43, n. 4, p. 487-493, 2008.

GONZÁLEZ, P. A.; LEMOS, M. A.; NETO, C. E. R.; REIS, O. V. TABOSA, J. N.; TAVARES FILHO, J. J. Correlação genética, fenotípica e ambiental em dois ciclos de seleção no milho dentado composto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 29, n. 3, p. 419-425, 1994.

GUILIN, W.; MANJIT, S. K.; ORLANDO, M. Genetic analysis of grain-filling rate and duration in maize. **Field Crops Research**, 61: 212-222, 1998.

HALLAUER, A. R.; CARENA, M. J.; MIRANDA FILHO, J. B. de. **Quantitative genetics in maize breeding**. Springer, 2010. 663 p.

HALLAUER, A.R.; MIRANDA FILHO, J.B. **Quantitative genetics in maize breeding**. 2 ed. Ames: Iowa State University Press, 1995. 468 p.

HEFNY, M. Genetic parameters and path analysis of yield and its components in corn inbred lines (*Zea mays* L.) at different sowing dates. **Asian Journal of Crop Science**, 3 (3): 106-117, 2011.

HOOGERHEIDE, E. S. S. et al. Correlações e análise de trilha de caracteres tecnológicos e a produtividade de fibra de algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n.10, p.1401-1405, 2007.

INDICAÇÕES técnicas para a cultura de milho no Estado do Rio Grande do Sul - Safra 2011/2012 e 2012/2013. Organizado por Lia Rosane Rodrigues e Paulo Regis Ferreira da Silva. Porto Alegre: Fepagro, 2011, 140 p.

KASHIANI, P.; SALEH, G. Estimation of genetic correlations on sweet corn inbred lines using SAS mixed model. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, 5 (3): 309-314, 2010.

KHAMENEH, M. M.; BAHRAMINEJAD, S.; SADEGHI, F.; HONARMAND, S. J.; MANIEE, M. Path analysis and multivariate factorial analyses for determining interrelationships between grain yield and related characters in maize hybrids. **African Journal of Agricultural Research**, v. 7(48), p. 6437-6446, 2012.

KHATUN F.; BEGUM S; MOTIN, A.; YASMIN, S.; ISLAM, M. R. Correlation coefficient and path analysis of some maize (*Z. mays* L.) hybrids. **Bangladesh J. Bot.** 28: 9–15, 1999.

KHAYATNEZHAD, M.; GHOLAMIN, R.; JAMAATI-E-SOMARIN, S.; ZABIHI-E-MAHMOODABAD, R. Study of genetic diversity and path analysis for yield in corn (*Zea mays* L.) genotypes under water and dry condition. **World applied science journal**, 11 (1): 96-99, 2010.

KHODARAHMPOUR, Z.; HAMIDI, J. Study of yield and yield components of corn (*Zea mays* L.) inbred lines to drought stress. **African journal of biotechnology** v.11(13), p. 3099-3105, 2012.

KUMAR, T. S.; REDDY, D. M. R. K. H.; SUDHAKAR, P. Targeting of traits through assessment of interrelationship and path analysis between yield and yield components for grain yield improvement in single cross hybrids of maize (*Zea mays* L.). **International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology**, v. 2: Issue-3: 2011.

LENG, E. R. Effects of heterosis on the major components of grain yield in corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 46, n. 9, p. 502-506, 1954.

LOPES, S. J.; A. DAL'COLLÚCIO; STORCK, L.; DAMO, H. P.; BRUNV, B.; SANTOS, V. J. dos. Relações de causas e efeito em espigas de milho relacionadas aos tipos de híbridos. **Ciência Rural** 37(6): 1536-1542, 2007.

LUQUE, S. F.; CIRILO, A. G.; OTEGUI, M. E. Genetic gains in grain yield and related physiological attributes in Argentine maize hybrids. **Field crops research**, v. 95, n. 2, p. 383-397, 2006.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Cultivo do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2002. p.9 (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 39).

MOHAMMADI, S. A.; PRASANNA, B. M.; SINGH, N. N. Sequential path model for determining interrelationship among grain yield related characters in maize. **Crop Science**, Madison, v. 43, n. 5 , p.1690-1697, 2003.

MONTARDO, D. P.; Dall'AGNOL, M.; CRUSIUS, A. F; CRUSIUS, A. F.; PAIM, N. R. Análise de trilha para rendimento de sementes de trevo vermelho (*Trifolium pratense* L.) **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 5, p.1076-1082, 2003.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. 3 ed. New York, John Wiley & Sons, 2001. 504 p.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. New York : John Wiley, 1981. 504 p.

MORADITOCHEAE, M.; MOTAMED, M. K.; AZARPOUR, E.; DANESH, R. K.; BOZORGI, H. R. Effects of nitrogen fertilizer and plant density management in corn farming. **ARNP Journal of Agricultural and Biological Science**, v.7, n. 2, 2012.

NEMATI, A.; SEDGHI, M.; SHARIFI, R. S.; SEIEDI, M. N. Investigation of Correlation between Traits and Path Analysis of Corn (*Zea mays* L.) Grain Yield at the Climate of Ardabil Region (Northwest Iran). **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, 37(1), 194-198, 2009.

NETO, F. P. L.; SOUZA JÚNIOR, C. L. de. Number of recombinations and genetic properties of a maize population undergoing recurrent selection. **Scientia Agricola**, v. 66, n.1, p.52-58, 2009.

NETO, A. L. F.; MIRANDA FILHO, J. B. Genetic correlation between traits in the ESALQ-PB1 maize population divergently selected for tassel size and ear height. **Scientia Agricola**, v. 58, n.1, p.119-123, 2001.

PACHECO, C. A. P.; GAMA, E. E. G. E; GUIMARÃES, P. E. O.; SANTOS, M. X.; FERREIRA, A. S. Estimativas de parâmetros genéticos nas populações CMS-42 e CMS-43 de milho-pipoca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n.12, p. 1995 - 2001, 1998.

RANGEL, R. M.; AMARAL JÚNIOR, A. T. do; GONÇALVES, L. S. A.; FREITAS JÚNIOR, S. P.; CANDIDO, L. S. Análise biométrica de ganhos por seleção em população de milho pipoca de quinto ciclo de seleção recorrente. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 473-481, 2011.

RASAEI, A.; GHOBADI, M. E.; GHOBADI, M.; ABDI-NIYA, K. The study of traits correlation and path analysis of the grain yield of the peas in semi-dry conditions in Kermanshah. **International Conference on Food Engineering and Biotechnology**, IPCBEE v. 9, 2011.

SABAGHNIA, N.; DEHGHANI, H.; ALIZADEH, B.; MOHGHADDAM, M. Interrelationships between seed yield and 20 related traits of 49 canola (*Brassica napus* L.) genotypes in non-stressed and water-stressed environments. **Spanish Journal of Agricultural Research**, 8(2), 356-370, 2010.

SAIDAIHAH, P.; SATYANARAYANA, E.; KUMAR, S. S. Association and path coefficient analysis in maize (*Zea mays* L.). **Agricultural Science Digest**, v. 28, p. 79-83, 2008.

SADEK, S. E.; AHMED, M. A.; ABD EL-GHANEY, H. M. Correlation and Path Coefficient Analysis in Five Parents Inbred Lines and Their Six White Maize (*Zea Mays* L.) Single Crosses Developed and Grown in Egypt. **Journal of Applied Sciences Research**, 2(3): 159-167, 2006.

SANGOI, L.; SCHWEITZER, C.; SCHMITT, A.; PICOLI JR., G. J.; VARGAS, V. P.; VIEIRA, J.; SIEGA, E.; CARNIEL, G. Perfilhamento e prolificidade como características estabilizadoras do rendimento de grãos do milho, em diferentes densidades. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 9, n. 3, p. 254-265, 2010.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G. Bases morfofisiológicas para maior tolerância dos híbridos modernos de milho a altas densidades de plantas. **Bragantia**, v. 61, p. 101-110, 2002a.

SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, p.159-168, 2001.

SANGOI, L.; ALMEIDA, L. A.; LECH, V. A.; GRACIETTI, L. C.; RAMPAZZO, C. Desempenho de híbridos de milho com ciclos contrastantes em função da desfolha e da população de plantas. **Scientia Agricola**, v. 58, p. 271-276, 2001.

SANTOS, I. C.; MIRANDA, G. V.; MELO, A. V.; MATTOS, R. N.; OLIVEIRA, L. R.; LIMA, J. L.; GALVÃO, J. C. C. Comportamento de cultivares de milho produzidos organicamente e correlações entre características das espigas colhidas no estágio verde. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 4, n. 1, p. 45-53, 2005.

SCAPIM, C. A.; CARVALHO, C. G. P.; CRUZ, C. D. Uma proposta de classificação dos coeficientes de variação para cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 5, p. 683-686, 1995.

SELVARAJ, C. I.; NAGARAJAN, P. Interrelationship and path-coefficient studies for qualitative traits, grain yield and other yield attributes among maize (*Zea mays* L.). **International Journal of Plant Breeding and Genetic**, 5 (3): 209-223, 2011.

SHALYGINA, O. M. Correlation of yield in maize plants with its yield components and biological characters under irrigation in the lower Volga area. **Genetike i Selektzii**, 134: 10–4, 1990.

SILVA, G. O. da; PEREIRA, A. da S.; SOUZA, V. Q. de; CARVALHO, F. I. F. de; NETO, R. F. Correlações entre caracteres fenotípicos e análise de trilha para aparência e rendimento de batata. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 56(1): 063-068, 2009.

SILVA, S. A.; CARVALHO, F. I. F. de; NEDEL, J. L.; CRUZ, P. J.; SILVA, J. A. G. da; CAETANO, V. da R.; HARTWIG, I.; SOUSA, C. da S. Análise de trilha para os componentes de rendimento de grãos em trigo. **Bragantia**, v. 64, p.191-196, 2005.

SOUZA, A. R. R.; MIRANDA, G. V.; PERREIRA, M. G.; FERREIR, P. L. Correlação de caracteres de uma população crioula de milho para sistema tradicional de cultivo. **Revista Caatinga**, v.21, n.4, p.183-190, 2008.

SOUZA, P. M. de; BRAGA, M. J. Aspectos econômicos da produção e comercialização do milho no Brasil. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. (Eds) **Tecnologia de produção do milho**. 20. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004, v.1, p.13-53, 2004.

SREČKOV, Z.; BOĆANSKI, J.; NASTASIĆ, A.; DALOVIĆ, I.; VUKOSAVLJEV, M. Correlation and path coefficient analysis of morphological traits of maize (*Zea mays* L.). **Research Journal of Agricultural Science**, 42 (2), 2010.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. Analysis of covariance. **Principles and procedures of statistics: A Biometrical Approach**, p. 401-437, 1980.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Revista Brasileira de Genética, 1992. 496 p.

VESOHOSKI, F.; MARCHIORO, V. S.; FRANCO, F. de A.; CANTELLE, A. Componentes do rendimento de grãos em trigo e seus efeitos diretos e indiretos na produtividade. **Revista Ceres**, v. 58, p. 337-341, 2011.

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, v. 20, p. 557-585, 1921.

YOUNES, M. H.; ANDREW, R. H. Productivity and Prolificacy in a Diallel Series of Market Sweet Corn Hybrids. **Crop science**, v. 18 n. 2, p. 224-226, 1978.

ZAREI, B.; KAHRIZI, D.; ABOUGHADAREH, A. P.; SADEGHI, F. Correlation and path coefficient analysis for determining interrelationships among grain yield and related characters in corn hybrids (*Zea mays* L.). **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**. v. 4 (20), 1519-1522, 2012.

ZEESHAN, M.; AHSAN, M.; ARSHAD, W.; ALI, S.; HUSSAIN, M.; KHAN, M. I. Estimate of correlated responses for some polygenic parameters in yellow maize (*Zea mays* L.) hybrids. **International Journal of Advanced Research**, v.1, Issue 5, 24-29, 2013.

Tabela 4.1 Resumo da análise de variância entre os caracteres rendimento de grãos de parcela (RG), plantas acamadas e quebradas (AC_QB), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), prolificidade (PROL), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), peso de espiga (PE), peso de grãos (PG), diâmetro de sabugo (DS), número de grãos da espiga (NG), peso de sabugo (PS) e massa de cem grãos (MCG) entre 25 híbridos de milho, nos cinco ambientes estudados. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio												
		RG (kg)	AC_QB (unidades)	AE (m)	AP (m)	PROL (unidades)	DE (mm)	CE (mm)	PE (g)	PG (g)	DS (mm)	NG (unidades)	PS (g)	MCG (g)
Híbrido (H)	24	2,70**	1,13 ^{ns}	0,04**	0,09**	0,00 ^{ns}	9,66*	2,75**	932,54 ^{ns}	765,13 ^{ns}	10,09**	3027,75 ^{ns}	120,77**	27,82*
Locais (L)	4	201,62**	12,56**	1,75**	45,48**	0,10**	243,22**	81,66**	42808,73**	34051,18**	16,70**	159991,07**	875,70**	517,83**
H x L	96	1,28**	0,82 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	5,79*	1,34 ^{ns}	1030,08**	685,08**	2,37 ^{ns}	3597,02*	38,39**	15,98*
Erro	124	0,54	0,60	0,01	0,04	0,01	3,96	1,19	557,98	369,15	1,95	2,374,61	22,01	11,20
Média	-	7,89	1,41	1,18	2,30	1,02	49,08	16,93	208,59	173,77	29,07	557,06	34,99	32,97
CV (%)	-	9,32	54,83	9,53	8,67	8,85	4,05	6,44	11,32	11,05	4,82	8,74	13,40	10,15

** : * Significativo 1% e 5% de probabilidade respectivamente pelo teste F. ^{ns} Não significativo pelo teste F. CV (%)=coeficiente de variação.

Tabela 4.2 Estimativa dos coeficientes de correlação de Pearson entre os caracteres rendimento de grãos de parcela (RG), plantas acamadas e quebradas (AC_QB), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), prolificidade (PROL), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), peso de espiga (PE), peso de grãos (PG), diâmetro de sabugo (DS), número de grãos da espiga (NG), peso de sabugo (PS) e massa de cem grãos (MCG) em 25 híbridos de milho, no município de Ampére - PR. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.

Caracteres	RG	AC_QB	AE	AP	PROL	DE	CE	PE	PG	DS	NG	PS	MCG
RG	-	-0,022 ^{ns}	0,063 ^{ns}	0,060 ^{ns}	0,301*	0,281*	0,178 ^{ns}	0,445**	0,492**	0,205 ^{ns}	0,151 ^{ns}	0,246 ^{ns}	0,514**
AC_QB		-	0,253 ^{ns}	0,233 ^{ns}	-0,077 ^{ns}	-0,263 ^{ns}	-0,236 ^{ns}	-0,111 ^{ns}	0,064 ^{ns}	-0,374**	0,096 ^{ns}	-0,408**	0,035 ^{ns}
AE			-	0,486**	-0,136 ^{ns}	0,106	-0,222	-0,067 ^{ns}	0,047 ^{ns}	-0,255 ^{ns}	-0,053 ^{ns}	-0,362**	0,078 ^{ns}
AP				-	-0,031 ^{ns}	-0,088 ^{ns}	-0,314*	-0,188 ^{ns}	-0,111 ^{ns}	-0,154 ^{ns}	0,017 ^{ns}	-0,346*	-0,176 ^{ns}
PROL					-	-0,052 ^{ns}	-0,047 ^{ns}	0,027 ^{ns}	0,0007 ^{ns}	-0,051 ^{ns}	-0,052 ^{ns}	-0,046 ^{ns}	0,103 ^{ns}
DE						-	0,030 ^{ns}	0,551**	0,500**	0,293*	0,121 ^{ns}	0,288*	0,492**
CE							-	0,442**	0,380**	0,150 ^{ns}	0,362**	0,525**	0,240 ^{ns}
PE								-	0,939**	0,429**	0,538**	0,685**	0,750**
PG									-	0,377**	0,584**	0,552**	0,795**
DS										-	0,356*	0,719**	0,282*
NG											-	0,333*	0,079 ^{ns}
PS												-	0,496**
MCG													-

** : * Significativo 1% e 5% de probabilidade respectivamente pelo teste t. ^{ns} Não significativo pelo teste t.

Tabela 4.3 Estimativa dos efeitos diretos e indiretos entre os caracteres plantas acamadas e quebradas (AC_QB), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), prolificidade (PROL), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), peso de espiga (PE), peso de grãos (PG), diâmetro de sabugo (DS), número de grãos da espiga (NG), peso de sabugo (PS) e massa de cem grãos (MCG) sobre o caráter rendimento de grãos de parcela (RG), obtido por análise de trilha (análise de trilha com colinearidade) em 25 híbridos de milho, no município de Ampére - PR. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.

Caractere	Efeito direto (¹)		Efeito indireto(²)											Total (⁴)
	RG	AC_QB	AE	AP	PROL	DE	CE	PE	PG	DS	NG	PS	MCG	
AC_QB(³)	-0,002	-	0,007	0,028	-0,017	-0,012	-0,018	-0,007	0,012	-0,027	-0,003	0,011	0,008	-0,023
AE	0,026	-0,001	-	0,059	-0,031	0,005	-0,017	-0,004	0,009	-0,019	0,002	0,010	0,017	0,063
AP	0,122	-0,001	0,013	-	-0,007	-0,004	-0,025	-0,012	-0,020	-0,011	-0,001	0,010	-0,038	0,060
PROL	0,227	0,000	-0,004	-0,004	-	-0,002	-0,004	0,002	0,000	-0,004	0,002	0,001	0,022	0,301*
DE	0,046	0,001	0,003	-0,011	-0,012	-	0,002	0,034	0,090	0,021	-0,004	-0,008	0,106	0,282*
CE	0,078	0,001	-0,006	-0,038	-0,011	0,001	-	0,027	0,068	0,011	-0,012	-0,015	0,052	0,179
PE	0,062	0,000	-0,002	-0,023	0,006	0,026	0,035	-	0,168	0,031	-0,018	-0,019	0,161	0,445**
PG	0,179	0,000	0,001	-0,014	0,000	0,023	0,030	0,058	-	0,028	-0,019	-0,015	0,171	0,492**
DS	0,073	0,001	-0,007	-0,019	-0,012	0,014	0,012	0,027	0,068	-	-0,012	-0,020	0,061	0,206
NG	-0,033	0,000	-0,001	0,002	-0,012	0,006	0,028	0,033	0,105	0,026	-	-0,009	0,017	0,152
PS	-0,028	0,001	-0,009	-0,042	-0,011	0,013	0,041	0,042	0,099	0,053	-0,011	-	0,107	0,247
MCG	0,215	0,000	0,002	-0,021	0,024	0,023	0,019	0,046	0,143	0,021	-0,003	-0,014	-	0,514**
Coeficiente de determinação														0,333
Efeito da variável residual														0,816
Valor K														0,281

¹Efeito direto dos caracteres. ²Efeito indireto dos caracteres. ³Via dos caracteres. ⁴Coeficiente de correlação dos caracteres.

Tabela 4.4 Estimativa dos coeficientes de correlação de Pearson entre os caracteres rendimento de grãos de parcela (RG), plantas acamadas e quebradas (AC_QB), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), prolificidade (PROL), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), peso de espiga (PE), peso de grãos (PG), diâmetro de sabugo (DS), número de grãos da espiga (NG), peso de sabugo (PS) e massa de cem grãos (MCG) em 25 híbridos de milho, no município de Clevelândia - PR. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.

Caracteres	RG	AC_QB	AE	AP	PROL	DE	CE	PE	PG	DS	NG	PS	MCG
RG	-	-0,008 ^{ns}	0,094 ^{ns}	0,187 ^{ns}	0,789**	0,038 ^{ns}	0,040 ^{ns}	0,118 ^{ns}	0,175 ^{ns}	-0,091 ^{ns}	0,008 ^{ns}	-0,203 ^{ns}	0,067 ^{ns}
AC_QB		-	0,348*	0,339*	-0,071 ^{ns}	0,172 ^{ns}	-0,190 ^{ns}	-0,136 ^{ns}	-0,062 ^{ns}	-0,071 ^{ns}	-0,134 ^{ns}	-0,347*	0,069 ^{ns}
AE			-	0,959**	-0,158 ^{ns}	0,096 ^{ns}	-0,189 ^{ns}	-0,084 ^{ns}	-0,082 ^{ns}	-0,306*	0,022 ^{ns}	-0,492**	0,023 ^{ns}
AP				-	-0,089 ^{ns}	0,063 ^{ns}	-0,231 ^{ns}	-0,107 ^{ns}	-0,095 ^{ns}	-0,342*	-0,041 ^{ns}	-0,573**	0,000 ^{ns}
PROL					-	-0,151 ^{ns}	-0,065 ^{ns}	-0,077 ^{ns}	-0,107 ^{ns}	-0,017 ^{ns}	-0,145 ^{ns}	-0,133 ^{ns}	-0,088 ^{ns}
DE						-	0,074 ^{ns}	0,463**	0,500**	0,508**	0,378**	0,067 ^{ns}	0,175 ^{ns}
CE							-	0,435**	0,450**	0,097 ^{ns}	0,246 ^{ns}	0,412**	0,337*
PE								-	0,769**	0,136 ^{ns}	0,429**	0,371**	0,490**
PG									-	0,181 ^{ns}	0,473**	0,216 ^{ns}	0,537**
DS										-	0,294*	0,413**	-0,159 ^{ns}
NG											-	0,103 ^{ns}	-0,135 ^{ns}
PS												-	0,145 ^{ns}
MCG													-

** ; * Significativo 1% e 5% de probabilidade respectivamente pelo teste t. ^{ns} Não significativo pelo teste t.

Tabela 4.5 Estimativa dos efeitos diretos e indiretos entre os caracteres plantas acamadas e quebradas (AC_QB), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), prolificidade (PROL), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), peso de espiga (PE), peso de grãos (PG), diâmetro de sabugo (DS), número de grãos da espiga (NG), peso de sabugo (PS) e massa de cem grãos (MCG) sobre o caráter rendimento de grãos de parcela (RG), obtido por análise de trilha (análise de trilha com colinearidade) em 25 híbridos de milho, no município de Clevelândia - PR. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.

Caractere	Efeito direto ⁽¹⁾		Efeito indireto ⁽²⁾										Total ⁽⁴⁾	
	RG	AC_QB	AE	AP	PROL	DE	CE	PE	PG	DS	NG	PS		MCG
AC_QB ⁽³⁾	-0,022	-	0,009	0,045	-0,040	0,005	-0,007	-0,006	-0,008	0,003	-0,001	0,023	0,000	-0,008
AE	0,026	-0,008	-	0,129	-0,090	0,003	-0,007	-0,004	-0,011	0,011	0,000	0,032	0,000	0,094
AP	0,134	-0,007	0,025	-	-0,050	0,002	-0,008	-0,005	-0,013	0,012	0,000	0,038	0,000	0,187
PROL	0,567	0,002	-0,004	-0,012	-	-0,005	-0,002	-0,003	-0,015	0,001	-0,001	0,009	-0,001	0,789**
DE	0,031	-0,004	0,003	0,008	-0,086	-	0,003	0,020	0,069	-0,018	0,002	-0,004	0,001	0,038
CE	0,037	0,004	-0,005	-0,031	-0,037	0,002	-	0,019	0,062	-0,003	0,001	-0,027	0,002	0,040
PE	0,043	0,003	-0,002	-0,014	-0,044	0,014	0,016	-	0,106	-0,005	0,002	-0,025	0,003	0,118
PG	0,138	0,001	-0,002	-0,013	-0,061	0,015	0,016	0,033	-	-0,006	0,002	-0,014	0,004	0,175
DS	-0,035	0,002	-0,008	-0,046	-0,010	0,016	0,004	0,006	0,025	-	0,001	-0,027	-0,001	-0,091
NG	0,004	0,003	0,001	-0,005	-0,082	0,012	0,009	0,019	0,065	-0,010	-	-0,007	-0,001	0,008
PS	-0,066	0,008	-0,013	-0,077	-0,076	0,002	0,015	0,016	0,030	-0,015	0,000	-	0,001	-0,203
MCG	0,007	-0,002	0,001	0,000	-0,050	0,005	0,012	0,021	0,074	0,006	-0,001	-0,010	-	0,067
Coeficiente de determinação														0,524
Efeito da variável residual														0,690
Valor K														0,447

¹Efeito direto dos caracteres. ²Efeito indireto dos caracteres. ³Via dos caracteres. ⁴Coeficiente de correlação dos caracteres.

Tabela 4.6 Estimativa dos coeficientes de correlação de Pearson entre os caracteres rendimento de grãos de parcela (RG), plantas acamadas e quebradas (AC_QB), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), prolificidade (PROL), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), peso de espiga (PE), peso de grãos (PG), diâmetro de sabugo (DS), número de grãos da espiga (NG), peso de sabugo (PS) e massa de cem grãos (MCG) em 25 híbridos de milho, no município de Itapiranga - SC. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.

Caracteres	RG	AC_QB	AE	AP	PROL	DE	CE	PE	PG	DS	NG	PS	MCG
RG	-	-0,638**	-0,182 ^{ns}	-0,107 ^{ns}	0,511**	0,331*	0,032 ^{ns}	0,645**	0,546**	0,066 ^{ns}	-0,233 ^{ns}	0,188 ^{ns}	0,338*
AC_QB		-	0,272 ^{ns}	0,235 ^{ns}	-0,486**	-0,166 ^{ns}	0,246 ^{ns}	-0,321*	-0,213 ^{ns}	-0,044 ^{ns}	0,016 ^{ns}	-0,130 ^{ns}	-0,159 ^{ns}
AE			-	0,822**	-0,397**	0,148 ^{ns}	0,080 ^{ns}	-0,108 ^{ns}	0,078 ^{ns}	-0,256 ^{ns}	0,218 ^{ns}	-0,548**	0,017 ^{ns}
AP				-	-0,400**	0,213 ^{ns}	0,144 ^{ns}	-0,064 ^{ns}	0,185 ^{ns}	-0,126 ^{ns}	0,223 ^{ns}	-0,413**	0,123 ^{ns}
PROL					-	-0,042 ^{ns}	-0,029 ^{ns}	0,339*	0,228 ^{ns}	0,052 ^{ns}	-0,219 ^{ns}	0,257 ^{ns}	-0,004 ^{ns}
DE						-	-0,029 ^{ns}	0,591**	0,574**	0,472**	0,184 ^{ns}	0,011 ^{ns}	0,179 ^{ns}
CE							-	0,242 ^{ns}	0,174 ^{ns}	-0,111 ^{ns}	-0,106 ^{ns}	0,323*	0,138 ^{ns}
PE								-	0,817**	0,202 ^{ns}	0,007 ^{ns}	0,273 ^{ns}	0,390**
PG									-	0,030 ^{ns}	0,024 ^{ns}	-0,073 ^{ns}	0,424**
DS										-	0,109 ^{ns}	0,597**	-0,043 ^{ns}
NG											-	-0,118 ^{ns}	-0,207 ^{ns}
PS												-	0,117 ^{ns}
MCG													-

** ; * Significativo 1% e 5% de probabilidade respectivamente pelo teste t. ^{ns} Não significativo pelo teste t.

Tabela 4.7 Estimativa dos efeitos diretos e indiretos entre os caracteres plantas acamadas e quebradas (AC_QB), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), prolificidade (PROL), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), peso de espiga (PE), peso de grãos (PG), diâmetro de sabugo (DS), número de grãos da espiga (NG), peso de sabugo (PS) e massa de cem grãos (MCG) sobre o caráter rendimento de grãos de parcela (RG), obtido por análise de trilha (análise de uma cadeia) em 25 híbridos de milho, no município de Itapiranga - SC. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.

Caractere	Efeito direto (1)	Efeito indireto(2)												Total (4)
	RG	AC_QB	AE	AP	PROL	DE	CE	PE	PG	DS	NG	PS	MCG	
AC_QB(3)	-0,433	-	-0,009	0,035	-0,068	-0,006	-0,008	-0,122	-0,016	0,003	-0,003	-0,008	-0,002	-0,638**
AE	-0,033	-0,118	-	0,123	-0,056	0,005	-0,003	-0,041	0,006	0,016	-0,048	-0,033	0,000	-0,182
AP	0,149	-0,102	-0,027	-	-0,056	0,007	-0,005	-0,024	0,014	0,008	-0,049	-0,025	0,002	-0,107
PROL	0,140	0,211	0,013	-0,060	-	-0,001	0,001	0,129	0,017	-0,003	0,048	0,015	0,000	0,511**
DE	0,034	0,072	-0,005	0,032	-0,006	-	0,001	0,225	0,044	-0,029	-0,040	0,001	0,003	0,331*
CE	-0,032	-0,107	-0,003	0,021	-0,004	-0,001	-	0,092	0,013	0,007	0,023	0,019	0,002	0,032
PE	0,381	0,139	0,004	-0,009	0,048	0,020	-0,008	-	0,063	-0,012	-0,002	0,016	0,006	0,645**
PG	0,077	0,092	-0,003	0,028	0,032	0,020	-0,006	0,311	-	-0,002	-0,005	-0,004	0,006	0,546**
DS	-0,061	0,019	0,008	-0,019	0,007	0,016	0,004	0,077	0,002	-	-0,024	0,036	-0,001	0,066
NG	-0,219	-0,007	-0,007	0,033	-0,031	0,006	0,003	0,003	0,002	-0,007	-	-0,007	-0,003	-0,233
PS	0,060	0,056	0,018	-0,062	0,036	0,000	-0,010	0,104	-0,006	-0,036	0,026	-	0,002	0,188
MCG	0,015	0,069	-0,001	0,018	-0,001	0,006	-0,004	0,148	0,032	0,003	0,045	0,007	-	0,338*
Coeficiente de determinação														0,699
Efeito da variável residual														0,549

¹Efeito direto dos caracteres. ²Efeito indireto dos caracteres. ³Via dos caracteres. ⁴Coeficiente de correlação dos caracteres.

Tabela 4.8 Estimativa dos coeficientes de correlação de Pearson entre os caracteres rendimento de grãos de parcela (RG), plantas acamadas e quebradas (AC_QB), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), prolificidade (PROL), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), peso de espiga (PE), peso de grãos (PG), diâmetro de sabugo (DS), número de grãos da espiga (NG), peso de sabugo (PS) e massa de cem grãos (MCG) em 25 híbridos de milho, no município de Pato Branco - PR. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.

Caracteres	RG	AC_QB	AE	AP	PROL	DE	CE	PE	PG	DS	NG	PS	MCG
RG	-	0,006 ^{ns}	-0,363 ^{**}	0,257 ^{ns}	0,480 ^{**}	0,340 [*]	-0,026 ^{ns}	0,211 ^{ns}	0,053 ^{ns}	0,288 [*]	0,041 ^{ns}	0,239 ^{ns}	0,284 [*]
AC_QB		-	0,053 ^{ns}	0,144 ^{ns}	0,035 ^{ns}	-0,035 ^{ns}	0,127 ^{ns}	-0,086 ^{ns}	-0,014 ^{ns}	0,044 ^{ns}	0,017 ^{ns}	0,033 ^{ns}	-0,242 ^{ns}
AE			-	-0,002 ^{ns}	-0,266 ^{ns}	-0,208 ^{ns}	0,096 ^{ns}	-0,038 ^{ns}	-0,051 ^{ns}	-0,451 ^{**}	-0,003 ^{ns}	-0,224 ^{ns}	0,074 ^{ns}
AP				-	0,173 ^{ns}	0,046 ^{ns}	-0,094 ^{ns}	-0,173 ^{ns}	0,059 ^{ns}	-0,308 [*]	-0,235 ^{ns}	-0,346 [*]	-0,015 ^{ns}
PROL					-	-0,126 ^{ns}	-0,248 ^{ns}	-0,241 ^{ns}	-0,186 ^{ns}	0,167 ^{ns}	0,016 ^{ns}	-0,125 ^{ns}	-0,346 [*]
DE						-	0,049 ^{ns}	0,570 ^{**}	0,390 ^{**}	0,462 ^{**}	0,454 ^{**}	0,477 ^{**}	0,463 ^{**}
CE							-	0,533 ^{**}	0,273 ^{ns}	0,039 ^{ns}	0,395 ^{**}	0,507 ^{**}	0,225 ^{ns}
PE								-	0,620 ^{**}	0,383 ^{**}	0,613 ^{**}	0,793 ^{**}	0,498 ^{**}
PG									-	0,286 [*]	0,340 [*]	0,457 ^{**}	0,381 ^{**}
DS										-	0,332 [*]	0,639 ^{**}	-0,004 ^{ns}
NG											-	0,487 ^{**}	-0,084 ^{ns}
PS												-	0,366 ^{**}
MCG													-

** : * Significativo 1% e 5% de probabilidade respectivamente pelo teste t. ^{ns} Não significativo pelo teste t.

Tabela 4.9 Estimativa dos efeitos diretos e indiretos entre os caracteres plantas acamadas e quebradas (AC_QB), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), prolificidade (PROL), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), peso de espiga (PE), peso de grãos (PG), diâmetro de sabugo (DS), número de grãos da espiga (NG), peso de sabugo (PS) e massa de cem grãos (MCG) sobre o caráter rendimento de grãos de parcela (RG), obtido por análise de trilha (análise de uma cadeia) em 25 híbridos de milho, no município de Pato Branco - PR. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.

Caractere	Efeito direto ⁽¹⁾	Efeito indireto ⁽²⁾											Total ⁽⁴⁾	
	RG	AC_QB	AE	AP	PROL	DE	CE	PE	PG	DS	NG	PS		MCG
AC_QB ⁽³⁾	0,099	-	-0,010	0,041	0,018	0,001	-0,009	-0,019	0,004	0,008	0,001	0,000	-0,128	0,006
AE	-0,192	0,005	-	0,000	-0,136	0,006	-0,006	-0,008	0,013	-0,081	0,000	-0,001	0,039	-0,363**
AP	0,284	0,014	0,000	-	0,089	-0,001	0,006	-0,038	-0,016	-0,055	-0,017	-0,002	-0,008	0,257
PROL	0,513	0,003	0,051	0,049	-	0,003	0,017	-0,053	0,049	0,030	0,001	-0,001	-0,182	0,480**
DE	-0,027	-0,003	0,040	0,013	-0,065	-	-0,003	0,125	-0,103	0,083	0,033	0,003	0,244	0,340*
CE	-0,067	0,013	-0,018	-0,027	-0,127	-0,001	-	0,117	-0,072	0,007	0,028	0,003	0,119	-0,026
PE	0,219	-0,009	0,007	-0,049	-0,124	-0,015	-0,036	-	-0,163	0,069	0,044	0,005	0,262	0,211
PG	-0,263	-0,001	0,010	0,017	-0,095	-0,010	-0,018	0,136	-	0,051	0,024	0,003	0,201	0,053
DS	0,179	0,004	0,087	-0,088	0,086	-0,012	-0,003	0,084	-0,075	-	0,024	0,004	-0,002	0,288*
NG	0,072	0,002	0,001	-0,067	0,008	-0,012	-0,027	0,134	-0,089	0,059	-	0,003	-0,044	0,041
PS	0,006	0,003	0,043	-0,098	-0,064	-0,013	-0,034	0,174	-0,120	0,115	0,035	-	0,193	0,239
MCG	0,527	-0,024	-0,014	-0,004	-0,177	-0,012	-0,015	0,109	-0,100	-0,001	-0,006	0,002	-	0,284*
Coeficiente de determinação														0,620
Efeito da variável residual														0,616

¹Efeito direto dos caracteres. ²Efeito indireto dos caracteres. ³Via dos caracteres. ⁴Coeficiente de correlação dos caracteres.

Tabela 4.10 Estimativa dos coeficientes de correlação de Pearson entre os caracteres rendimento de grãos de parcela (RG), plantas acamadas e quebradas (AC_QB), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), prolificidade (PROL), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), peso de espiga (PE), peso de grãos (PG), diâmetro de sabugo (DS), número de grãos da espiga (NG), peso de sabugo (PS) e massa de cem grãos (MCG) em 25 híbridos de milho, no município de Frederico Westphalen - RS. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.

Caracteres	RG	AC_QB	AE	AP	PROL	DE	CE	PE	PG	DS	NG	PS	MCG
RG	-	-0,021 ^{ns}	0,253 ^{ns}	0,294*	0,595**	0,291*	0,236 ^{ns}	0,349*	0,396**	0,160 ^{ns}	0,217 ^{ns}	0,271 ^{ns}	0,125 ^{ns}
AC_QB		-	0,073 ^{ns}	0,202 ^{ns}	-0,001 ^{ns}	-0,185 ^{ns}	0,028 ^{ns}	-0,124 ^{ns}	-0,104 ^{ns}	-0,050 ^{ns}	0,167 ^{ns}	-0,138 ^{ns}	-0,296*
AE			-	0,735**	0,088 ^{ns}	0,261 ^{ns}	0,260 ^{ns}	0,288*	0,264 ^{ns}	0,081 ^{ns}	0,145 ^{ns}	0,186 ^{ns}	0,176 ^{ns}
AP				-	0,207 ^{ns}	0,141 ^{ns}	0,273 ^{ns}	0,176 ^{ns}	0,177 ^{ns}	0,214 ^{ns}	0,160 ^{ns}	0,265 ^{ns}	0,001 ^{ns}
PROL					-	0,128 ^{ns}	0,116 ^{ns}	0,205 ^{ns}	0,128 ^{ns}	0,240 ^{ns}	0,137 ^{ns}	0,197 ^{ns}	0,004 ^{ns}
DE						-	0,313*	0,611**	0,660**	0,514**	0,396**	0,414**	0,347*
CE							-	0,641**	0,565**	0,037 ^{ns}	0,448**	0,540**	0,228 ^{ns}
PE								-	0,890**	0,219 ^{ns}	0,616**	0,684**	0,305*
PG									-	0,206 ^{ns}	0,699**	0,576**	0,295*
DS										-	0,113 ^{ns}	0,444**	0,117 ^{ns}
NG											-	0,251 ^{ns}	-0,348*
PS												-	0,407**
MCG													-

** ; * Significativo 1% e 5% de probabilidade respectivamente pelo teste t. ^{ns} Não significativo pelo teste t.

Tabela 4.11 Estimativa dos efeitos diretos e indiretos entre os caracteres plantas acamadas e quebradas (AC_QB), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), prolificidade (PROL), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), peso de espiga (PE), peso de grãos (PG), diâmetro de sabugo (DS), número de grãos da espiga (NG), peso de sabugo (PS) e massa de cem grãos (MCG) sobre o caráter rendimento de grãos de parcela (RG), obtido por análise de trilha (análise de uma cadeia) em 25 híbridos de milho, no município de Frederico Westphalen - RS. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.

Caractere	Efeito direto (¹)		Efeito indireto(²)											Total (⁴)
	RG	AC_QB	AE	AP	PROL	DE	CE	PE	PG	DS	NG	PS	MCG	
AC_QB(³)	0,029	-	0,007	0,011	0,000	-0,017	0,001	0,041	-0,091	0,005	-0,073	-0,005	0,071	-0,021
AE	0,094	0,002	-	0,040	0,052	0,024	0,014	-0,096	0,229	-0,008	-0,064	0,007	-0,042	0,253
AP	0,054	0,006	0,069	-	0,123	0,013	0,015	-0,058	0,153	-0,020	-0,070	0,010	0,000	0,294*
PROL	0,592	0,000	0,008	0,011	-	0,012	0,006	-0,068	0,111	-0,023	-0,060	0,007	-0,001	0,595**
DE	0,090	-0,005	0,025	0,008	0,076	-	0,017	-0,202	0,573	-0,049	-0,173	0,016	-0,083	0,291*
CE	0,054	0,001	0,025	0,015	0,069	0,028	-	-0,212	0,491	-0,004	-0,196	0,020	-0,055	0,236
PE	-0,332	-0,004	0,027	0,010	0,121	0,055	0,034	-	0,774	-0,021	-0,269	0,026	-0,073	0,349*
PG	0,869	-0,003	0,025	0,010	0,076	0,060	0,030	-0,295	-	-0,020	-0,306	0,022	-0,071	0,396**
DS	-0,095	-0,001	0,008	0,012	0,142	0,047	0,002	-0,073	0,179	-	-0,049	0,017	-0,028	0,160
NG	-0,437	0,005	0,014	0,009	0,081	0,036	0,024	-0,204	0,608	-0,011	-	0,010	0,084	0,217
PS	0,038	-0,004	0,017	0,014	0,116	0,037	0,029	-0,227	0,500	-0,042	-0,110	-	-0,098	0,271
MCG	-0,241	-0,009	0,017	0,000	0,002	0,031	0,012	-0,101	0,256	-0,011	0,152	0,015	-	0,125
Coeficiente de determinação														0,529
Efeito da variável residual														0,686

¹Efeito direto dos caracteres. ²Efeito indireto dos caracteres. ³Via dos caracteres. ⁴Coeficiente de correlação dos caracteres.

Tabela 4.12 Estimativa dos coeficientes de correlação de Pearson entre os caracteres rendimento de grãos de parcela (RG), plantas acamadas e quebradas (AC_QB), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), prolificidade (PROL), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), peso de espiga (PE), peso de grãos (PG), diâmetro de sabugo (DS), número de grãos da espiga (NG), peso de sabugo (PS) e massa de cem grãos (MCG) em 25 híbridos de milho, nos cinco locais. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.

Caracteres	RG	AC_QB	AE	AP	PROL	DE	CE	PE	PG	DS	NG	PS	MCG
RG	-	-0,152*	0,313**	0,428**	0,488**	0,628**	0,224**	0,708**	0,705**	0,274**	0,473**	0,480**	0,451**
AC_QB		-	0,402**	0,287**	-0,114 ^{ns}	-0,083 ^{ns}	0,209**	-0,127*	-0,031 ^{ns}	-0,044 ^{ns}	0,120 ^{ns}	-0,245**	-0,184**
AE			-	0,754**	0,005 ^{ns}	0,367**	0,364**	0,284**	0,375**	0,064 ^{ns}	0,371**	-0,024 ^{ns}	0,110 ^{ns}
AP				-	0,143*	0,378**	0,154*	0,387**	0,493**	0,165**	0,261**	0,092 ^{ns}	0,281**
PROL					-	0,074 ^{ns}	0,088 ^{ns}	0,188**	0,206**	0,131*	0,194**	0,087 ^{ns}	-0,039 ^{ns}
DE						-	0,206**	0,728**	0,691**	0,494**	0,484**	0,499**	0,487**
CE							-	0,388**	0,349**	0,160*	0,568**	0,354**	-0,052 ^{ns}
PE								-	0,888**	0,372**	0,600**	0,692**	0,591**
PG									-	0,336**	0,588**	0,527**	0,572**
DS										-	0,337**	0,573**	0,106 ^{ns}
NG											-	0,365**	-0,062 ^{ns}
PS												-	0,438**
MCG													-

** ; * Significativo 1% e 5% de probabilidade respectivamente pelo teste t. ^{ns} Não significativo pelo teste t.

Tabela 4.13 Estimativa dos efeitos diretos e indiretos entre os caracteres plantas acamadas e quebradas (AC_QB), altura de espiga (AE), altura de planta (AP), prolificidade (PROL), diâmetro de espiga (DE), comprimento de espiga (CE), peso de espiga (PE), peso de grãos (PG), diâmetro de sabugo (DS), número de grãos da espiga (NG), peso de sabugo (PS) e massa de cem grãos (MCG) sobre o caráter rendimento de grãos de parcela (RG), obtido por análise de trilha (um diagrama causal) em 25 híbridos de milho, nos cinco locais. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.

Caractere	Efeito direto (1)													Efeito indireto(2)													Total (4)
	RG	AC_QB	AE	AP	PROL	DE	CE	PE	PG	DS	NG	PS	MCG														
AC-QB(3)	-0,072	-	0,038	0,023	-0,045	-0,022	-0,019	-0,001	-0,006	0,007	0,017	-0,053	-0,020	-0,152*													
AE	0,095	-0,029	-	0,060	0,002	0,098	-0,032	0,003	0,068	-0,011	0,052	-0,005	0,012	0,313**													
AP	0,080	-0,021	0,071	-	0,057	0,101	-0,014	0,004	0,089	-0,027	0,037	0,020	0,030	0,428**													
PROL	0,397	0,008	0,000	0,011	-	0,020	-0,008	0,002	0,037	-0,022	0,027	0,019	-0,004	0,488**													
DE	0,267	0,006	0,035	0,030	0,029	-	-0,018	0,008	0,125	-0,082	0,068	0,107	0,052	0,628**													
CE	-0,089	-0,015	0,034	0,012	0,035	0,055	-	0,004	0,063	-0,026	0,080	0,076	-0,006	0,224**													
PE	0,011	0,009	0,027	0,031	0,074	0,195	-0,034	-	0,161	-0,062	0,085	0,148	0,064	0,708**													
PG	0,181	0,002	0,035	0,039	0,082	0,185	-0,031	0,010	-	-0,056	0,083	0,113	0,061	0,705**													
DS	-0,166	0,003	0,006	0,013	0,052	0,132	-0,014	0,004	0,061	-	0,048	0,123	0,011	0,274**													
NG	0,141	-0,009	0,035	0,021	0,077	0,129	-0,050	0,007	0,106	-0,056	-	0,078	-0,007	0,473**													
PS	0,215	0,018	-0,002	0,007	0,034	0,134	-0,031	0,008	0,095	-0,095	0,052	-	0,047	0,480**													
MCG	0,107	0,013	0,010	0,022	-0,015	0,130	0,005	0,006	0,103	-0,018	-0,009	0,094	-	0,451**													
Coeficiente de determinação														0,725													
Efeito da variável residual														0,525													

¹Efeito direto dos caracteres. ²Efeito indireto dos caracteres. ³Via dos caracteres. ⁴Coeficiente de correlação dos caracteres.

Tabela 4.14 Estimativa dos índices ambientais e média dos locais entre 25 híbridos de milho, segundo metodologia proposta por Eberhart & Russell (1966), considerando os caracteres rendimento de grãos de parcela (RG, em kg), plantas acamadas e quebradas (AC_QB, em unidades), altura de espiga (AE, em m), altura de planta (AP, em m), prolificidade (PROL, em unidades), diâmetro de espiga (DE, em mm), comprimento de espiga (CE, em cm), peso de espiga (PE, em g), peso de grãos (PG, em g), diâmetro de sabugo (DS, em mm), número de grãos da espiga (NG, em unidades), peso de sabugo (PS, em g) e massa de cem grãos (MCG, em g), em cinco locais. CGF/FAEM UFPel, Pelotas, 2013.

Caracteres	Médias dos locais e estimativas dos índices ambientais (I _j)									
	Ampére		Clevelândia		Itapiranga		Pato Branco		Frederico W.	
	I _j	Média	I _j	Média	I _j	Média	I _j	Média	I _j	Média
RG	-0,399	7,4917	2,638	10,528	-0,345	7,546	0,937	8,828	-2,831	5,059
AC_QB	0,235	1,647	0,022	1,434	0,596	2,008	-0,767	0,646	-0,086	1,327
AE	-0,047	1,137	0,198	1,383	0,194	1,379	-0,201	0,983	-0,144	1,040
AP	-0,144	2,160	1,468	3,772	0,160	2,464	-1,151	1,152	-0,333	1,971
PROL	0,051	1,055	0,033	1,037	-0,017	0,986	-0,005	0,998	-0,063	0,940
DE	-1,628	47,460	2,999	52,087	0,611	49,699	0,663	49,751	-2,645	46,443
CE	0,608	17,545	-0,103	16,834	1,716	18,652	-0,502	16,435	-1,720	15,217
PE	-7,228	201,362	42,855	251,445	-5,227	203,363	7,674	216,264	-38,075	170,515
PG	-2,228	171,550	39,990	213,767	-3,861	169,917	-0,665	173,112	-33,236	173,112
DS	-0,255	28,751	0,716	29,721	0,414	29,420	-0,116	28,890	-0,758	28,248
NG	25,413	582,476	33,777	590,840	37,430	594,494	1,410	558,473	-98,029	459,035
PS	-3,249	31,745	4,692	39,686	-0,204	34,789	3,663	38,656	-4,902	30,092
MCG	-3,107	29,868	4,853	37,828	-2,640	30,335	1,100	34,074	-0,207	32,768

I_j : índice ambiental segundo Eberhart & Russell (1966).

5. Discussão geral

Visto o contínuo crescimento populacional e reduzida possibilidade de avanços das fronteiras agrícolas, revela uma necessidade de incremento do potencial genético para rendimento de grãos por unidade, visando sanar uma provável insuficiência de alimentos (ALLARD, 1999). Ramalho e Lambert (2004) reportam que a Genética Quantitativa, originada da união da Genética, Melhoramento de Plantas e Biometria, teve uma expressiva participação na produção de alimentos, madeira, fibras, etc... para atender as necessidades do homem no último século. Segundo Gepts e Hancock (2006) o melhoramento de plantas têm-se mantido como uma ciência vibrante, com sucesso contínuo no desenvolvimento e implantação de novas cultivares a nível mundial. Em média, cerca de 50% do aumento de produtividade pode ser atribuída ao melhoramento genético (FEHR, 1987).

O milho destaca-se economicamente como uma importante cultura fonte de alimento, fibras, combustível e rações. O cereal é usado como ingredientes em uma inúmera lista de produtos manufaturados e empregados na nutrição da população mundial (HALLAUER; CARENA; MIRANDA FILHO, 2010).

Para que se tenha sucesso em um programa de melhoramento é imprescindível que se conheça *a priori* o comportamento dos genitores disponíveis, *per se*, em combinações híbridas. Nesse contexto, esquemas de cruzamentos dialélicos mostram-se bastante eficientes para avaliarem-se os híbridos, pois, além de identificarem as melhores combinações híbridas, auxiliam na escolha dos genitores mais promissores para serem empregados em programas de hibridações (CRUZ; REGAZZI, 1994).

Os conceitos definidos por Sprague e Tatum (1942), da capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC), são amplamente utilizados pelos programas de melhoramento genético, visto que, a CGC é de maior relevância que a CEC, quando o estudo visa programas de melhoramento de variedades, sendo que, em programas de melhoramento de híbridos, a CEC tem maior atenção por parte dos melhoristas (NASS et al., 2000).

Os resultados do trabalho (Capítulo II) mostraram divergência nos genitores entre si para os *loci* que controlam os caracteres estudados e evidenciando magnitudes da capacidade específica de combinação (efeitos não-aditivos) superiores as da capacidade geral de combinação (efeitos aditivos) para todos os caracteres analisados. Para Cruz; Regazzi e Carneiro (2012) quanto têm-se altos valores absolutos de CEC demonstram que o comportamento de um cruzamento em particular é relativamente melhor ou pior do que era esperado com base na CGC dos genitores. Em relação aos genitores empregados no trabalho, merece destaque os genitores 14 e 8 do grupo heterótico I e 6' e 7' do grupo heterótico II, onde manifestaram as maiores magnitudes para a capacidade geral de combinação para os caracteres altura de plantas e altura de inserção de espiga, assim como os genitores 15 e 4 do grupo heterótico I e 4' e 3' do grupo heterótico II evidenciando elevadas magnitudes da capacidade geral de combinação para os caracteres rendimento de grãos de parcela, diâmetro de espiga e comprimento de espiga nos ambientes estudados. Tais resultados sugerem provável sucesso na obtenção de combinações híbridas superiores, pois altas estimativas da CGC geralmente são expressas por genitores com maior frequência de alelos favoráveis.

Da mesma forma, foi evidenciado a presença de elevada CEC para as combinações híbridas: 10x4', 2x4', 12x4', 11x4', 10x3', 7x3', 9x3', 8x3', 14x3' e 15x7' para os caracteres altura da inserção da espiga e altura de planta e 3x1', 4x7', 1x1', 4x6', 15x2', 15x5' e 15x8' para os caracteres rendimento de grãos de parcela, diâmetro de espiga e comprimento de espiga nos cinco ambientes estudados. Os híbridos que revelaram magnitudes da CEC favorável aos caracteres, também apresentaram pelo menos um dos genitores com

magnitude favorável da CGC para o caráter em questão, sugerindo serem combinações híbridas promissoras para cultivo.

O desenvolvimento de estratégias de seleção eficientes na busca de genótipos que reúnam o maior número de caracteres de interesse agrônômico possíveis, é almejado para o progresso genético no melhoramento de plantas. Neste contexto, análises que possam proporcionar um melhor entendimento das relações entre os caracteres, torna-se ferramenta valiosa para o melhoramento.

Em relação as análises de correlação e trilha evidenciadas nos caracteres de importância agrônômica em híbridos de milho testados em cinco locais (Capítulo III), permitiu visualizar que os diferentes locais promovem modificações nas estimativas de correlação e trilha, demonstrando certa cautela ao fazer-se extrapolações quando os ambientes apresentam discrepâncias em suas características edafoclimáticas. Foi possível verificar que o caráter rendimento de grãos de parcela não apresentou estabilidade em suas estimativas de associações com os caracteres analisados, quando analisados estratificando-se os locais, destacando-se somente o caráter prolificidade de plantas que confirmou esta estabilidade nos locais de cultivo, podendo ser adotada em estratégias de seleção indireta visando elevada produtividade de grãos na cultura.

Da mesma forma, permitiu visualizar que os caracteres diâmetro da espiga, peso de espiga, peso de grãos da espiga e massa de cem grãos, embora não tenham apresentado associação significativa com peso de grãos de parcela em todos os locais de cultivo, revelaram importante influência para seleção indireta almejando incremento do rendimento de grãos em locais específicos, classificados como desfavoráveis, obtendo-se maiores ganhos genéticos.

As informações obtidas com estes estudos auxiliam no melhor entendimento das relações entre caracteres que compõem o rendimento de grãos, dando aporte para definição de estratégias que promovam maior eficiência dos programas de melhoramento genético de milho.

5.1 Referências Bibliográficas (Introdução geral e discussão geral)

ALLARD, R. W. **Principles of plant breeding**. New York: J. Wiley, 1999. 485 p.

ALLARD, R. W. **Princípios do melhoramento genético das plantas**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1971, 485 p.

CARVALHO, F. I. F. de; LORENCETTI, C.; BENIN, G. **Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal**. Pelotas: Ed. Universitária da UFPel, 2004. 142 p.

CONAB. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso em 01 set. 2013.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4^a ed. Viçosa: UFV, 2012. 514 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 1994. 390 p.

DUETE, R. R. C.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C.; TREVELIN, P. C. O.; AMBROSANO, E. J. Viabilidade econômica de doses e parcelamentos da adubação nitrogenada na cultura do milho em Latossolo Vermelho Eutrófico. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, p.175-181, 2009.

EMBRAPA – Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho>> Acesso em 01 set. 2013.

FALCONER, D. S. **Introduction to quantitative genetics**. 3rd ed. New York: Longman Scientific and Technical, 1989. 438 p.

FAOSTAT. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>> Acesso em 10 set. 2013.

FEHR, W. R. **Principles of cultivar development**. New York: MacMillan, 1987. 525 p.

GARDNER, C. O.; EBERHART, S. A. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. **Biometric**, North Carolina, v. 22, p. 439-452, 1966.

GEPTS, P.; HANCOCK, J. The future of plant breeding. **Crop Science Society of America**, Madison, v. 46, n.4, p. 1630-1634, 2006.

GRIFFING, B. Concept of general and specific ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, v. 9, n. 4, p.462-93, 1956.

HALLAUER, A. R.; CARENA, M. J.; MIRANDA FILHO, J. B. de. **Quantitative genetics in maize breeding**. Springer, 2010. 663 p.

HAYMAN, B. I. The theory and analysis of diallel crosses. **Genetics**. v. 39, p. 789-809, 1954.

NASS, L. L.; LIMA, M.; VENCOSKY, R.; GALLO, P. B. Combining ability of maize inbred lines evaluated in three environments in Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, p.129-134, 2000.

KUREK, A.; CARVALHO, F.; ASSMANN, I.; MACHIORO, V.; CRUZ, P. 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, 2001.

PATERNIANI, E.; CAMPOS, M. S. **Melhoramento do milho**. In: BORÉM, A. (ed.). Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa: UFV, 1999. 429-486 p.

RAMALHO, M. SANTOS; J. B. PINTO, C. B.; SOUZA, E. A.; GONÇALVES, F. M. A.; SOUZA, J. C. **Genética na Agropecuária**. 5º Edição revisada. Ed. UFLA, 2012. 566 p.

RAMALHO, M.A.P.; LAMBERT, E.S. Biometria e o melhoramento de plantas na era da genômica. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 3, n.2, p. 228-249, 2004.

SINGH, A., SHAHI, J. P.; LANGADE, D. M. Combining Ability Studies for Yield and its Related Traits in Inbred Lines of Maize (*Zea mays* L.). **Molecular Plant Breeding**. v. 4, n. 22, p. 177-188, 2013.

SREČKOV, Z.; BOĆANSKI, J.; NASTASIĆ, A.; DALOVIĆ, I.; VUKOSAVLJEV, M. Correlation and path coefficient analysis of morphological traits of maize (*Zea mays* L.). **Research Journal of Agricultural Science**, 42 (2), 2010.

USDA. Disponível em: <<http://www.usda.gov>> Acesso em 10 set. 2013.