

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA
FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**CARACTERIZAÇÃO AGRONÔMICA E MORFOLÓGICA DE
POPULAÇÕES DE MILHO**

Tallyta Nayara Silva

Bióloga

2014

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA
FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**CARACTERIZAÇÃO AGRONÔMICA E MORFOLÓGICA DE
POPULAÇÕES DE MILHO**

Tallyta Nayara Silva

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Vitti Môro

Coorientadora: Profa. Dra. Fabíola Vitti Moro

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas).

2014

Silva, Tallyta Nayara
S586c Caracterização agrônômica e morfológica de populações de milho /
Tallyta Nayara Silva. -- Jaboticabal, 2014
iii, 38 p. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014
Orientador: Gustavo Vitti Môro
Coorientadora: Fabíola Vitti Moro
Banca examinadora: Sandra Helena Unêda-Trevisoli, João Antonio
da Costa Andrade
Bibliografia

1. Correlação fenotípica. 2. Efeitos diretos. 3. Parâmetros
genéticos. 4. Seleção indireta. 5. *Zea mays* L. I. Título. II. Jaboticabal-
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.15:631.52

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: CARACTERIZAÇÃO AGRONÔMICA E MORFOLÓGICA DE POPULAÇÕES DE MILHO

AUTORA: TALLYTA NAYARA SILVA

ORIENTADOR: Prof. Dr. GUSTAVO VITTI MÔRO

CO-ORIENTADORA: Profa. Dra. FABIOLA VITTI MORO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS) , pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. GUSTAVO VITTI MÔRO

Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Profa. Dra. SANDRA HELENA UNÊDA TREVISOLI

Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. JOAO ANTONIO DA COSTA ANDRADE

Departamento de Biologia e Zootecnia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Data da realização: 21 de março de 2014.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

TALLYTA NAYARA SILVA – Nascida em 07 de março de 1990 em Lavras-Minas Gerais, filha de Luiz Eugênio da Silva e Eunice Aparecida Silva. Graduiu-se em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, em 2012, onde foi bolsista de iniciação científica do CNPq com projeto intitulado “Desenvolvimento de linhagens tropicais di-haploides de milho”. No período de fevereiro a julho de 2011 realizou estágio na empresa B. Vermeer B.V., na Holanda. Em agosto de 2012 ingressou no curso de pós-graduação em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista – FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal, desenvolvendo a dissertação sob o tema “Estudo de caracteres agronômicos e morfológicos em populações de milho”.

“Se vi mais além foi por estar sobre ombros de gigantes.”

Isaac Newton

Aos meus pais Luiz e Eunice,
pelo apoio incondicional.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, por sempre ter iluminado meu caminho e permitir que eu chegasse até aqui.

Aos meus pais, pelo amor, exemplo de vida, apoio nos momentos difíceis e nas decisões do caminho a ser tomado.

Aos meus irmãos Tatiana e Luiz, pela amizade e apoio.

À minha sobrinha Mariana, que torna nossa família ainda mais feliz, pelo carinho e paciência devido aos momentos de ausência.

Aos familiares, pelo apoio e incentivo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Gustavo Vitti Moro, pela confiança, disposição constante e conhecimentos compartilhados.

Aos professores do programa de Genética e Melhoramento de Plantas, pelos conhecimentos transmitidos.

À Profa. Dra. Durvalina Maria Mathias dos Santos, pela colaboração, imprescindível para a realização deste trabalho.

Aos colegas da Pós Graduação, pela convivência, amizade e ajuda durante esse período.

Aos amigos Elise, Renata e Rodolfo, por fazerem os dias em Jaboticabal menos difíceis.

Aos amigos de Lavras, que mesmo distantes sempre estiveram presentes.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

À Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/UNESP), Jaboticabal – SP e ao Departamento de Produção Vegetal, pela oportunidade de realização do curso de Mestrado.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desse trabalho, meu muito obrigada.

SUMÁRIO

RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Influência do Acamamento e Quebramento na Produção de Grãos	4
2.2. Influência do Sistema Radicular na Produção de Grãos	5
2.3. Parâmetros Genéticos	7
2.4. Correlação e Análise de Trilha	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1. Material Genético	11
3.2. Caracterização Agronômica	12
3.3. Caracterização Morfológica	13
3.4. Análises Genético-estatísticas	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
5. CONCLUSÕES	27
6. REFERÊNCIAS	27

CARACTERIZAÇÃO AGRONÔMICA E MORFOLÓGICA DE POPULAÇÕES DE MILHO

RESUMO – A eficiência de seleção pode ser ampliada para determinado caráter utilizando-se estimativas de parâmetros genéticos, que permitem identificar a natureza da ação dos genes envolvidos no controle dos caracteres e avaliar a eficiência de diferentes estratégias de melhoramento para a obtenção de ganhos genéticos. A análise de trilha é um dos métodos de se estimar a correlação, um parâmetro genético, e proporciona um conhecimento detalhado das influências dos caracteres envolvidos em um diagrama previamente estabelecido, justificando a existência de correlações positivas e negativas, de altas e baixas magnitudes entre os caracteres estudados. Assim, objetivou-se verificar a existência de variabilidade e correlação entre caracteres agronômicos e morfológicos em populações sintéticas de milho, visando seleção indireta. Foram utilizadas 13 populações sintéticas de milho, avaliadas em experimentos de campo em Jaboticabal-SP e Campo Alegre de Goiás-GO na safra de 2009/2010 e safrinha de 2010, utilizando-se o delineamento em blocos casualizados. Os caracteres considerados foram acamamento, quebramento, altura de plantas, altura de espiga, e produtividade de grãos. As 13 populações também foram semeadas em sacos plásticos de 1 kg sob sombrite, utilizando-se delineamento em blocos casualizados com nove repetições. Foi realizada avaliação das características morfológicas: matéria fresca de raiz, matéria seca de raiz, comprimento da raiz principal, diâmetro médio de raiz, área de superfície da raiz, densidade de tecido radicular e matéria seca da parte aérea. O caráter produtividade de grãos apresentou grande variabilidade genética, indicando ser eficiente se utilizado para seleção. A seleção sobre os caracteres morfológicos é mais indicada sobre matéria seca de raiz, devido à facilidade e precisão na obtenção dos dados, alta correlação com todos os outros caracteres morfológicos e sua associação com o caráter produtividade de grãos. A seleção simultânea com base nos caracteres matéria fresca de raiz e matéria seca de raiz, para ganhos na produtividade de grãos, pode ser realizada. Os caracteres acamamento e quebramento são os que apresentam maior efeito direto sobre a produtividade de grãos em populações de milho, sendo indicados para seleção indireta para produtividade de grãos.

Palavras-chave: correlação fenotípica, efeitos diretos, parâmetros genéticos, seleção indireta, *Zea mays* L.

AGRONOMIC AND MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF MAIZE POPULATIONS

ABSTRACT – The efficiency of selection can be broadened for certain trait using estimates of genetic parameters, that allow to identify the nature of the action of the genes involved in the control of the traits and evaluate the efficiency of different breeding strategies to obtain genetic gains. Path analysis is one of the methods to estimate the correlation, a genetic parameter, and provides a detailed understanding of the influences of the traits involved in a diagram previously established, justifying the existence of positive and negative correlations, high and low magnitudes among the traits studied. Thus, this study aimed to verify the variability and correlation between agronomic and morphology traits in synthetic maize populations, in order to practice indirect selection. The 13 synthetic populations of maize were evaluated at field experiments in Jaboticabal-SP and Campo Alegre de Goiás-GO in regular season crop (2009/2010) and off-season crop (2010), using a randomized block design. The traits considered were lodging, culm breakage, plant height, ear height and grain yield. The 13 populations were also sown in 1 kg-plastic bags under black shade cloth, using a randomized complete block design with nine replications. Evaluation of the following morphological traits was performed: root fresh matter, root dry matter, main root length, average root diameter, root surface area, root tissue density and shoots dry matter. The trait grain yield exhibited great genetic variability, indicating to be effective if used for selection. The selection on the morphological traits is more indicated on root dry matter, due to the ease in obtaining data and its accuracy, high correlation with all morphological traits and association with grain yield. The simultaneous selection based on the traits root fresh matter and root dry matter, for gains in grain yield, can be performed. The highest direct effect on grain yield was identified in lodging and culm breakage, being indicated for indirect selection for grain yield.

Keywords: phenotypic correlation, direct effects, genetic parameters, indirect selection, *Zea mays* L.

1. INTRODUÇÃO

O milho pertence à família Poaceae, gênero *Zea* e espécie *Zea mays* L. e, dentre as espécies originárias das Américas, é certamente a de maior importância econômica e social em nível mundial. Sua importância está associada à versatilidade em sua utilização, já que é considerado um alimento energético para dietas tanto humanas, quanto animais (PAES, 2006).

Cerca de 70% da produção mundial de milho é destinada à alimentação animal, com possibilidade de aumento desse percentual para 85% em países desenvolvidos (PAES, 2006). Apesar de não ter uma participação muito grande no uso de milho em grão, a alimentação humana, com derivados de milho, constitui fator importante de uso desse cereal em regiões de baixa renda (DUARTE, 2002).

Segundo o USDA (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos), na safra 2012/13, a produção mundial de milho foi de 863,4 milhões de toneladas, com projeção de 967,5 milhões de toneladas para a safra 2013/14, sendo os Estados Unidos o maior produtor mundial, seguido de China e Brasil, na segunda e terceira posições, respectivamente (FIESP, 2014).

Em termos de produção de grãos é o segundo grão de maior importância no Brasil, sendo que na safra 2013/14 foram produzidas aproximadamente 75 milhões de toneladas, volume menor apenas que a cultura da soja, que somou cerca de 85,44 milhões de toneladas (CONAB, 2014).

O milho é a cultura que apresentou maior incremento em seu potencial produtivo na segunda metade do século XX, expressando ganhos em produtividade de 1,0% a 1,5% por ano, em nível mundial (SLAFFER; OTEGUI, 2000). Esse aumento na produtividade pode ser atribuído, principalmente, ao advento do milho híbrido, que veio acompanhado do desenvolvimento de cultivares mais resistentes ao acamamento e quebramento, que na cultura do milho causam severos danos ao rendimento e à qualidade dos grãos. Anualmente estima-se perdas de 5 a 20% na produção mundial de milho em consequência de acamamento e quebramento do colmo (AGRIANUAL, 2007).

Cultivares comerciais competitivas devem apresentar características desejáveis para o cultivo, entretanto, em áreas tropicais, problemas de quebramento

do colmo estão geralmente relacionados a cultivares altamente produtivas. Resultados experimentais não têm tratado essa questão convenientemente, deixando a hipótese de alta correlação entre quebramento do colmo e rendimento de grãos não respondida (MAGALHÃES et al., 1998).

Além do estudo da influência dos caracteres agronômicos no aumento da produtividade de milho, é importante selecionar e desenvolver cultivares mais tolerantes às adversidades ambientais. Isto será essencial na manutenção da produção agrícola mundial nas próximas décadas, devido a previsões ambientais que sinalizam o aumento do aquecimento global, fenômeno que certamente será acompanhado de um aumento dos períodos de estiagem e instabilidade das condições climáticas (NEPOMUCENO et al., 2001).

Segundo Koffler (1986), as altas produtividades alcançadas estão diretamente relacionadas com as maiores profundidades exploradas pelo sistema radicular das plantas. Assim, a seleção de genótipos com sistema radicular bem desenvolvido e, conseqüentemente, com capacidade de exploração em um maior volume de solo, será fundamental na estratégia de desenvolvimento de genótipos tolerantes a estresses abióticos. Desse modo, informações prévias sobre o sistema radicular de genótipos de milho e sua possível relação com a parte aérea são de grande interesse em um programa de melhoramento de milho (DEMÉTRIO, 2011).

Além disso, o uso de métodos de avaliação precoce, ou seja, antes do florescimento, ou de seleção indireta para condições de estresses abióticos também são interessantes, já que aceleram o processo de seleção, descartando nas fases iniciais os genótipos menos favoráveis, o que possibilita concentrar os recursos nos potencialmente superiores (FRITSCHÉ-NETO et al., 2010). Para Carvalho et al. (2001), a seleção de caracteres de alta herdabilidade, fácil aferição e identificação, e que evidenciem alta correlação com o caráter desejado, possibilita ao melhorista obter maior progresso e em menor espaço de tempo.

Em se tratando de eficiência de seleção, esta pode ser ampliada para determinado caráter utilizando-se estimativas de parâmetros genéticos, as quais são fundamentais no melhoramento de plantas, uma vez que permitem identificar a natureza da ação dos genes envolvidos no controle de caracteres quantitativos e avaliar a eficiência de diferentes estratégias de melhoramento para a obtenção de

ganhos genéticos (CRUZ et al., 2004). As estimativas de parâmetros genéticos como variância genotípica, variância fenotípica, variância ambiental, variância da interação genótipo x ambiente, coeficiente de variação genotípica, herdabilidade e correlações genotípicas, fenotípicas e ambientais, permitem conhecer a variabilidade genética de uma população e se constituem em indicadores da magnitude dessa variabilidade.

De acordo com Hallauer e Miranda Filho (1988), a correlação estimada por meio do coeficiente de correlação tem importância no melhoramento de plantas porque quantifica o grau de associação genético e não-genético entre dois ou mais caracteres, permitindo a seleção indireta. Cruz e Regazzi (1997) também ressaltaram a importância das correlações afirmando que essas associações quantificam a possibilidade de ganhos indiretos por seleção em caracteres correlacionados, e que caracteres de baixa herdabilidade têm a seleção mais eficiente quando realizada sobre caracteres de alta herdabilidade que lhe são correlacionados.

Como o estudo das correlações simples entre caracteres não considera as relações de causa e efeito entre caracteres primários determinantes do rendimento e secundários, foi desenvolvido o método denominado análise de trilha, que consiste no estudo dos efeitos diretos e indiretos de caracteres sobre uma variável básica (CRUZ; CARNEIRO, 2006). A análise de trilha proporciona um conhecimento detalhado das influências dos caracteres envolvidos em um diagrama previamente estabelecido e justifica a existência de correlações positivas e negativas, de altas e baixas magnitudes entre os caracteres estudados (SILVA et al., 2005).

As correlações de causa e efeito com a produtividade de grãos, principalmente para a cultura do milho, constituem-se em ferramenta importante para auxiliar os melhoristas na definição dos caracteres prioritários para a seleção, e da relação entre eles, de tal modo que permitam escolher quais as modificações genéticas que podem e devem ser realizadas para incrementar o rendimento de grãos.

Diante do exposto, objetivou-se verificar a existência de variabilidade e correlação entre caracteres agronômicos e morfológicos em populações sintéticas de milho, visando seleção indireta.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Influência do Acamamento e Quebramento na Produção de Grãos

Na cultura do milho, o acamamento causa severos danos ao rendimento e à qualidade dos grãos e isto tem chamado a atenção de agrônomos e melhoristas em várias partes do mundo (MORAES; BRITO, 2011). O acamamento é definido como um estado permanente de modificação da posição do colmo em relação à sua posição original, resultando em plantas recurvadas e até mesmo na quebra de colmos (PINTHUS, 1973). E o quebramento se caracteriza pela quebra do colmo, muitas vezes devido ao maior comprimento entre o primeiro e segundo entrenós de sua porção basal.

O quebramento e o acamamento são fenômenos complexos, e sua expressão depende de fatores genéticos, inter-relacionados com fatores do clima, do solo, das práticas culturais adotadas (CRUZ et al., 2003) e de danos causados por pragas e doenças. Entre os principais agentes que promovem acamamento e quebramento destacam-se o vento e a chuva (EASSON et al., 1993). A chuva aumenta o peso da parte aérea, principalmente quando os cultivos encontram-se na fase reprodutiva, e causa também o umedecimento do solo, que gera condições favoráveis para o acamamento, devido à diminuição da força de ancoragem das raízes (GOMES et al., 2010).

A taxa fotossintética após a floração se reduzida por diversos fatores como excesso de chuva, nebulosidade muito prolongada, seca, destruição de área foliar, doenças, desbalanceamento nutricional e alta população, ocasionará a necessidade da utilização das reservas do colmo para o enchimento de grãos (SANDINI; FANCELLI, 2000). Para Marchi (2008), esse déficit nutricional pode facilitar a entrada de algumas doenças na planta, o que eventualmente ocasionará acamamento e quebramento da lavoura.

Dentre as características morfológicas da planta que favorecem o aumento da porcentagem de plantas acamadas e quebradas antes da colheita, está a maior

estatura de planta, maior distância entre o ponto de inserção da espiga no colmo e o solo, menor diâmetro do colmo e a sua maior fragilidade em altas densidades (ARGENTA et al., 2001). A alta relação entre altura de plantas e altura de espigas pode diminuir o centro de gravidade da planta, provocando o acamamento, e conseqüentemente, o quebramento (LI et al., 2007).

Candido e Andrade (2008) identificaram correlações genéticas altas e positivas entre altura de plantas e acamamento/quebramento, e entre altura de espiga e acamamento/quebramento, indicando que plantas de porte mais alto e com maior altura de espiga apresentam maior incidência de acamamento e quebramento. Entretanto, na literatura são escassos os trabalhos acerca da correlação de altura de plantas, altura de espiga com acamamento e quebramento, correlação essa que é de grande interesse para os programas de melhoramento, pois resultaria em ganhos de produtividade em consequência da seleção de plantas com menor incidência de acamamento.

A arquitetura de plantas dos híbridos modernos contribui para reduzir a sua suscetibilidade ao acamamento e quebramento de colmos. Sangoi et al. (2001), comparando a sustentabilidade dos híbridos cultivados nas décadas de 60 e 80, Agrocere 12 e Agrocere 303 com o híbrido Cargill 929, verificou que os híbridos antigos apresentavam mais de 20% das plantas acamadas e quebradas na colheita, enquanto o híbrido Cargill 929 manteve todas as plantas eretas até o final do ciclo da cultura. Tais características foram atribuídas à maior precocidade, à menor estatura de plantas, à menor área foliar e à presença de folhas mais curtas e eretas do híbrido moderno. A maior eficiência fotossintética dos híbridos mais modernos lhes permite remobilizar menor quantidade de reservas dos colmos para os grãos, prevenindo a incidência de doenças e limitando o acamamento ao final do ciclo da cultura (SANGOI et al., 2000).

2.2. Influência do Sistema Radicular na Produção de Grãos

Outro fator de grande importância para a produtividade de grãos de milho é o sistema radicular da planta, que destaca-se pela maior ou menor eficiência na

absorção de água e nutrientes do solo (DURÃES et al., 1995), sendo que a quantidade de água disponível para a cultura depende da profundidade explorada pelas raízes, da capacidade de armazenamento de água do solo e da densidade radicular da planta (LOZADA; ANGELOCCI, 1999; TERUEL et al., 2000).

A disponibilidade dos nutrientes aos vegetais é influenciada por fatores de solo, que determinam o movimento até as raízes, e por atributos morfológicos e fisiológicos das plantas, que determinam a absorção. A morfologia do sistema radicular é determinada pelo comprimento, volume, superfície e raio das raízes e dos pelos radiculares (LIEDGENS et al., 2000; HORN et al., 2006). Desta forma, um sistema radicular mais desenvolvido deve, aparentemente, ser mais eficiente na absorção de nutrientes e de água do solo e assim, influenciar a produtividade (DEMÉTRIO, 2011).

A formação de um sistema radicular bem desenvolvido favorece não só o aproveitamento eficiente da água e nutrientes do solo no processo produtivo, como garante uma boa formação e sustentação da parte aérea da planta (BROUWER, 1962; PEREIRA, 1991), minimizando os riscos de acamamento e quebraimento.

Segundo Maia et al. (2011), a massa de matéria seca da parte aérea e o comprimento de raízes possibilitam a seleção de genótipos de forma rápida e a baixo custo. O comprimento radicular pode ser uma característica importante, por ser um indicador do potencial de absorção de água e nutrientes, sendo proporcionalmente maior o volume ocupado e explorado do solo, quanto maior for o comprimento radicular total (ATKINSON, 2000). Entretanto, ainda são poucos os estudos sobre a influência desses caracteres na produtividade, o que torna importante o estudo de correlações.

A limitação ao estudo do sistema radicular e sua interação com a parte aérea durante o crescimento e o desenvolvimento das culturas se deve às escassas informações na literatura, quando comparado aos fenômenos somente de parte aérea (HORN et al., 2006). Isso se deve simplesmente ao fato de a aquisição de amostras e a análise de atributos morfológicos, como comprimento total, superfície, diâmetro médio e volume de raízes, serem muito mais tediosas, demoradas e frequentemente, apresentarem baixa precisão quando comparadas a características de parte aérea (TERUEL et al., 2000; VASCONCELOS et al., 2003).

A investigação da base genética da variação de caracteres de raiz de milho demonstrou ser de natureza quantitativa (RAHMAN et al., 1988, 1994) e, considerando que para caracteres quantitativos os estudos genéticos são formulados a partir de variâncias, coeficientes de regressão e variação, etc., são necessárias estimativas desses parâmetros genéticos para melhor aproveitamento no melhoramento de plantas.

2.3. Parâmetros Genéticos

A estimação de parâmetros genéticos como as variâncias, coeficientes de variação genética, herdabilidade e correlações entre caracteres são de suma importância para programas de melhoramento, pois permitem conhecer a variabilidade genética, a influência do ambiente na expressão dos caracteres e se existe relação entre eles (ROCHA et al., 2003), ajudando a definir com maior segurança o método de seleção a ser utilizado. A variabilidade observada para um determinado caráter nem sempre é transmitida de geração para geração, evidenciando que o efeito do ambiente é a principal causa da variação (REDIG, 2007), o que reforça a necessidade de se estimar os parâmetros genéticos.

Uma das vantagens que o estudo de variâncias pode proporcionar é a obtenção de estimativas de herdabilidade e predição de ganhos esperados com a seleção, o que não é possível com médias (FALCONER; MACKAY, 1996). A herdabilidade é um dos parâmetros genéticos de maior utilidade, e permite antever a possibilidade de sucesso com a seleção, uma vez que reflete a proporção da variação fenotípica que pode ser herdada, ou seja, mede a confiabilidade do valor fenotípico como indicador do valor reprodutivo (RAMALHO et al., 2008).

Andrade e Miranda Filho (2008) estimaram a herdabilidade e ganhos com a seleção avaliando uma população tropical de milho e observaram que as características que apresentaram maior herdabilidade indicaram ganhos previstos mais elevados tanto para a seleção massal quanto para a seleção de progênies. A característica com maior ganho com a seleção foi número de ramificações do pendão, que apresentou 27% de ganho.

Visando selecionar genótipos de milho resistentes a mancha-foliar de feosféria, Pegoraro et al. (2002) realizaram cruzamentos entre sete linhagens de milho. Foi constatado que a herdabilidade no sentido restrito foi de média a alta em relação à resistência a feosféria, o que indicou a possibilidade de que genótipos resistentes possam ser eficientemente selecionados nas populações segregantes.

O conhecimento da variabilidade fenotípica, resultado da ação conjunta dos efeitos genéticos e ambientais, auxilia o melhorista na escolha do método de melhoramento, dos locais para condução dos experimentos, do número de anos e repetições em que serão feitas as observações, pois esses fatores podem influenciar significativamente a magnitude das estimativas. Os efeitos ambientais mascaram o mérito genético dos indivíduos, desta maneira quanto maior for a proporção da variabilidade decorrente dos efeitos ambientais em relação a variabilidade total, menor poderá ser o ganho genético de seleção, deixando-se de selecionar indivíduos geneticamente superiores devido à uma alta variação ambiental (BORÉM; MIRANDA, 2005).

Quanto à variabilidade genética, sua presença pode ser confirmada e quantificada pelo coeficiente de variação genética (CV_g). Este coeficiente expressa a magnitude da variação genética em relação à média do caráter, sendo expresso em porcentagem. Rodrigues et al. (1998), afirmam que a presença de variabilidade genética possibilita a obtenção de modificações, por meio de seleção, para uma determinada característica de interesse.

O coeficiente de variação experimental (CV_e), um parâmetro estatístico e não genético, mede a precisão do experimento e é obtido pela razão entre o desvio padrão e a média do experimento, sendo normalmente expresso em porcentagem assim como o CV_g . Segundo Carvalho et al. (2003), uma maior precisão nos experimentos é desejável, uma vez que, à medida que esta aumenta, melhor será a resposta e o progresso obtido por seleção.

A relação entre o coeficiente de variação genética e o coeficiente de variação experimental (CV_g/CV_e), quando atinge valor igual ou superior a unidade na experimentação indica uma situação mais favorável para a seleção (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992). Tomé et al. (2007) avaliaram, dentre outras características, altura da planta, altura da espiga e produção de grãos, e concluíram que apenas produção

de grãos, com CV_g/CV_e de 1,26, é favorável à prática de seleção nos materiais considerados no trabalho.

2.4. Correlação e Análise de Trilha

A análise de correlação fornece um valor que representa a variação conjunta entre duas variáveis e também mede a intensidade e a direção da relação linear ou não-linear entre duas variáveis (CHARNET et al., 2008).

O estudo das relações existentes entre caracteres é importante no processo de melhoramento de plantas quando a variável de interesse apresenta baixa herdabilidade, dificuldade de mensuração, se deseja a seleção precoce de plantas ou linhagens, ou ainda quando se deseja a seleção simultânea para mais de um caráter. Isto porque, a seleção indireta com base na resposta correlacionada, por meio de caracteres menos complexos e com maior herdabilidade e facilidade de avaliação, pode resultar em maiores progressos genéticos em relação ao uso de seleção direta (KUREK et al., 2001). Nesse sentido, o primeiro passo é a determinação da associação entre variáveis mediante a estimativa dos coeficientes de correlação (fenotípicos ou genotípicos) (CRUZ; REGAZZI, 1997).

Cruz e Regazzi (1997) ressaltam a importância das seguintes considerações acerca do coeficiente de correlação:

1. O coeficiente de correlação é adimensional, e seu valor absoluto não supera a unidade, ou seja, fica no intervalo entre -1 e 1;
2. Um coeficiente de correlação igual a zero não implica falta de associação entre duas variáveis, apenas reflete a ausência de relação linear entre elas;
3. Se X e Y são duas variáveis aleatórias independentes, então a covariância e a correlação entre elas são nulas. Entretanto, quando a covariância e, conseqüentemente, a correlação são nulas, não é possível concluir, em geral, que as variáveis são independentes; tal associação pode ser feita quando as variáveis apresentam distribuição normal bidimensional;
4. No contexto de análise de regressão simples, o coeficiente de correlação corresponde à raiz quadrada do coeficiente de determinação simples, ou ainda a média geométrica dos coeficientes angulares das regressões de X em função de Y e

vice-versa. Se o coeficiente de regressão é negativo, certamente a correlação é negativa.

O conhecimento da associação entre os principais componentes morfo-agronômicos da planta é importante, porque possibilita ao melhorista saber como a seleção sobre um caráter influencia a expressão de outros caracteres. Além disso, nos programas de melhoramento, geralmente, além de melhoria de um caráter principal, busca-se o aprimoramento de outros caracteres da planta (CRUZ et al., 2004).

Matos Filho (2004), realizando dois cruzamentos com linhagens distintas de feijão-caupi, observou que o comprimento e o número de nós do ramo principal apresentaram correlações altas e positivas com o rendimento de grãos, concluindo que esses caracteres devem ser considerados na seleção para obtenção de cultivares com maior produtividade.

As correlações genéticas significativas entre o crescimento radicular com altura da planta (0,19), massa da parte aérea (0,42), número de espigas por planta (0,36) e produção de grãos (0,21), foram estimadas estudando-se 157 linhagens duplo-haploides de cevada, completamente homozigotas e geneticamente distintas. Os baixos valores de correlação encontrados não tornam as variáveis analisadas apropriadas à seleção (CHLOUPEK et al., 2006).

Os coeficientes de correlação expressam somente uma medida de associação e, portanto, não permitem conclusões sobre causa e efeito, impossibilitando inferências com relação ao tipo de associação entre o par de caracteres Y/X (COIMBRA et al., 2005). Para sanar o problema com relação à interpretação dos coeficientes de correlação, os quais não indicam a magnitude dos efeitos diretos e indiretos, Wright (1921) desenvolveu o método de análise de trilha. O método desdobra as correlações estimadas em efeitos diretos e indiretos de caracteres sobre uma variável considerada principal. De modo contextualizado, um coeficiente de trilha ou análise de causa e efeito pode ser definido como um coeficiente de regressão estandardizado ou padronizado; sendo que a análise de trilha é composta por uma expansão da regressão múltipla quando estão envolvidas inter-relações complexas (CRUZ; CARNEIRO, 2006).

A análise de trilha tem sido empregada em estudos com diversas plantas cultivadas, como exemplo: capim-elefante (FIGUEIREDO et al., 2004; SILVA et al., 2008), cevada (AHADZADEH et al., 2011; TAS; CELIK, 2011), mamona (THATIKUNTA; PRASAD, 2001; SARWAR; CHAUDHRY, 2008; ZOZ, 2012), milho (LOPES et al., 2007; HEPZIBA; GEETHA; IBRAHIM, 2013; MUNAWAR et al., 2013), pinhão manso (SPINELLI et al., 2010), cana-de-açúcar (SILVA et al., 2012; BRASILEIRO et al., 2013), entre muitas outras culturas de importância econômica.

Rios et al. (2012) utilizaram a análise de trilha para desdobrar as correlações fenotípicas em seus efeitos diretos e indiretos, considerando o perfil de carotenoides em genótipos de milho, e concluíram que apenas a variável zeaxantina apresenta alta correlação e alto efeito direto sobre β -caroteno e que, portanto, pode ser utilizada para seleção de genótipos ricos em β -caroteno e de alta produtividade de grãos.

Aycicek e Yildirim (2006) estimaram as correlações e realizaram análise de trilha para produtividade e componentes de rendimento de genótipos de trigo e encontraram efeito direto positivo de altura da planta e peso de grãos na espiga e efeito direto negativo do tempo do ciclo vegetativo, associados à correlação significativa com a produção de grãos, o que sugere que esses componentes de rendimento são bons critérios de seleção para melhorar a produtividade de genótipos de trigo.

Buscando identificar caracteres fisiológicos e de raiz relacionados com a eficiência no uso da água por meio da análise de trilha, Volpato et al. (2013) concluíram que em condições hídricas ideais a razão área foliar/diâmetro do colmo é mais indicada para a seleção indireta e precoce de genótipos de milho tropical para maior eficiência de uso da água.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material Genético

Foram utilizadas 13 populações sintéticas de milho desenvolvidas a partir de 158 linhagens endogâmicas. Para a obtenção das populações sintéticas, as linhagens foram divididas em 13 grupos de acordo com sua origem e tempo de maturação fisiológica, realizando-se cruzamentos entre as linhagens do mesmo grupo em todas as combinações possíveis. Na geração seguinte, as 13 variedades foram semeadas em lotes isolados de recombinação, sendo o isolamento realizado por meio de distância mínima de 300m de qualquer outro plantio de milho e/ou isolamento temporal de 30 dias, quando necessário. Na ocasião da colheita, as plantas de cada lote isolado foram colhidas, misturadas e amostradas, obtendo-se as 13 populações sintéticas em equilíbrio.

3.2. Caracterização Agronômica

Na safra de 2009/2010 e safrinha de 2010, as 13 populações sintéticas foram avaliadas em experimentos de campo, instalados em área pertencente à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP, Campus de Jaboticabal-SP (latitude de 21° 15' 17" S, longitude de 48° 19' 20" W, altitude de 605m), e em Campo Alegre de Goiás-GO (latitude de 17° 37' 59" S, longitude de 47° 46' 42" W, altitude de 877m), sendo cada combinação local x época de semeadura considerada um ambiente distinto (Jaboticabal (SP) – safra e safrinha, e em Campo Alegre de Goiás (GO) – safrinha), com três repetições em cada ambiente. Cada repetição de cada ambiente foi considerada uma observação, totalizando nove observações.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, sendo as parcelas constituídas por quatro linhas de cinco metros de comprimento, considerando-se como área útil as duas linhas centrais. O espaçamento utilizado foi de 0,20 m entre plantas e 0,90 m entre linhas, representando uma população de 55.000 plantas ha⁻¹.

Foram considerados os caracteres acamamento (AC, dado pela porcentagem de plantas inclinadas abaixo de 45° ou tombadas na parcela na colheita), quebramento (QUE, dado pela porcentagem de plantas com colmo quebrado abaixo da espiga principal na parcela na colheita), altura de plantas (AP, em cm, obtida do solo até a inserção da folha bandeira), altura de espiga (AE, em cm, obtida do solo

até inserção da espiga principal) e, produtividade de grãos (PG, em t ha⁻¹, corrigida para 13% de umidade).

3.3. Caracterização Morfológica

No ano de 2013, as 13 populações foram semeadas em sacos plásticos pretos de 1 kg sob sombrite em área pertencente à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP, em Jaboticabal-SP, utilizando-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com nove repetições, sendo cada saco plástico considerado uma parcela. Foi realizada a avaliação das seguintes características morfológicas: comprimento da raiz principal (CR, em mm), matéria fresca de raiz (MFR, em g), matéria seca de raiz (MSR, em g), diâmetro médio de raiz (DMR, em mm), área de superfície da raiz (ASR, em mm²), densidade de tecido radicular (DTR, em mm mL⁻¹) e matéria seca da parte aérea (MSPA, em g).

Após 20 dias da semeadura, quando as plântulas apresentavam quatro folhas desenvolvidas, as partículas de solo foram separadas das raízes por lavagem com corrente fraca de água sobre peneira. As raízes foram conservadas em solução aquosa de álcool a 20% e levadas ao refrigerador a 4°C até a avaliação. Cada amostra foi disposta separadamente em uma bandeja com água em um scanner (Figura 1). Após a leitura da imagem, a determinação do comprimento da raiz principal, diâmetro médio e área de superfície das raízes foi realizada pelo Sistema de Análise de Imagem Delta-T Devices, utilizando-se definição de 400 dpi. A densidade de tecido das raízes, expressa em mm de raiz (mL de substrato)⁻¹, foi calculada dividindo-se o comprimento encontrado em cada fração pelo volume de substrato em cada fração.



Figura 1. Scanner com a cuba de acrílico contendo as raízes de milho para análise de morfologia radicular

As raízes e parte aérea foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C, por 120h, para obtenção de matéria seca.

Foram utilizados anos e condições de cultivo diferentes para obtenção dos caracteres agrônômicos e morfológicos, uma vez que se os caracteres morfológicos forem eficientes para a seleção esta será realizada em cultivos futuros.

3.4. Análises Genético-estatísticas

Foram realizadas análises de variância seguindo o modelo para delineamento em blocos casualizados, considerando-se como fixos os efeitos de populações. O modelo matemático é:

$$Y_{ij} = \mu + p_i + b_j + e_{ij}$$

Onde:

Y_{ij} = valor da variável testada sob a i-ésima população e no j-ésimo bloco;

μ = média geral do experimento para a variável;

p_i = efeito fixo da i-ésima população;

b_j = efeito aleatório do j-ésimo bloco;

e_{ij} = erro aleatório.

Foram realizadas as análises de covariância entre as populações, e utilizando-se dos mesmos procedimentos da análise de variância, foram estimadas

as covariâncias genéticas ($COV_{G_{xy}}$) e as covariâncias fenotípicas médias entre as populações ($COV_{F_{xy}}$) por:

$$COV_{G_{xy}} = \frac{PMP_{(xy)} - PMPA_{(xy)}}{kl}$$

$$COV_{F_{xy}} = \frac{PMPA_{(xy)}}{kl}$$

Onde:

$PMP_{(xy)}$ = produto médio do carácter para as populações;

$PMPA_{(xy)}$ = produto médio da interação do carácter das populações com o ambiente;

k = número de repetições;

l = número de locais.

Em seguida, foram estimados os coeficientes de correlação genética (r_G) e fenotípica (r_F) dos caracteres entre as populações por:

$$r_G = \frac{\phi_{G(x,y)}}{\sqrt{\phi_{G(x)}^2 \cdot \phi_{G(y)}^2}}$$

Em que:

$\phi_{G(x,y)}$ = componente quadráticos, respectivamente, que expressa a variabilidade genotípica para o par de caracteres X e Y;

ϕ_{G_x} e ϕ_{G_y} = componente quadrático que expressa a variabilidade genotípica dos caracteres X e Y, respectivamente.

$$r_F = \frac{PMP_{(xy)}}{\sqrt{QMP_X \cdot QMP_Y}}$$

Em que:

$PMP_{(xy)}$ = produto médio associado aos efeitos das populações, para o par de caracteres X e Y;

QMP_X e QMP_Y = quadrados médios das populações, dos caracteres X e Y, respectivamente.

Como o estudo de correlações é uma medida de associação e não permite tirar conclusões sobre o estudo da relação de causa e efeito, procedeu-se à análise de trilha (WRIGHT, 1921), que em programas de melhoramento genético visando incremento do peso de grãos avalia o grau de importância de cada uma das variáveis explicativas com a principal. Essa análise proporciona um conhecimento detalhado da influência dos caracteres envolvidos e justifica a existência de correlações positivas e negativas de alta e baixa magnitude entre os caracteres estudados (SILVA et al., 2005).

Sobre a matriz das correlações entre os 11 caracteres procedeu-se o diagnóstico da multicolinearidade, de acordo com o critério número de condição (razão entre os autovalores máximos e mínimos das matrizes), indicados por Montgomery e Peck (1982). A constante k adicionada à diagonal da matriz $X'X$ foi determinada pelo exame do traço da crista, por meio da construção de um gráfico onde foram plotados os coeficientes de trilha em razão dos valores de k no intervalo de $0 < k < 1$.

Em seguida, as correlações entre os caracteres restantes e a produtividade de grãos (variável dependente) foram desdobradas em efeitos diretos e indiretos, por meio da análise de trilha, estabelecendo as relações de causa e efeito entre as características, conforme descrito na literatura (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992; CRUZ; REGAZZI, 1997).

Todas as análises genético-estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa computacional GENES (CRUZ, 2006).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como não foi detectada interação genótipo-ambiente significativa na análise de variância conjunta dos caracteres agronômicos (dados não apresentados), as três repetições de cada ambiente foram consideradas como nove observações.

Houve diferenças significativas ($p \leq 0,01$) entre as populações em relação aos caracteres agronômicos de acamamento (AC), quebramento (QUE), altura de plantas (AP), altura de espiga (AE) e produtividade de grãos (PG), e aos morfológicos de matéria fresca de raiz (MFR), matéria seca de raiz (MSR), área de superfície de raiz (ASR), comprimento de raiz principal (CR), densidade de tecido radicular (DTR) e matéria seca de parte aérea (MSPA) (Tabela 1), indicando a existência de variabilidade genética para esses caracteres nas 13 populações. O caráter diâmetro médio de raiz (DMR) por não apresentar diferenças significativas entre as populações, foi eliminado das estimativas de parâmetros e análise de trilha.

Tabela 1. Quadrados médios para os caracteres estudados, em 13 populações de milho.

FV	GL	Caracteres agronômicos				
		AC	QUE	AP	AE	PG
Blocos	8	1,35	44,18	3704,42	970,06	10,73
Populações	12	5,28**	4,27**	946,85**	845,68**	3,76**
Resíduo	96	1,08	1,36	117,01	112,13	0,21
Médias		4,69	14,38	206,51	118,20	3,97
CV%		54,15	36,26	5,24	8,96	11,64

FV	GL	Caracteres morfológicos						
		MFR	MSR	ASR	DMR	CR	DTR	MSPA
Blocos	8	0,27	0,0003	244193	0,0023	1431977	0,92	0,0044
Populações	12	0,61**	0,0006**	628826**	0,0051 ^{ns}	3481403**	4,1**	0,0065**
Resíduo	96	0,13	0,0002	195252	0,0028	1004555	1,18	0,0015
Médias		1,04	0,0393	1089,24	0,428	2561,68	2,63	0,1135
CV%		35,21	33,20	40,57	12,36	39,13	41,23	33,82

AC: acamamento (em %), QUE: quebramento (em %), AP: altura de plantas (em cm), AE: altura de espiga (em cm), PG: produtividade de grãos (em t ha⁻¹), MFR: matéria fresca de raiz (em g), MSR: matéria seca de raiz (em g), ASR: área de superfície de raiz (em mm²), DMR: diâmetro médio de raiz (em mm), CR: comprimento de raiz (em mm), DTR: densidade de tecido radicular (em mm mL⁻¹), MSPA: matéria seca da parte aérea (em g), ^{ns}: Não significativo, ** : Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Os altos CVs observados para os caracteres morfológicos estão dentro dos limites aceitáveis para esse tipo de caráter, devido à dificuldade na obtenção das amostras, na qual, por exemplo, há grande influência do modo de manuseio, o que aumenta a variância ambiental. Os valores de CV de MFR, MSR e MSPA estão em concordância com os identificados por Silva Júnior (2008), de 24,62%, 26,67% e 46,17%, respectivamente e por Gondim et al. (2010), de 25,6% para MSR e de 24,3% para MSPA. Para os caracteres ASR, DMR e CR, Bergamin et al. (2010)

encontraram CVs de 38,59%, 10,35% e 37,39%, respectivamente, muito semelhantes aos observados neste trabalho.

Na Tabela 2 estão apresentadas as estimativas de parâmetros genéticos para todas as características consideradas. Os valores de componentes quadráticos genotípicos superiores ao de componentes de variância ambiental em nível de médias indicaram a existência de acentuada variabilidade genética nas populações, para todos os caracteres analisados.

Tabela 2. Estimativas dos componentes quadráticos fenotípicos nas médias das populações (ϕ_F), componentes de variância ambiental em nível de médias (σ^2_{Ex}), componentes quadráticos genotípicos (ϕ_G), coeficientes de determinação genotípicos nas médias das populações (H^2_x), coeficientes de determinação genotípicos nas parcelas (H^2), coeficientes de variação genética (CV_g) e razão entre coeficientes de variação genética e ambiental (CV_g/CV_e) dos caracteres avaliados nas 13 populações.

Parâmetros	AC	QUE	AP	AE	PG	MFR	MSR	ASR	CR	DTR	MSPA
ϕ_F	0,59	0,47	105,20	93,97	0,42	0,07	0,06	69869,52	386822,56	0,45	0,73
σ^2_{Ex}	0,12	0,15	13,00	12,46	0,03	0,02	0,02	21694,71	111617,20	0,13	0,16
ϕ_G	0,47	0,32	92,20	81,51	0,39	0,05	0,04	48174,81	275205,36	0,32	0,56
H^2_x	79,61	68,30	87,64	86,74	94,30	78,13	69,69	68,95	71,15	71,22	77,51
H^2	30,26	19,31	44,07	42,09	64,78	24,29	20,09	19,79	21,50	22,12	27,65
CV_g	35,67	17,74	4,65	7,64	15,79	22,19	16,78	20,15	20,48	21,62	20,93
CV_g/CV_e	0,66	0,49	0,89	0,85	1,36	0,63	0,51	0,50	0,52	0,52	0,62

AC: acamamento (em %), QUE: quebraamento (em %), AP: altura de plantas (em cm), AE: altura de espiga (em cm) e PG: produtividade de grãos (em t ha⁻¹), MFR: matéria fresca de raiz (em g), MSR: matéria seca de raiz (em g), ASR: área de superfície de raiz (em mm²), CR: comprimento de raiz (em mm), DTR: densidade de tecido radicular (em mm mL⁻¹), MSPA: matéria seca da parte aérea (em g).

Os valores dos coeficientes de determinação genotípicos nas parcelas (Tabela 2) variaram de 19,31% a 64,78% para os caracteres agronômicos, e de 19,79% a 27,65% para os morfológicos, revelando que a seleção poderá ser realizada, com grande possibilidade de sucesso, para PG, que atingiu coeficiente de determinação genotípico de 64,78%. Os caracteres morfológicos apresentaram baixos coeficientes de determinação genotípicos nas parcelas, assim como relatado por Mehdi e Ahsan (2000), que encontraram valores de 25,08% e 25,49% para os caracteres MFR e MSPA, respectivamente. O coeficiente de determinação

genotípico nas médias das populações foi alto para todos os caracteres, de 68,30% a 94,30%, o que indica que se a seleção fosse realizada sobre esses caracteres nesse experimento, haveriam promissores ganhos com a seleção.

O CV_g dá ideia sobre a proporcionalidade do ganho em relação à média no caso de seleção. Em milho, nas condições brasileiras, valores de CV_g acima de 7% são considerados como bons indicadores do potencial genético do germoplasma para o melhoramento (RODRIGUES et al., 2011). Portanto, para os caracteres considerados, tanto morfológicos quanto agrônômicos, com exceção do caráter AP, foi possível detectar variação genética potencial para seleção (Tabela 2). Os CV_g para AP e AE, de 4,65% e 7,64%, respectivamente, embora sejam baixos, estão em concordância com os valores obtidos por Tomé et al. (2007), de 5,20% e 8,37%, e Rovaris et al. (2011), de 3,02% e 4,40%, respectivamente. As magnitudes de CV_g encontradas para os caracteres morfológicos MFR, MSR e MSPA são semelhantes às relatadas por Mehdi e Ahsan (2000), o que reforça o potencial desses caracteres para a seleção.

Considerando a relação CV_g/CV_e , essa retrata situação mais favorável para seleção apenas no caráter PG, devido a relação CV_g/CV_e ser maior que 1, que é condição à prática de seleção (VENCOVSKY, 1987), juntamente com o alto componente quadrático genotípico.

Para facilitar ainda mais a seleção de genótipos promissores, utiliza-se a estimativa de coeficientes de correlação entre características de interesse. Nesse trabalho, foram observadas correlações fenotípicas e genotípicas com mesmo sinal e magnitudes semelhantes (Tabela 3), assim como relatado por Churata e Ayala-Osuna (1996) e Rissi e Paterniani (1981), o que sugere confiabilidade em se utilizarem as correlações fenotípicas para interpretação dos dados.

Embora os coeficientes de correlações genotípicas sejam superiores aos coeficientes de correlações fenotípicas, evidenciando maior contribuição dos fatores genéticos, os valores encontrados para a correlação genotípica podem estar superestimados, uma vez que esta é proveniente de cálculos indiretos a partir de componentes da variância e da covariância (ESPÓSITO et al., 2012), o que justifica a escolha da correlação fenotípica para a análise de trilha.

Tabela 3. Estimativas de correlações fenotípicas (acima da diagonal) e genotípicas (abaixo da diagonal) entre as variáveis obtidas das 13 populações de milho avaliadas.

Carac.	AC	QUE	AP	AE	PG	MFR	MSR	ASR	CR	DTR	MSPA
AC	1	0,671*	0,411	0,448	-0,780**	-0,488	-0,495	-0,479	-0,534	-0,474	-0,449
QUE	0,827	1	0,763**	0,756**	-0,637*	-0,392	-0,500	-0,390	-0,429	-0,440	-0,309
AP	0,455	1,000	1	0,919**	-0,269	-0,234	-0,255	-0,311	-0,295	-0,197	-0,209
AE	0,514	1,000	0,954	1	-0,346	-0,275	-0,325	-0,323	-0,312	-0,243	-0,188
PG	-0,815	-0,792	-0,307	-0,392	1	0,457	0,511	0,376	0,406	0,399	0,312
MFR	-0,587	-0,450	-0,232	-0,318	0,561	1	0,958**	0,971**	0,961**	0,957**	0,868**
MSR	-0,622	-0,645	-0,314	-0,411	0,663	1,000	1	0,935**	0,921**	0,937**	0,858**
ASR	-0,635	-0,447	-0,394	-0,445	0,483	1,000	0,998	1	0,978**	0,938**	0,915**
CR	-0,693	-0,477	-0,369	-0,423	0,511	0,999	0,997	0,985	1	0,943**	0,938**
DTR	-0,587	-0,535	-0,269	-0,351	0,464	1,000	1,000	0,977	0,972	1	0,822**
MSPA	-0,571	-0,318	-0,226	-0,221	0,387	0,975	0,944	1,000	1,000	0,914	1

AC: acamamento; QUE: quebramento; AP: altura de plantas; AE: altura de espiga; PG: produtividade de grãos; MFR: matéria fresca de raiz; MSR: matéria seca de raiz; ASR: área de superfície de raiz; CR: comprimento de raiz; DTR: densidade de tecido radicular; MSPA: matéria seca da parte aérea; * e **: significativos a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste *t*.

Segundo Lopes et al. (2002), há uma tendência entre os melhoristas de plantas de se valorizar mais o sinal (positivo ou negativo) e a magnitude dos valores na interpretação aplicada das correlações do que a significância das mesmas, valorizando desta forma estimativas de correlações acima de $\pm 0,5$.

Entre os caracteres agrônômicos, correlações acima de 0,5 foram observadas entre AC e QUE (0,671), AP e QUE (0,763), AE e QUE (0,756), e AP e AE (0,919). A correlação entre AP e AE foi alta e positiva, assim como relatado na literatura. Carpici e Celik (2010) encontraram coeficiente de correlação entre esses caracteres de 0,847 e Alvi et al. (2003), identificaram valores de 0,900.

Com relação à PG, apenas AC e QUE tiveram altas correlações, embora negativas, indicando que a seleção de plantas com menor incidência de acamamento e quebramento pode resultar em plantas mais produtivas. Corroborando com os valores e sinais de correlação encontrados nesse trabalho, Yousuf e Saleem (2001) e Sreckov et al. (2011) relataram baixa correlação entre AP e PG.

A correlação entre AP e QUE foi positiva e alta, o que já era esperado, pois cultivares de porte baixo caracterizam-se por apresentarem maior resistência ao

quebramento do colmo. Magalhães et al. (1994) observaram em seu estudo que as plantas mais altas foram obtidas em materiais susceptíveis ao quebramento, o que confirma a alta correlação entre esses caracteres.

Entre os caracteres morfológicos, houve alta correlação positiva entre todas as combinações de caracteres (Tabela 3). Assim, o caráter MSR é preferível para a seleção devido à economia de tempo e trabalho nas medições, além de sua precisão. Além disso, MSR apresentou correlação de 0,511 com PG, indicando a possibilidade de ganhos também neste caráter agrônomico. Em se tratando da correlação entre MSR e MSPA, a alta magnitude encontrada (0,858) se deve à estreita associação de ambas as partes. Como exemplo, problemas na oferta de carboidratos (pela diminuição da disponibilidade ou do transporte) para as raízes, resultam em problemas nutricionais para o desenvolvimento do sistema radicular da planta (WINKLER, 2006).

Com exceção das correlações que incluem a PG, todas as correlações entre caracteres agrônomicos e morfológicos foram negativas. Isso indica que a seleção simultânea de plantas com raízes com maior matéria fresca, matéria seca, área de superfície, comprimento, densidade de tecido, além de maior matéria seca da parte aérea, resultaria em plantas de porte mais baixo, com menor altura de espiga, menor incidência de acamamento e quebramento, podendo resultar em maior PG.

Entretanto, no geral, as magnitudes de correlação simples entre caracteres agrônomicos e morfológicos foram baixas, impossibilitando a seleção indireta visando ganhos na PG. As correlações entre MFR e PG e MSR e PG (0,457 e 0,511, respectivamente), embora não significativas, foram as de maior magnitude entre as correlações positivas entre as características morfológicas e agrônomicas.

Houve correlação negativa entre CR e AC (-0,534), indicando que a seleção de plantas com maior CR pode diminuir a ocorrência do AC no final do ciclo da cultura. Como a suscetibilidade ao AC e ao QUE do colmo apresenta evidências de herança quantitativa (GOMES et al., 2010), a seleção indireta de plantas com maior comprimento do sistema radicular pode gerar resultados promissores, sobretudo para seleção precoce.

Na análise de trilha, constatou-se elevado grau de multicolinearidade entre os caracteres na matriz de correlação fenotípica das variáveis explicativas

(MONTGOMERY; PECK, 1982). Logo, a metodologia proposta por Carvalho (1995), denominada análise de trilha em crista, a qual sugere análise de trilha com colinearidade sem a necessidade de eliminar variáveis, foi utilizada para estimação dos parâmetros.

O resultado da análise de trilha de PG em razão das variáveis explicativas: MFR, MSR, ASR, CR, DTR, MSPA, AC, QUE, AP e AE está apresentado na Tabela 4, com valor de k de 0,11. O coeficiente de determinação do modelo de análise de trilha (R^2) foi igual a 0,67, caracterizando que 67% da variação da variável dependente PG no modelo está sendo explicada pelas variáveis utilizadas no diagrama causal.

Os efeitos diretos das variáveis analisadas se mostraram inferiores ao efeito da variável residual (0,57), indicando que o aumento na PG não implica relação de causa e efeito apenas com estas variáveis. Desse modo, é possível concluir que as variáveis analisadas nesse trabalho não são os principais determinantes da PG, embora tenham influência sobre esse caráter.

O caráter AC foi o que apresentou maior efeito direto sobre a PG (-0,542), seguido de QUE (-0,352). Foi verificado que, tanto a seleção direta, quanto a indireta (devido à alta correlação simples), dos caracteres AC e QUE, são eficientes no aumento da PG, pois os efeitos diretos também contribuíram por meio de vias indiretas para esse aumento.

Nogueira et al. (2013) realizaram a análise de trilha considerando o efeito dos caracteres altura de planta e altura de espiga, além de diâmetro do colmo, número de grãos por espiga, comprimento de espiga e massa de 100 grãos sobre o rendimento de grãos e concluíram que altura de espiga tem maior efeito direto sobre o rendimento de grãos, e portanto, deve ser considerada para seleção indireta. Neste trabalho, os caracteres AP e AE não apresentaram efeitos diretos e indiretos relevantes sobre a PG.

A seleção de plantas com maior MFR e MSR tem efeito direto representativo sobre o aumento da PG. Além disso, os efeitos de todos os caracteres sobre a PG ocorrem indiretamente por meio desses dois caracteres.

Tabela 4. Estimativa dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres acamamento (AC), quebramento (QUE), altura de plantas (AP), altura de espiga (AE), matéria fresca de raiz (MFR), matéria seca de raiz (MSR), área de superfície de raiz (ASR), comprimento de raiz (CR), densidade de tecido radicular (DTR) e matéria seca da parte aérea (MSPA) sobre o caráter produtividade de grãos (PG).

AC	
Efeito direto sobre PG	-0,542
Indireto via QUE	-0,236
Indireto via AP	0,085
Indireto via AE	0,008
Indireto via MFR	-0,136
Indireto via MSR	-0,159
Indireto via ASR	0,027
Indireto via CR	0,047
Indireto via DTR	0,114
Indireto via MSPA	0,072
Total (Corr Pearson)	-0,780
QUE	
Efeito direto sobre PG	-0,352
Indireto via AC	-0,363
Indireto via AP	0,157
Indireto via AE	0,013
Indireto via MFR	-0,109
Indireto via MSR	-0,160
Indireto via ASR	0,022
Indireto via CR	0,038
Indireto via DTR	0,106
Indireto via MSPA	0,050
Total (Corr Pearson)	-0,637
AP	
Efeito direto sobre PG	0,206
Indireto via AC	-0,223
Indireto via QUE	-0,269
Indireto via AE	0,016
Indireto via MFR	-0,065
Indireto via MSR	-0,082
Indireto via ASR	0,017
Indireto via CR	0,026
Indireto via DTR	0,047
Indireto via MSPA	0,034
Total (Corr Pearson)	-0,269

Tabela 4. Estimativa dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres acamamento (AC), quebramento (QUE), altura de plantas (AP), altura de espiga (AE), matéria fresca de raiz (MFR), matéria seca de raiz (MSR), área de superfície de raiz (ASR), comprimento de raiz (CR), densidade de tecido radicular (DTR) e matéria seca da parte aérea (MSPA) sobre o caráter produtividade de grãos (PG). (Continuação)

AE	
Efeito direto sobre PG	0,018
Indireto via AC	-0,242
Indireto via QUE	-0,266
Indireto via AP	0,189
Indireto via MFR	-0,076
Indireto via MSR	-0,104
Indireto via ASR	0,018
Indireto via CR	0,028
Indireto via DTR	0,059
Indireto via MSPA	0,030
Total (Corr Pearson)	-0,346
MFR	
Efeito direto sobre PG	0,278
Indireto via AC	0,265
Indireto via QUE	0,138
Indireto via AP	-0,048
Indireto via AE	-0,005
Indireto via MSR	0,307
Indireto via ASR	-0,054
Indireto via CR	-0,085
Indireto via DTR	-0,230
Indireto via MSPA	-0,139
Total (Corr Pearson)	0,457
MSR	
Efeito direto sobre PG	0,320
Indireto via AC	0,268
Indireto via QUE	0,176
Indireto via AP	-0,053
Indireto via AE	-0,006
Indireto via MFR	0,267
Indireto via ASR	-0,052
Indireto via CR	-0,081
Indireto via DTR	-0,225
Indireto via MSPA	-0,138
Total (Corr Pearson)	0,511

Tabela 4. Estimativa dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres acamamento (AC), quebramento (QUE), altura de plantas (AP), altura de espiga (AE), matéria fresca de raiz (MFR), matéria seca de raiz (MSR), área de superfície de raiz (ASR), comprimento de raiz (CR), densidade de tecido radicular (DTR) e matéria seca da parte aérea (MSPA) sobre o caráter produtividade de grãos (PG). (Continuação)

ASR	
Efeito direto sobre PG	-0,056
Indireto via AC	0,260
Indireto via QUE	0,137
Indireto via AP	-0,064
Indireto via AE	-0,006
Indireto via MFR	0,270
Indireto via MSR	0,300
Indireto via CR	-0,086
Indireto via DTR	-0,226
Indireto via MSPA	-0,147
Total (Corr Pearson)	0,376
CR	
Efeito direto sobre PG	-0,088
Indireto via AC	0,289
Indireto via QUE	0,151
Indireto via AP	-0,061
Indireto via AE	-0,006
Indireto via MFR	0,268
Indireto via MSR	0,295
Indireto via ASR	-0,055
Indireto via DTR	-0,227
Indireto via MSPA	-0,150
Total (Corr Pearson)	0,406
DTR	
Efeito direto sobre PG	-0,241
Indireto via AC	0,257
Indireto via QUE	0,155
Indireto via AP	-0,041
Indireto via AE	-0,004
Indireto via MFR	0,266
Indireto via MSR	0,300
Indireto via ASR	-0,052
Indireto via CR	-0,083
Indireto via MSPA	-0,132
Total (Corr Pearson)	0,399

Tabela 4. Estimativa dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres acamamento (AC), quebramento (QUE), altura de plantas (AP), altura de espiga (AE), matéria fresca de raiz (MFR), matéria seca de raiz (MSR), área de superfície de raiz (ASR), comprimento de raiz (CR), densidade de tecido radicular (DTR) e matéria seca da parte aérea (MSPA) sobre o caráter produtividade de grãos (PG). (Continuação)

MSPA	
Efeito direto sobre PG	-0,160
Indireto via AC	0,243
Indireto via QUE	0,109
Indireto via AP	-0,043
Indireto via AE	-0,003
Indireto via MFR	0,242
Indireto via MSR	0,275
Indireto via ASR	-0,051
Indireto via CR	-0,083
Indireto via DTR	-0,198
Total (Corr Pearson)	0,312
Coeficiente de determinação: 0,67	
Efeito da variável residual: 0,57	
Valor de k utilizado na análise: 0,11	

Cruz e Regazzi (1997) relatam que características que possuem alta correlação favorável, mas com baixo efeito direto sobre a característica principal indicam que a seleção voltada apenas para a característica em questão pode não proporcionar ganhos satisfatórios na variável principal, portanto, é melhor adotar a seleção simultânea de caracteres, com ênfase também nos caracteres cujos efeitos indiretos são significativos.

Neste caso é relevante realizar seleção simultânea com base nos caracteres MFR e MSR, uma vez que apresentam correlação simples moderada com PG, sendo que a influenciam positivamente por vias indiretas. Logo, a utilização de índices de seleção com esses caracteres seria uma estratégia interessante.

Como em programas de melhoramento é importante descartar os caracteres de menor efeito direto, para que a seleção indireta seja eficiente, os caracteres ASR, CR e AE não se mostraram apropriados para seleção indireta, pois apresentam baixos efeitos diretos sobre a PG (-0,056, -0,088 e 0,018, respectivamente).

5. CONCLUSÕES

De acordo com os parâmetros genéticos, o caráter produtividade de grãos apresentou grande variabilidade genética, indicando ser eficiente se utilizado para seleção.

A seleção sobre os caracteres morfológicos é mais indicada sobre matéria seca de raiz, devido à facilidade e precisão na obtenção dos dados, alta correlação com todos os outros caracteres morfológicos e sua associação com o caráter produtividade de grãos.

A seleção simultânea com base em matéria fresca de raiz e matéria seca de raiz, para ganhos na produtividade de grãos, pode ser realizada, uma vez que apresentam correlação simples moderada e a influenciam positivamente por vias indiretas.

Os caracteres agronômicos acamamento e quebramento são os que apresentam maior efeito direto sobre a produtividade de grãos em populações de milho, sendo indicados para seleção indireta para este caráter.

6. REFERÊNCIAS

AGRIANUAL 2007: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP Consultoria & Comércio, 2007. 516p.

AHADZADEH, B.; AZIMI, J.; GHASEMI, M.; KHAYATNEZHAD, M.; ZAEFIZADEH, M. Correlation analysis and path analysis for yield and its components in hullless barley. **Advances in Environmental Biology**, Amã, 123p., 2011.

ALVI, M. B.; RAFIQUE, M.; TARIQ, M. S.; HUSSAIN, A.; MAHMOOD, T.; SARWAR, M. Character association and path coefficient analysis of grain yield and yield components maize (*Zea mays* L.). **Pakistan Journal of Biological Sciences**, Faisalabad, v. 6, p. 136-138, 2003.

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

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G.; FORSTHOFER, E. L.; MANJABOSCO, E. A.; BEHEREGARAY NETO, V. Resposta de híbridos simples de milho à redução do espaçamento entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 71-78, 2001.

ATKINSON, D. Root characteristics: Why and what to measure. In: SMIT, A.L.; BENGOUGH A. G.; ENGELS C.; VAN NOORDWIJK M.; PELLERIN S.; VAN DE GEIJN, S. C. **Root methods, a handbook**. Springer-Verlag, Berlim, p.1-32., 2000.

AYCICEK, M; YILDIRIM, T. Path coefficient analysis of yield and yield components in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. **Pakistan Journal of Botany**, v. 38, n. 2, p. 417-424, 2006.

BERGAMIN, A. C.; VITORINO, A. C. T.; FRANCHINI, J. C., SOUZA, C. M. A., SOUZA, F. R. Compactação em um latossolo vermelho distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 681-691, 2010.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 4. ed. Viçosa: UFV, 525p., 2005.

BRASILEIRO, B. P.; PETERNELLI, L. A.; BARBOSA, M. H. P. Consistency of the results of path analysis among sugarcane experiments. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 13, n. 2, 2013.

BROUWER, R. Distribution of dry matter in the plant. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 10, n. 5, p. 361-376, 1962.

CANDIDO, L. S.; ANDRADE, J. A. C. Breeding potential of maize composite Isanão VF1 in small spacing in the second growing season. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 8, p. 56-64, 2008. Disponível em: <<http://www.sbmp.org.br/cbab/siscbab/uploads/bd6b9df0-1265-6fb7.pdf>>. Acesso em: 31/03/2014.

CARPICI, E. B.; CELIK, N. Determining possible relationships between yield and yield-related components in forage maize (*Zea mays* L.) using correlation and path analyses. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 38, n. 3, p. 280-285, 2010.

CARVALHO, F. I. F.; SILVA, S. A.; KUREK, A. J.; MARCHIORO, V. S. **Estimativas e implicações da herdabilidade como estratégia de seleção**. Pelotas: Editora da UFPel, 99p., 2001.

CARVALHO, H. W. L.; SANTOS, M. X. ; LEAL, M. L. S.; SOUZA, E. M. Estimativas dos parâmetros genéticos de variedades de milho BR 5028-São Francisco no Nordeste brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 8, p. 929-935, 2003.

CARVALHO, S. P. **Métodos alternativos de estimação de coeficientes de trilha e índices de seleção, sob multicolinearidade**. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 163p., 1995.

CHARNET, R.; BONVINO, H.; FREIRE, C. A. L.; CHARNET, E. M. R. **Análise de modelos de regressão linear**. Campinas: Unicamp, 357p., 2008.

CHLOUPEK, O.; FORSTER, B. P.; THOMAS, W. T. B. The effect of semi-dwarf genes on root system size in field-grown barley. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlim, v. 112, p. 779-786, 2006.

CHURATA, B. G. M.; AYALA-OSUNA, J. T. Correlações genotípicas, fenotípicas e de ambiente e análise de trilha em caracteres avaliados no composto de milho (*Zea mays*) arquitetura. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 43, n. 249, p. 628-636, 1996.

COIMBRA, J. L. M.; BENIN, G.; VIEIRA, E. A.; OLIVEIRA, A. C. DE; CARVALHO, F. I. F.; GUIDOLIN, A. F.; SOARES, A. P. Consequências da multicolinearidade sobre a análise de trilha em canola. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 347-352, 2005.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos**, v. 1, safra 2013/14, n. 6 - Sexto Levantamento. Brasília: Conab, mar. 2014. 83p.

CRUZ, C. D. Programa Genes: Biometria. Editora UFV, Viçosa. 382p. 2006.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed., Editora UFV, Viçosa, 585p., v. 2, 2006.

CRUZ, P. J.; CARVALHO, F. I. F.; SILVA, S. A.; KUREK, A. J.; BARBIERI, R. L.; CARGNIN, A. Influência do acamamento sobre o rendimento de grãos e outros caracteres em trigo. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 9, p. 5-8, 2003.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**. Viçosa: Editora da UFV, 390p., 1997.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4 ed., Editora UFV, Viçosa, v. 1, 480p., 2004.

DEMÉTRIO, C. S. **Capacidade Combinatória de Linhagens de Milho Selecionadas para Sistema Radicular**. 2011. 70p. Tese (Doutorado em Agronomia - Genética e Melhoramento de Plantas) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2011.

DUARTE, J. O. Introdução e Importância Econômica do Milho. 2002. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho/importancia.htm>>. Acesso em 26/01/2014.

DURÃES, F. O. M.; MAGALHÃES, O. C.; COSTA, J. D.; FANCELLI, A. L. Fatores ecofisiológicos que afetam o comportamento do milho em semeadura tardia (safrinha) no Brasil central. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 52, n. 3, p. 491-501, 1995.

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**, Toronto, v. 121, p. 145-156, 1993.

ESPÓSITO, D. P.; PETERNELLI, L. A.; PAULA, T. O. M.; BARBOSA, M. H. P. Análise de trilha usando valores fenotípicos e genotípicos para componentes do

rendimento na seleção de famílias de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 1, p. 38-44, 2012.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4th ed. London: Longman Scientific and Technical, 464 p., 1996.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Safra Mundial de Milho 2013/14**. Informativo DEAGRO, mar. 2014. São Paulo: FIESP, 2014.

FIGUEIREDO, R. D.; VANDER, A. P.; GONZAGA, M. P.; SILVA, F. J. L.; TEIXEIRA, A. A.; ANDA, J. M. R.; FORTES, C. F.; DESSAUNE, F. T. Análise de trilha de caracteres forrageiros do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1531-1535, 2004.

FRITSCHÉ-NETO, R.; MIRANDA, G. V.; DELIMA, R. O.; SOUZA, L. V.; SILVA, J. Herança de caracteres associados à eficiência de utilização do fósforo em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, p.465-471, 2010.

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

GONDIM, A. R. O.; PRADO, R. M.; ALVES, A. U.; FONSECA, I. Eficiência nutricional do milho cv. BRS 1030 submetido à omissão de macronutrientes em solução nutritiva. **Revista Ceres**, Viçosa, v.57, n.4, p. 539-544, 2010.

HALLAUER, A. R.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. 2 ed. Iowa State University Press, Ames, Iowa, 468 p., 1988.

HEPZIBA, S. J.; GEETHA, K.; IBRAHIM, S. M. Evaluation of genetic diversity, variability, character association and path analysis in diverse inbreds of maize (*Zea mays* L.). **Electronic journal of plant breeding**, Coimbatore, v. 4, n. 1, p. 1067-1072, 2013.

HORN, D.; ERNANI, P. R.; SANGOI, L.; SCHWEITZER, C.; CASSOL, P. C. Parâmetros cinéticos e morfológicos da absorção de nutrientes em cultivares de milho com variabilidade genética contrastante. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 30, n. 2, p. 77-85, 2006.

KOFFLER, N. F. **A profundidade do sistema radicular e o suprimento de água às plantas no Cerrado**. Piracicaba: POTAFÓS, 1986. 12p. (Informações Agronômicas, 33).

KUREK, A. J.; CARVALHO, F. I. F. de; ASSMANN, I. C.; MARCHIORO, V. S.; CRUZ, P. J. Análise de trilha como critério de seleção indireta para rendimento de grãos em feijão. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 7, n. 1, p. 29-32, 2001.

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.

LIEDGENS, M.; SOLDATI, A.; STAMP, P.; RICHNER, W. Root development of maize (*Zea mays* L.) as observed with Minirhizotrons in Lysimeters. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 3, p. 1665-1672, 2000.

LOPES, A. C. A.; VELLO, N. A.; PANDINI, F.; ROCHA, M. DE M.; TSUTSUMI, C. Y. Variabilidade e correlações entre caracteres em cruzamentos de soja. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 341-348, 2002.

LOPES, J. S.; LÚCIO, A. D.; STORCK, I.; DAMO, H. P.; BRUM, E.; SANTOS, V. J. D. Relações de causa e efeito em espigas de milho relacionadas aos tipos de híbridos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 6, p. 1536-1542, 2007.

LOZADA, B. I.; ANGELOCCI, L. R. Efeito da temperatura do ar e da disponibilidade hídrica do solo na duração de subperíodos e na produtividade de um híbrido de milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 37-43, 1999.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; CRUZ, I.; MAGNAVACA, R. Quebramento do colmo em milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 20., 1994, Goiânia. Centro-Oeste: cinturão do milho e do sorgo no Brasil: resumos. Goiânia: ABMS, 1994. p. 192.

MAGALHÃES, P. C.; DURAES, F. O. M.; OLIVEIRA, A. C. Efeitos do quebramento do colmo no rendimento de grãos de milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 22, n. 3, p. 279-289, 1998.

MAIA, C.; DOVALE, J. C.; FRITSCHÉ-NETO, R.; CAVATTE, P. C.; MIRANDA, G. V. The difference between breeding for nutrient use efficiency and for nutrient stress tolerance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 11, p. 270-275, 2011.

MARCHI, S. L. **Interação entre desfolha e população de plantas na cultura do milho na região oeste do Paraná**. 2008. 58p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2008.

MATOS FILHO, C. H. A. **Controle genético do comprimento do número de nós do ramo principal em feijão-caupi**. 2004. 34p. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia). Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2004.

MEHDI, S. S.; AHSAN, M. Genetic coefficient of variation, relative expected genetic advance and inter-relationships in maize (*Zea mays* L.) for green fodder purposes at seedling stage. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, Faisalabad, v. 3, n. 11, p. 1890-1891, 2000.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. New York: John Wiley e Sons. 504p., 1982.

MORAES, D. F.; BRITO, C. H. **Análise de possível correlação entre as características morfológicas do colmo do milho e o acamamento**. 2011. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/horizontecientifico/article/viewFile/4079/3038>>. Acesso em: 26/01/2014.

MUNAWAR, M.; SHAHBAZ, M.; HAMMADA, G.; YASIR, M. Correlation and path analysis of grain yield components in exotic maize (*Zea mays* L.) hybrids. **International Journal of Sciences: Basic and Applied Research**, Amã, v.12, n.1, p. 22-27, 2013.

NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; OYA, T. Tolerância à seca em plantas. **Biociência**, Brasília, n. 23, p. 12-18, 2001.

NOGUEIRA, P. A. G.; ZOZ, T.; NUNES, J. G. S.; FILHO, P.R.R.; VENTURINI, G.C. Correlação e análise de trilha de produtividade de grãos e seus componentes e caracteres de planta em milho. In: Congresso de Iniciação Científica, XII, 2013, Ourinhos. **Anais...** Ourinhos, 2013.

PAES, M. C. D. **Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006, 6p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 75).

PEGORARO, D. G.; BARBOSA NETO, J. F.; DAL SOGLIO, F. K.; VACARO, E.; NUSS, C. N.; CONCEIÇÃO, L. D. H. Herança da resistência à mancha-foliar de feosféria em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 3, p. 329-336, 2002.

PEREIRA, R. S. B. Caracteres correlacionados com a produção e suas alterações no melhoramento genético de milho (*Zea mays* L.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 5, p. 745-751, 1991.

PINTHUS, M. J. Lodging in wheat, barley, and oats: the phenomenon, its causes, and preventive measures. **Advances in Agronomy**, Nova Iorque, v. 25, n. 1, p. 208-263, 1973.

RAHMAN, H.; WICKS, Z. W.; SWATI, M. S.; AHMED, K. Generation mean analysis of seedling root characteristics in maize (*Zea mays* L.). **Maydica**, Bergamo, v.39, p.177-181, 1994.

RAHMAN, H.; BOE, A. A.; WICKS, Z. W.; SCHOLTEN, G. G. Diallel analysis for seedling root characteristics in maize. **South Dakota Academy of Science**, v. 67, p. 19-27, 1988.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. A. B. P. **Genética na Agropecuária**. 4 ed., Lavras, UFLA. 463p., 2008.

REDIG, M. S. F. **Estimativas de parâmetros genéticos em clones de priproca (*Cyperus* sp.)**. 2007. 63p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2007.

RIOS, S. A.; BORÉM, A.; GUIMARÃES, P. E. O.; PAES, M. C. D. Análise de trilha para carotenoides em milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 3, 2012.

RISSI, R; PATERNIANI, E. Estimates of genetic parameters in two sub-populations of the variety of maize (*Zea mays* L.) Piranão. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 4, p. 579-592, 1981.

ROCHA, M. M.; CAMPELO, J. E. G.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO V. Q.; LOPES, A. C. Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão-caupi de tegumento branco. **Revista Científica Rural**, Bagé, v. 8, n. 1, p. 135-141, 2003.

RODRIGUES, R. E. S; RANGEL, P. H. N.; ZIMMERMANN, J. P.; NEVES, P. C. Estimativa de parâmetros genéticos e resposta à seleção nas populações de arroz irrigado CNA-IRAT 4PR e CNA-IRAT 4 ME. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 6, p. 685-691, 1998.

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

ROVARIS, S. R. S.; ARAÚJO, P. M.; GARBUGLIO, D. D.; PRETE, C. E. C.; ZAGO, V. S.; SILVA, L. J. F. Estimates of genetic parameter in maize commercial variety IPR 114 at Paraná State, Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 4, p. 621-625, 2011.

SANDINI, I. E.; FANCELLI, L. A. **Milho estratégias de manejo para a região sul**. Guarapuava - PR: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, p. 103-116, 2000.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A. F.; KONFLANZ, V. A. Nitrogen fertilization impact on agronomic traits of maize hybrids released at different decades. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 5, p. 757-764, 2001.

SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A. F.; BOGO, A.; KOTHE, D. M. Incidência e severidade de doenças de quatro híbridos de milho cultivados em diferentes densidades de planta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 17-21, 2000.

SARWAR, G.; CHAUDHRY, M. B. Evaluation of castor (*Ricinus communis* L.) induced mutants for possible selection in the improvement of seed yield. Short Communication, **Spanish Journal of Agricultural Research**, Madri, v. 6, n. 4, p. 629-634, 2008.

SILVA JÚNIOR, J. B. F. **Interação milho-*Herbaspirillum seropedicae*: seleção de estirpes, resposta fisiológica e promoção do crescimento em genótipos submetidos à seca.** 2008. 93p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas), Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2008.

SILVA, M. A.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; CUNHA, M. V.; FREITAS, E. V. Análise de trilha em caracteres produtivos de *Pennisetum* sob corte em Itambé, Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 7, 2008.

SILVA, P. P.; SOARES, L.; COSTA, J. G.; VIANA, L. D. S.; ANDRADE, J. C. F.; GONCALVES, E. R.; SANTOS, J. M.; BARBOSA, G. V. D.; NASCIMENTO, V. X.; TODARO, A. R.; RIFFEL, A.; GROSSI-DE-SA, M. F.; BARBOSA, M. H. P.; SANT'ANA, A. E. G.; RAMALHO, C. E. Path analysis for selection of drought tolerant sugarcane genotypes through physiological components. **Industrial Crops and Products**, v. 37, n. 1, p. 11-19, 2012.

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

SLAFFER, G. A.; OTEGUI, M. Is there a niche for physiology in future genetic improvement of maize yields? In: SLAFFER, G.A.; OTEGUI (Eds.). **Physiological basis for maize improvement.** Nova Iorque: Haworth Press, cap.1, p.1-14, 2000.

SPINELLI, V. M.; ROCHA, R. B.; RAMALHO, A. R.; MARCOLAN, A. L.; VIEIRA JUNIOR, J. R.; FERNANDES, C. DE, F.; MILITÃO, J. S. L. T.; DIAS, L. A.; DOS, S. Componentes primários e secundários do rendimento do óleo de pinhão – manso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 8, p. 1752-1758, 2010.

SRECKOV, Z.; NASTASIC, A.; BOCANSKI, J.; DJALOVIC, I.; VUKOSAVLJEV, M.; JOCKOVIC, B. Correlation and path analysis of grain yield and morphological traits in test-cross populations of maize. **Pakistan Journal of Botany**, v. 43, n. 3, p. 1729-1731, 2011.

THATIKUNTA, R.; PRASAD, D. Path analysis in castor (*Ricinus communis* L.). Research Notes, **The Madras Agricultural Journal**, v. 88, n. 10-12, p. 705-707. 2001.

TAS, B.; CELIK, N. Determination of seed yield and some yield components through path and correlation analyses in many six-rowed barley (*H. vulgare* conv. hexastichon). **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 21, p. 4902-4905, 2011.

TERUEL, D. A.; DOURADO-NETO, D.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K. Modelagem do crescimento e arquitetura de sistemas radiculares. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 4, p. 683-691, 2000.

TOMÉ, L. G. O.; GAMA, E. E. G.; GUIMARAES, C. T.; MAGALHAES, J. V. de; OLIVEIRA, R. M. O.; CRUZ, C. D. Avaliação do potencial, da variabilidade e de parâmetros genéticos em população de milho com e sem estresse hídrico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 4., 2007, São Lourenço. **Anais...** São Lourenço, 2007.

VASCONCELOS, A. C. M.; CASAGRANDE, A. A.; PERECIN, D.; JORGE, L. A. C.; LANDELL, M. G. A. Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 849-858, 2003.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P. **Melhoramento e produção do milho**. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, p. 137-214, 1987.

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

VOLPATO, L.; COUTINHO, P. H.; CALAZANS, A. F.; LORENZETTI, M.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. Análise de trilha em milho tropical para eficiência no uso da água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 7, 2013, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia, 2013.

WINKLER, L. **Melhoramento genético de plantas por meio de ideótipos**. Informativo Fundacep, Ano XIII, n. 2, 2006.

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, Lahore, v. 20, n. 7, p. 557-587, 1921.

YOUSUF, M.; SALEEM, M. Correlation analysis of S1 families of maize for grain yield and its components. **International Journal of Agriculture and Biology**, Faisalabad, v. 3, n. 4, p. 387-388, 2001.

ZOZ, T. **Correlação e análise de trilha de produtividade de grãos e seus componentes e caracteres de planta em cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) e mamona (*Ricinus communis* L.)**. 2012. 54p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Agricultura), Universidade Estadual Paulista “Julio De Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2012.