

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**RELAÇÃO ENTRE CARACTERES
AGRONÔMICOS E ANATÔMICOS EM MILHO**

**Ivanildo Ramalho do Nascimento Júnior
Engenheiro Agrônomo**

2015

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**RELAÇÃO ENTRE CARACTERES
AGRONÔMICOS E ANATÔMICOS EM MILHO**

Ivanildo Ramalho do Nascimento Júnior

Orientadora: Profa. Dra. Fabíola Vitti Môro

Coorientador: Prof. Dr. Gustavo Vitti Môro

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

2015

N244r Nascimento-Júnior, Ivanildo Ramalho do
Relação entre caracteres agronômicos e anatômicos em milho /
Ivanildo Ramalho do Nascimento-Júnior. -- Jaboticabal, 2015
iv, 72 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015

Orientadora: Fabíola Vitti Môro

Coorientador: Gustavo Vitti Môro

Banca examinadora: Andreia da Silva Meyer, Eduardo Custódio
Gasparino, João Antônio da Costa Andrade, Juliana Lischka Sampaio
Mayer

Bibliografia

1. Seleção indireta. 2. Correlação genotípica. 3. Associação entre
caracteres. 4. *Zea mays* L. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.52:633.15

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

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

IVANILDO RAMALHO DO NASCIMENTO JÚNIOR – Nascido em 01 de maio de 1982 em Recife – Pernambuco é filho de Ivanildo Ramalho do Nascimento e Maria Madalena da Silva. Graduou-se em engenharia agrônômica pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife, PE, em 2010, onde foi bolsista de iniciação científica do CNPq com projeto intitulado “Elevação da variabilidade Genética em batata-doce com potencial para precursores da vitamina A”. No período de agosto de 2009 a janeiro de 2010 realizou estágio em Citogenética Vegetal no Laboratório de Genética e Biologia Vegetal da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) atuando no projeto intitulado “Distribuição de microssatélites em espécies dos gêneros *Phaseolus* L. e *Vigna* SAVI pela hibridização *in situ* fluorescente”. Em março de 2010 ingressou no curso de mestrado em Agronomia (Melhoramento Genético de Plantas) da UFRPE, onde desenvolveu a dissertação intitulada “Aspectos agrônômicos e qualitativos de tangerineiras e pomeleiros cultivados no agreste meridional de Pernambuco”. Em março de 2012 ingressou no curso de doutorado em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista – FCAV/UNESP.

**A minha esposa Lívia Nascimento pela
paciência e incentivo durante toda a
minha vida acadêmica...**

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo discernimento dado e presença constante em todos os momentos da minha vida.

A Universidade Estadual Paulista (UNESP) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) por ter me proporcionado realizar o curso de doutorado na instituição.

A CAPES pela concessão de bolsa de estudo.

Ao Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária por permitir a realização de parte dos trabalhos desta tese no Laboratório de Morfologia Vegetal, e a técnica Roseli Conceição Silva pelo apoio durante o período de condução do trabalho no laboratório.

A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas) pelos ensinamentos passados durante o curso.

A Professora Dr^a. Fabíola Vitti Mouro pela orientação e ensinamentos transmitidos.

Ao Prof^o Dr. Gustavo Vitti Mouro pela atenção, paciência, confiança e ensinamentos transmitidos.

Aos amigos do grupo de pesquisa de melhoramento genético de milho da FCAV, Carlos Henrique, Filipe Matias, Gustavo Hugo, Lucas Revolti, Rodolfo Buzinaro e Kauê Charnai pelo apoio e momentos de descontração durante a realização dos trabalhos.

Muito Obrigado!!!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
CAPÍTULO 1 - Considerações Gerais	
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. A cultura do milho.....	3
2.2. A planta de milho	5
2.2.1. A Raiz.....	6
2.2.2. O Colmo.....	7
2.2.3. A Folha.....	8
2.3. Influência do acamamento e quebramento da planta na produção de milho.....	10
2.4. Estatística experimental no estudo de associações entre caracteres.....	11
3. OBJETIVO GERAL	13
REFERÊNCIAS.....	13
CAPÍTULO 2 – Associações entre caracteres agronômicos e anatômicos da raiz em milho	
RESUMO.....	19
INTRODUÇÃO.....	20
MATERIAL E MÉTODOS.....	21
RESULTADO E DISCUSSÃO.....	25
CONCLUSÃO.....	33
REFERÊNCIAS.....	33
CAPÍTULO 3 – Análise de fatores e correlações entre caracteres agronômicos e anatômicos do colmo de milho	
RESUMO.....	37
INTRODUÇÃO.....	38
MATERIAL E MÉTODOS.....	39
RESULTADO E DISCUSSÃO.....	44
CONCLUSÃO.....	49
REFERÊNCIAS.....	50

CAPÍTULO 4 – Análise de trilha e correlações entre caracteres agronômicos e anatômicos da folha de milho

RESUMO.....	53
INTRODUÇÃO.....	54
MATERIAL E MÉTODOS.....	55
RESULTADO E DISCUSSÃO.....	59
CONCLUSÃO.....	66
REFERÊNCIAS.....	67
CAPÍTULO 5 – Considerações finais.....	71

RELAÇÃO ENTRE CARACTERES AGRONÔMICOS E ANATÔMICOS EM MILHO

RESUMO – Aspectos agronômicos como produtividade, estatura da planta, altura de inserção da espiga, suscetibilidade ao acamamento e quebramento do colmo apresentam herança quantitativa, sendo altamente influenciados pelo ambiente, o que dificulta a obtenção de genótipos superiores através da seleção direta desses caracteres. Já as estruturas anatômicas são mais estáveis e a sua avaliação, além de simples e de baixo custo, pode ser feita em estágios precoces da planta, diferente dos aspectos agronômicos que há necessidade de espera para que sejam expressos e assim avaliados. Sendo assim objetivou-se identificar a existência de associações entre os caracteres anatômicos da raiz, colmo e folha, e agronômicos em variedades de milho. Foram realizados estudos de parâmetros genéticos, correlação genotípica, correlação canônica, análise de fatores e de trilha através dos caracteres agronômicos (altura da planta, altura de inserção da espiga, posição relativa da espiga, acamamento, quebramento de planta e produtividade de grãos), anatômicos da raiz (área total da raiz, área do cilindro central, espessura da epiderme, espessura da exoderme, espessura do parênquima cortical, espessura da endoderme, número de vasos do metaxilema, área do floema, espessura do córtex e área do metaxilema), do colmo (área média do xilema, área média do floema, área média dos feixes vasculares e o números de feixes vasculares) e da folha (espessura das células buliformes, espessura da epiderme adaxial, espessura da epiderme abaxial, espessura do mesofilo, área do xilema, área do floema, área do esclerênquima, área média dos feixes vasculares). No estudo de associações entre os caracteres anatômicos da raiz e agronômicos observou-se através da análise da correlação canônica a existência de relação entre a altura de planta e os caracteres anatômicos área total da raiz, área do cilindro central, espessura do córtex e espessura do parênquima cortical. No estudo de associações entre os caracteres anatômicos do colmo e agronômicos observou-se com base na análise de fatores alta associação entre os caracteres número de feixes vasculares, altura da planta e altura da espiga. No estudo de associações entre os caracteres anatômicos da folha e agronômicos observou-se através da análise de trilha que os caracteres espessura da epiderme adaxial, área do xilema e área do esclerênquima são os que apresentam maior efeito direto sobre a produção de grãos. A observação de associações entre os caracteres anatômicos e agronômicos da planta, além de possibilitar seleção mais precisa dos caracteres agronômicos através da seleção indireta devida a maior estabilidade dos caracteres anatômicos quando comparados aos agronômicos, pode acelerar o processo de seleção com o descarte nas fases iniciais dos genótipos menos favoráveis, possibilitando concentrar recursos nos potencialmente superiores.

Palavras-chave: Seleção indireta, correlação genotípica, associação entre caracteres, *Zea mays* L.

RELATIONSHIP BETWEEN AGRONOMIC AND ANATOMY CHARACTERS IN MAIZE

ABSTRACT - Agronomic aspects such as productivity, plant height, the ear height, susceptibility to lodging and stem breakage have quantitative inheritance, being highly influenced by the environment, making it difficult to obtain superior genotypes through direct selection of these characters. The anatomical structures are more stable and their assessment, beyond simple and low cost, can be held in the early stages of the plant, different from the agronomic aspects that need to wait for it to be expressed and evaluated. Therefore, the objective of this work was to identify the associations between the anatomical characteristics of root, stem and leaf, and agronomic in maize varieties. Studies of genetic parameters, genotypic correlation, canonical correlation, factors analysis and path analysis across the agronomic characters (plant height, ear height, ear placement, lodging, plant breakage and grain yield), anatomic root (total area of root, central cylinder area, epidermal thickness, exodermis thickness, cortical parenchyma thickness, endoderm thickness, number of metaxylem vessels, phloem area, cortex thickness and metaxylem area), the stem (average area of xylem, average area of phloem, average area of vascular bundles and number of vascular bundles) and the leaf (bulliform cells thickness, adaxial epidermis thickness, abaxial epidermis thickness, mesophyll thickness, xylem area, phloem area, sclerenchyma area, average area of vascular bundles) were performed. In the study of associations between the anatomical characters of root and agronomic observed through the canonical correlation analysis the existence of relationship between plant height and anatomical characters total area of root, central cylinder area, cortex thickness and cortical parenchyma thickness. In the study of associations between the anatomical characters of stem and agronomic, based on factors analysis, strong association between number of vascular bundles, plant height and ear height were observed. In the study of associations between the anatomical characters of leaf and agronomic was observed through path analysis that the adaxial epidermis thickness, xylem area and sclerenchyma area are those with highest direct effect on grain production. The observation of associations between the anatomical and agronomic characteristics of plant, besides allowing precise selection of agronomic traits through indirect selection due to greater stability of anatomical characters when compared to agronomic, can accelerate the selection process for the disposal in the early stages of less favorable genotype, allowing concentrate resources on potentially higher.

Keywords: Indirect selection, genetic correlations, association between characters, *Zea mays* L.

CAPÍTULO 1 - Considerações gerais

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas agrícolas mais exploradas no Brasil, com uma área plantada de 15.743,7 mil de ha e uma produção de 84.729,2 mil de toneladas para a safra de 2014/2015 (CONAB, 2015).

Grande parte desta produção se deve ao aumento do uso de tecnologia no País, entre elas o uso de sementes melhoradas, o que vem proporcionando ganhos de produtividade recordes nos últimos anos (CONAB, 2014).

Por suas características fisiológicas, a cultura do milho tem alto potencial produtivo, já tendo sido obtida rendimentos superiores a 16 t.ha⁻¹ no Brasil em concursos de produtividade de milho conduzidos por órgãos de assistência técnica, extensão rural e por empresas produtoras de semente (EMBRAPA, 2014). Todavia, o que se observa na prática são produtividades médias muito baixas e irregulares, cerca de 5,3 t ha⁻¹ de grãos (CONAB, 2015), sendo os fatores ambientais os principais responsáveis por essa baixa produtividade (COELHO; FRANÇA, 1995).

Apesar do melhoramento intenso dedicado a cultura, muitos cultivares comerciais ainda possuem baixa tolerância a fatores bióticos e abióticos, entre eles o acamamento de plantas e quebramento do colmo, características altamente relacionadas com a baixa produção de grãos (FEDERIZZI et al., 1994).

O quebramento do colmo, por exemplo, provoca a ruptura dos tecidos, interrompendo assim a vascularização do colmo, não permitindo a recuperação da planta, afetando a estrutura anatômica ligada no transporte de água e nutrientes e, quanto mais cedo se manifesta no ciclo de vida da planta, menor é o rendimento e a qualidade dos grãos (ZANATTA; OERLECKE, 1991).

Caracteres como produtividade, estatura da planta, altura de inserção da espiga, suscetibilidade ao acamamento e quebramento do colmo demonstram evidências de herança quantitativa, isto é, vários genes estão envolvidos para expressão das características, onde as condições ambientais têm um papel importante nessa expressão (RAMALHO et al., 2012). Com isto, a seleção direta de genótipos com boas características agrônômicas é bastante difícil, devido à

necessidade de se reduzir fatores do clima que potencializam a baixa produtividade, o acamamento e o quebramento de plantas, a exemplo das pragas e doenças, vento e a chuva (EASSON et al., 1993).

O tempo gasto de espera para avaliação da produtividade e características como acamamento e quebramento de plantas é outro problema, pois existe a necessidade de se aguardar todo o período de desenvolvimento da planta até a fase de expressão das características, que no caso destas é no final do ciclo da cultura.

Devido à rapidez, facilidade e baixo custo, com a ocorrência de correlação alta e significativa, características anatômicas podem ser usadas como característica indireta de seleção para os diferentes aspectos agronômicos da planta.

Dentre os estudos de associações entre os diferentes caracteres da planta ou associados a ela, a análise dos coeficientes de correlação é a ferramenta mais usada na quantificação da magnitude e direção das influências dos fatores na determinação de caracteres complexos, porém não é recomendada na identificação dos efeitos diretos e indiretos desses fatores (CRUZ et al., 2012), sendo comumente utilizado para este fim a análise de trilha, desenvolvida por Wright (1921 e 1923) e pormenorizada por Li (1975).

A análise de trilha consiste no estudo dos efeitos diretos e indiretos de caracteres sobre uma variável básica pelo desdobramento do coeficiente de correlação, obtidas por meio de equações de regressão, em que as variáveis são previamente padronizadas, sendo considerada uma análise multivariada pois sua decomposição depende do conjunto de caracteres estudados (CRUZ et al., 2012).

A análise de trilha apesar de ser de grande importância no estudo dos efeitos diretos e indiretos de um conjunto de variáveis explicativas sobre uma variável principal, apresenta a limitação de considerar apenas uma única variável dependente. Para superar esta deficiência, alguns pesquisadores têm utilizado a técnica das correlações canônicas, na qual se estima a máxima correlação entre dois complexos de variáveis, compostos por combinações lineares dos vários caracteres que os constituem (CRUZ et al., 2012).

No melhoramento de plantas, a técnica das correlações canônicas é bastante utilizada, por exemplo, na avaliação das relações entre a parte aérea versus sistema

radicular, caracteres agronômicos versus fisiológicos, componentes primários versus secundários da produção entre outros (CRUZ et al., 2012).

Ainda dentro da estatística multivariada, a análise de fatores é uma outra técnica utilizada tanto no estudo de associações entre caracteres, quanto na identificação daqueles caracteres de maior importância na discriminação de genótipos. Por esta metodologia é feita a rotação dos fatores sendo obtida uma matriz de cargas fatoriais. Valores maiores ou iguais a 0,6 e de sinal positivo indicam altas correlações entre os caracteres dentro de cada fator, sendo possível estabelecer grupos. Valores entre 0,5 e 0,6 não garantem nenhuma definição na formação de grupos e valores abaixo de 0,5 indicam a impossibilidade de formação de grupos (JOHNSON; WICHERN, 1992).

Deste modo, objetivou-se com este trabalho identificar a existência de variabilidade genética e associações entre caracteres agronômicos e anatômicos em milho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) é um dos grãos mais produzidos no mundo (FAO, 2015), sendo cultivado em praticamente todos os países do planeta. De acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), na safra 2013/14 a produção mundial foi de 980 milhões de toneladas do grão (CONAB, 2014).

Os Estados Unidos é o maior produtor do cereal e consomem cerca de 85% do que é produzido e, mesmo exportando apenas 10% da sua produção, é também o maior exportador de milho do mundo. O forte consumo se deve, principalmente, à alta demanda para a produção de etanol, em torno de um terço da produção (CONAB, 2014).

Nas lavouras americanas, o grande avanço em produtividade ocorreu devido à utilização de híbridos modernos, pela maior disponibilidade de fertilizantes, controle mais eficiente de plantas daninhas, avanços no manejo da cultura e aumento da população de plantas (CARVALHO, 2007).

Já o Brasil é o terceiro maior produtor mundial, finalizando a safra 2014/2015 com uma colheita de mais de 81 milhões de toneladas, um consumo interno de 55 milhões de toneladas e uma exportação estimada de 21 milhões de toneladas, o que coloca o país como o segundo maior exportador do grão (CONAB, 2015).

Estima-se que no país o milho seja cultivado em 3,6 milhões de propriedades agrícolas, com grande diversidade nas condições de cultivo, havendo desde agricultura de subsistência até lavouras que utilizam o mais alto nível tecnológico (EMBRAPA, 2014), sendo a maioria desta produção, cerca de 60 a 80%, destinada a alimentação animal (DUARTE et al., 2015).

Assim como nos Estados Unidos, o que permitiu elevar a produção do Brasil a este patamar foi a adoção de alta tecnologia, o que proporcionou ganhos de produtividade recordes no país, apesar da produtividade média, quando comparada a outros países produtores do cereal, ainda ser baixa (CONAB, 2014).

Além do uso de tecnologia mais avançada por produtores tradicionalmente mais tecnificados, seja ela com sementes melhoradas e mais produtivas, populações resistentes a pragas e/ou tolerantes a doenças, adubação localizada e direcionada de acordo com análise de solo e exigência da planta, entre outros, o aumento da difusão de tecnologia, tanto pelo setor público quanto pelo privado, vem proporcionando que cada vez mais produtores tenham acesso às diferentes tecnologias disponíveis no mercado.

O acesso às novas tecnologias apesar de ter influenciado todas as regiões do País, foi decisiva no aumento de produtividade da última década, principalmente nas Regiões Norte e Nordeste, com 72,03% e 142,99%, respectivamente, influenciada pelos ganhos de produtividade nos estados do Maranhão, Piauí, Tocantins, Bahia, Rondônia, Pará e Sergipe, que são responsáveis por mais de 90% da produção da Região Norte/Nordeste.

O aumento do cultivo de milho segunda safra em relação à primeira safra na região Centro-Sul, nos estados do Maranhão, Piauí, Tocantins, Bahia, e em Rondônia, é outro aspecto importante a ser destacado. O milho segunda safra é, na sua maior parte, cultivado em área de soja primeira safra, o que proporciona aumento de produção agrícola numa mesma área. Na safra 2011/12, pela primeira vez, a produção de milho segunda safra foi maior do que o de primeira safra, e esse cenário se

manteve até a safra atual. Isto já era uma tendência na última década e, em virtude do aumento de área de segunda safra e manutenção/decréscimo da primeira safra, deve permanecer no País. Apesar da área destinada a segunda safra ser ainda inferior ao da primeira, dificilmente esse quadro será revertido, visto que até a produtividade por hectare da segunda safra tem sido maior nas três últimas safras, além da possibilidade de se cultivar duas vezes na mesma área dentro do mesmo ano agrícola, em algumas situações, sem necessidade de irrigação (CONAB, 2014).

2.2. A planta de milho

O milho pertence ao reino *Plantae*, filo *Magnoliophyta*, classe *Liliopsida*, ordem *Poales*, família *Poaceae* (Graminea), gênero *Zea*, sendo a espécie *Zea mays* L. a mais explorada comercialmente, tanto nos países tropicais quanto nos subtropicais (FAO, 2015).

Embora possam ter havido contatos anteriores de europeus no continente americano é atribuída a Colombo a primeira observação e transporte de sementes da cultura para Europa (BONAVIA, 2013).

A primeira ilustração do milho é datada de 1543 em Veneza, numa tradução italiana do Sumario de La Naturale Historia de Oviedo (SAUER, 1960), os primeiro trabalhos referentes a diversidade da cultura só foram publicados a partir da década de 1930, nos quais foram levantadas hipóteses para explicar a origem da planta (PATERNIANI; VIÉGAS, 1987). Atualmente permanecem ainda três hipóteses, embora existam várias interpretações próprias para cada uma delas.

A hipótese da “origem comum” ou da “evolução divergente”, discutida por Weatherwax (1955) e Randolph (1955) sugerem que o milho, o teosinte e o tripsacum são originários de um ancestral comum.

Já a hipótese da “descendência do teosinte”, defendida por diversos pesquisadores descreve que o milho se originou diretamente do teosinte, por seleção feita pelo homem (PATERNIANI; VIÉGAS, 1987).

A terceira hipótese, apresentada por Mangelsdorf (1974), sugere que o teosinte pode ter sido originado do milho, especificamente o teosinte anual do México.

Hipóteses a parte, o que se observa pelas atuais evidências botânicas e arqueológica é que tanto o teosinte quanto o milho continuam a evoluir desde aquela

época. Na maioria dos casos, a evolução é divergente, principalmente no caso do milho, porém muitos teosintes no México sofreram tal introgressão do milho, não podendo ser utilizados nos trabalhos de genética ou taxonômicos que necessitem um maior grau de pureza da espécie (BONAVIA, 2013).

2.2.1. A raiz

A organização interna da raiz do milho é relativamente simples quando comparada ao caule. Um corte transversal da raiz em estrutura primária, geralmente mostra uma nítida separação entre os três sistemas de tecidos: a epiderme (sistema dérmico), o córtex (sistema fundamental) e os tecidos vasculares (sistema vascular). Na raiz os tecidos vasculares formam um cilindro sólido, ou um cilindro oco preenchido pela medula (APPEZZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2012).

A epiderme é formada de células vivas e, nas raízes jovens, especializa-se na função de absorção desenvolvendo numerosos pelos, podendo assim ter certa influência no desenvolvimento e produção da planta, por estar diretamente ligada a absorção de nutrientes e água do solo (DEMÉTRIO, 2011).

O córtex da raiz é a região entre a epiderme e o cilindro vascular, composta nas monocotiledôneas pela exoderme, parênquima cortical e endoderme, nas quais são originárias do meristema fundamental. Esta normalmente apresenta amido como substância de reserva, que pode ser utilizado nos estágios da planta onde ela necessite de mais energia (PINTHUS, 1973).

Na raiz, ao contrário dos demais órgãos do vegetal, os tecidos vasculares não formam feixes vasculares. O xilema primário forma um maciço central, provido de projeções que se dirigem para a periferia do cilindro vascular, e o floema forma cordões que se alternam com as arestas do xilema, distribuídos próximos da periferia do cilindro vascular, internamente ao periciclo. Quando o xilema não ocupa todo o centro do cilindro vascular, forma-se uma medula parenquimática nesta região central, que pode vir a esclerificar-se nas regiões mais velhas da raiz (APPEZZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2012).

O estudo do sistema radicular e sua interação com a parte aérea durante o crescimento e o desenvolvimento das culturas é bastante limitado, provavelmente pela dificuldade de obtenção e análise de amostras, resultando em trabalhos mais

demorados, minuciosos, muitas vezes apresentando baixa precisão quando comparadas a características de parte aérea (TERUEL et al., 2000; VASCONCELOS et al., 2003; HORN et al., 2006).

2.2.2. O colmo

O colmo do milho é formado por uma massa de tecido parenquimatoso denso que envolve os diversos feixes vasculares dispersos na região, e por duas fileiras de paredes espessas de esclerênquima que estão por baixo das células epidérmicas (STOKKE et al., 2013).

Os feixes vasculares são formados por células do floema, responsáveis pela condução de fotoassimilados para toda a planta, e células do xilema que conduzem água das raízes para as folhas, sendo cada feixe vascular acompanhado por células fibrosas de esclerênquima (STOKKE et al., 2013).

Nas plantas mais jovens, devido ao fato do esclerênquima está confinado apenas nos feixes vasculares e na periferia da planta, o teor de fibra no colmo é bem baixo, diferente das plantas mais velhas que apresentam células de parênquima com um elevado teor de celulose. Já a medula é cercada por uma região relativamente estreita de tecido denso, em que os feixes vasculares são incorporados. Assim, ao contrário do trigo e muitas outras gramíneas, o colmo do milho maduro geralmente não é oco, embora as plantas sob alto estresse hídrico podem desenvolver esta característica (STOKKE et al., 2013).

No milho, o colmo serve também como órgão de reserva de fotoassimilados que podem ser translocados para a espiga (JONES; SIMMONS, 1983 e MAGALHÃES et al., 1998). Alguns autores têm relatado que grande parte desses fotoassimilados são mobilizados durante o período de desenvolvimento do grão, quando a quantidade necessária de carboidratos para o seu enchimento é superior à quantidade de fotoassimilados produzidos pela planta, devido a diminuição da fotossíntese no final do período de crescimento da planta (TOLLENAAR, 1977; TOLLENAAR; DAYNARD, 1978).

Quando a estrutura responsável pela fotossíntese da planta produz fotoassimilados em quantidade insuficiente para a manutenção dos tecidos, o aumento da necessidade desses compostos no enchimento de grãos leva os tecidos

da raiz e da base do colmo a senescerem precocemente, fragilizando essas regiões (DA FONTOURA et al., 2006; GOMES et al., 2010).

O colmo também serve como um dreno ativo, cuja capacidade em atrair fotoassimilados vai diminuindo com a aproximação do fim do período de enchimento dos grãos (TOLLENAAR, 1977). A participação do colmo nesta atividade depende do local onde a cultura está inserida, sendo observada que em ambientes desfavoráveis, o colmo mostra maior participação do que em ambientes favoráveis, ou seja, maior quantidade de fotoassimilados é alocada do colmo para o grão em situação de estresse, quando as folhas são menos saudáveis (ALLISON; WATSON, 1966; MACKINNON, 1979).

Em híbridos prolíficos, Duvik (1974) concluiu que o alto grau de quebramento do colmo em níveis médios e altos de densidade de plantas, pode ter ocorrido devido à competição por metabólitos entre colmo e espiga, o que pode ter provocado uma maior tensão no colmo.

Alguns autores têm relatado que o particionamento de fotoassimilados em genótipos tropicais e temperados não é o mesmo, e atribui a translocação dos assimilados para os grãos como um dos principais problemas dos genótipos tropicais, havendo associação dos baixos rendimentos de grãos nos trópicos ao pobre particionamento de matéria seca para os grãos (YAMAGUCHI, 1974; MAGALHÃES; DURÃES; PAIVA, 1995).

Em áreas tropicais, cultivares altamente produtivas também estão relacionadas a problemas de quebramento do colmo. Magalhães et al. (1998), porém, concluíram que cultivares comerciais presumivelmente tidas como suscetíveis ao quebramento, nem sempre são as mais produtivas em relação às resistentes e que a drenagem excessiva de fotoassimilados do colmo para a espiga não poderia ser considerada como fator único ou principal para explicar o quebramento do colmo, devendo os fatores abióticos e bióticos serem levados em consideração numa avaliação de quebramento do colmo em plantas de milho.

2.2.3. A Folha

A folha no milho está diretamente ligada à produtividade da planta, pois está associada à atividade metabólica do carbono e do nitrogênio, tendo este um papel

direto na acumulação de matéria seca nos grãos (BELOW et al., 1981; SWANK et al., 1982).

O milho, em função do seu mecanismo fotossintético tipo C4, é uma das espécies mais eficientes na conversão de energia radiante, o que resulta em uma alta produção de biomassa pela elevada acumulação de fotoassimilados.

A importância relativa das taxas de fotossíntese de folhas individuais na formação da produção tem apresentado conclusões controversas ao longo dos anos (DA SILVA; PEDREIRA, 1997). Em alguns casos, a literatura apresenta algumas divergências baseada na inexistência de uma associação clara entre as taxas de assimilação de CO₂ por unidade de área foliar e produção de matéria seca. Zelitch (1982) comenta que não se deve considerar que medidas de fotossíntese tomadas instantaneamente por unidade de área foliar representem a assimilação líquida de CO₂ de toda a planta durante a estação de crescimento.

Quanto à estrutura da folha do milho, esta é constituída basicamente por duas estruturas: bainha e limbo foliar. A bainha é a estrutura que une o limbo foliar ao colmo através da lígula, sendo responsável, principalmente, pela proteção do colmo ao ataque de insetos-praga e patógenos, além de ser um tecido intensamente vascularizado, sendo uma importante estrutura condutora de seiva na planta (ESAU, 1977).

O Limbo foliar é formado basicamente pela epiderme e pelo mesofilo. A epiderme é um sistema de células de formas e funções variadas, que reveste todo o corpo primário da planta. No milho, as células epidérmicas são normalmente alongadas longitudinalmente, apresentando grande quantidade de invaginações que ligam uma célula às outras e conferem um arranjo extremamente compacto e justaposto (RAVEN et al., 1996). A organização compacta das células dificulta a ação de choques mecânicos e a penetração de patógenos/pragas na planta, sendo responsável também pelas trocas gasosas, por meio dos estômatos e pela proteção contra a radiação solar, evitando o superaquecimento das células do mesofilo, denominado de tecido fundamental por ser composta principalmente pelo parênquima clorofiliano, responsável pela fotossíntese da planta (RAVEN et al., 1996).

Atualmente, os fatores básicos de produção durante as etapas de desenvolvimento vegetativo da planta são pouco estudados, sendo tais estudos

concentrados na fase reprodutiva da cultura, momento no qual o potencial de produção da planta já está praticamente definido (BALDO, 2007). Portanto, o estudo dos diferentes caracteres durante o período de desenvolvimento da planta poderá proporcionar maior conhecimento sobre a influência destes com a produção da planta.

2.3. Influência do acamamento e quebramento da planta na produção de milho

O acamamento pode ser definido como uma modificação permanente da posição do colmo em relação à posição original da planta, resultando em plantas recurvadas e até mesmo na quebra de colmos, podendo causar a ruptura dos tecidos, o que interrompe a vascularização do colmo e impede a recuperação da planta, afetando a estrutura anatômica essencial para o transporte de água e nutrientes. Quanto mais cedo o acamamento de plantas e o quebramento do colmo se manifestar no ciclo de vida da planta, menor será o rendimento e a qualidade dos grãos (ZANATTA; OERLECKE, 1991).

Estima-se que de 5 a 20% da produção mundial de milho é perdida devido ao acamamento de plantas e quebramento do colmo (INSTITUTO FNP, 2007). A sua interferência na produtividade está principalmente no fato de que grande parte da colheita do milho no País está sendo feita de forma mecanizada, influenciando assim na eficiência da colheita do cereal, que dependendo da situação que se encontra a lavoura no momento da colheita, boa parte das espigas produzidas não serão colhidas (BRACHTVOGEL et al., 2012).

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 (GOMES et al., 2010). Entre os principais fatores abióticos que promovem acamamento e quebramento em milho, destacam-se o vento e a chuva (EASSON et al., 1993).

O fluxo de fotoassimilados direcionado para o enchimento de grãos (MAGALHÃES; DURÃES; PAIVA, 1995) e o maior comprimento entre o primeiro e o segundo nó da porção basal do colmo (PINTHUS, 1973) também podem favorecer o quebramento do colmo.

Devido às variações apresentadas nos genótipos, a suscetibilidade ao acamamento e ao quebramento do colmo apresenta evidências de herança quantitativa. Sendo assim, a seleção para esses caracteres com base na contagem do número de plantas é bastante difícil, entre outros fatores está à necessidade de uma condição ambiental propícia para que tais características sejam expressas. Segundo Gomes et al. (2010), a evolução dos estudos desses caracteres tem sido limitada pela ausência de difusão de uma metodologia eficiente de avaliação.

2.4. Estatística experimental no estudo de associações entre caracteres

O conhecimento da inter-relação entre caracteres é de grande importância nos trabalhos de melhoramento, principalmente se a seleção direta em um deles apresenta dificuldades, em razão da baixa herdabilidade, ou, tenha problemas de mensuração como a necessidade de ambientes específicos ou tempo de espera para avaliação muito longo, a exemplo de caracteres que se expressam apenas no final do ciclo da cultura (CRUZ et al., 2012).

Entre os procedimentos utilizados para avaliação dessas associações, a análise do coeficiente de correlação simples é o procedimento mais utilizado nos estudos cujo objetivo é medir o grau e a direção da correlação entre duas variáveis de escala métrica, normalmente assumindo apenas valores entre -1 e 1. Admitimos uma correlação positiva perfeita entre duas variáveis quando o valor do coeficiente de correlação apresenta valores muito próximos de 1, e uma correlação negativa perfeita quando estes valores se encontram mais próximas de -1, indicando que quando uma característica aumenta, a outra diminui, não sendo comprovada, no entanto, dependência linear entre as variáveis se o coeficiente de correlação for igual ou muito próxima de zero.

Dentro da estatística multivariada, a análise de trilha vem sendo utilizada nos estudos de efeitos diretos e indiretos dos diferentes caracteres sobre uma variável básica. As estimativas são obtidas por meio de equações de regressão, em que as variáveis básicas são previamente padronizadas. Apesar da correlação ser uma característica intrínseca a dois caracteres em dada condição experimental, sua decomposição depende do conjunto de caracteres estudados, que normalmente são

avaliados pelo conhecimento prévio do pesquisador de suas importâncias e de possíveis inter-relações (CRUZ et al., 2012).

Este método foi desenvolvido por Wright (1921 e 1923) e pormenorizado por Li (1975) com base no desdobramento do coeficiente de correlação simples, que apesar de serem importantes na quantificação da magnitude e direção das influências de fatores na determinação de caracteres complexos, não dão a exata importância relativa dos efeitos diretos e indiretos desses fatores.

Um outro método da estatística multivariada para o estudo de associações é a correlação canônica, que tem por objetivo estimar a máxima correlação entre dois complexos de variáveis, compostos por combinações lineares dos vários caracteres que os constituem, diferenciando-se da análise de trilha por esta considerar apenas uma única variável dependente (FERREIRA, 2011).

A técnica caracteriza-se por avaliar a relação entre dois complexos influenciados, no mínimo, por dois caracteres, sendo o número de correlações canônicas igual ao menor número de caracteres que constituir um dos complexos, e sua magnitude sempre diminui com a ordem em que são estimadas. Porém, o primeiro coeficiente é sempre maior ou igual, em valor absoluto, a qualquer coeficiente de correlação simples ou múltipla, entre os caracteres do primeiro e do segundo grupo (CRUZ et al., 2012).

Por ser uma técnica exploratória, a análise de correlação canônica pode ser utilizada com a finalidade de simplificação estrutural dos dados, resumindo grandes vetores de variáveis em um número menor delas e restabelecer as inter-relações entre as variáveis originais a partir do menor conjunto de variáveis de ambos os vetores. Esse objetivo torna a análise de correlação canônica especialmente útil, em diferentes áreas científicas de conhecimento (FERREIRA, 2011).

A análise de fatores proposta por Charles Spearman, é uma outra técnica da estatística multivariada que é utilizada tanto no estudo de associações entre caracteres, quanto na identificação daqueles caracteres de maior importância na discriminação de genótipos.

No método, as muitas variáveis iniciais são substituídas por um número menor de variáveis latentes, chamadas fatores, onde cada fator corresponde a um grupo das

variáveis iniciais que estejam fortemente correlacionadas entre si, mas fracamente correlacionadas com as outras variáveis iniciais.

Posteriormente são feitas a rotação dos fatores sendo obtida uma matriz de cargas fatoriais. Valores maiores ou iguais a 0,6 e de sinal positivo indicam altas correlações entre os caracteres dentro de cada fator, sendo possível estabelecer grupos. Valores entre 0,5 e 0,6 não garantem nenhuma definição na formação de grupos e valores abaixo de 0,5 indicam a impossibilidade de formação de grupos (JOHNSON; WICHERN, 1992).

O processo é bem semelhante a análise de componentes principais, porém nesta, a análise é feita sem a rotação dos eixos, e na de fatores a análise é realizada após a rotação.

3. OBJETIVO GERAL

Com o trabalho objetivou-se identificar a existência de variabilidade genética e associações entre caracteres agronômicos e anatômicos em milho.

REFERÊNCIAS

ALLISON, J. C. S.; WATSON, D. J. The production and distribution of dry matter maize after flowering. **Annals of Botany**. v. 30, n.1, 1966, p.365-381.

APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. **Anatomia Vegetal**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2012, 438p.

BALDO, M. N. **Comportamento anatômico, fisiológico e agronômico do milho (Zea mays L.) submetido a estresses de ambiente em diferentes estádios fenológicos**. 2007, 92p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo “ESALQ”, Piracicaba, 2007.

BELOW, F. E.; CHRISTENSEN, L. E.; REED, A. J.; HAGEMAN, R. H. Availability of reduced N and carbohydrates for ear development of maize. **Plant Physiology**, v. 68, n.1, p. 1186-90, 1981.

BONAVIA, D. **Maize Origin, Domestication, and its Role in the Development of Culture**. Cambridge: Cambridge University Press, 2013, pp. 61-117.

BRACHTVOGEL, E. L.; PEREIRA, F. R. S.; CRUZ, S. C. S.; ABREU, M. L.; BICUDO, S. J. População, arranjo de plantas uniforme e a competição intraespecífica em milho. **Revista Trópica**, v.6, n.1, p.75-83, 2012.

CARVALHO, I. Q. **Espaçamento entre fileiras e população de plantas de milho**. 2007, 118p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa “UEPG”, Ponta Grossa, 2007.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. **Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação**. Piracicaba: Potafós, 1995. p. 1-9.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 1** - Safra 2013/14, n. 12 - Décimo Segundo Levantamento, Setembro/2014. Brasília: 2014, 127p.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 2** - Safra 2014/15, n. 10 - Décimo Levantamento, Julho/2015. Brasília: 2015, 108p.

CRUZ, P. J.; DE 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**, v.9, p.5-8, 2003.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 4 ed.** Viçosa: Editora UFV, 2012, 480p.

DA SILVA, S. C.; PEDREIRA, C. G. S. Princípios de ecologia aplicados ao manejo de pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DE PASTAGENS, 3., 1997, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: Funep, 1997. p. 1-12.

DA FONTOURA, D.; STANGARLIN, J. R.; TRAUTMANN, R. R.; SCHIRMER, R.; SCHWANTES, D. O.; ANDREOTTI, M. Influência da população de plantas na incidência de doenças de colmo em híbridos de milho na safrinha. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.28, n.1, p.545-551, 2006.

DEMÉTRIO, C. S. **Capacidade Combinatória de Linhagens de Milho Seleccionadas 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.; CRUZ, J. C.; GARCIA, J. C.; MATTOSO, M. J. **Economia da produção**. In: CRUZ, J. C. (Ed.). Cultivo do milho. 4. ed. Sete Lagoas: Empresa Milho e Sorgo, 2008. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de produção, 1). Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_4es/economia.htm>. Acesso em: 4 mar. 2015.

DUVICK, D. N. Continuous backcrossing to transfer prolificacy to a single-eared inbred line of maize., **Crop Science**, Madison, v. 14, n. 1, p. 69-71, 1974.

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

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo do milho**. 2007. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/index.htm>>. Acesso em: 30 ago. 2014.

ESAU, K. **Anatomy of seed plants. 2 ed.** New York: John Wiley, 1977. p.550.

FAO FAOSTAT. Disponível em: < <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E> >. Acesso em: 17 ago. 2015.

FEDERIZZI, L. C.; FANTINI, A. C.; DE CARVALHO, F. I. F. Efeito do acamamento artificial em alguns genótipos de trigo de porte alto e baixo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.24, n. 1, p.465-469, 1994.

FERREIRA, D. F. **Estatística multivariada – 2. Ed. Ver. e Ampl.** Lavras: Ed. UFLA, 2011. p.661.

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

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.

INSTITUTO FNP. **AGRIANUAL 2007: anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: Instituto FNP, 2007. 520p.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 3. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1992. 642p.

JONES, R. J.; SIMMONS, S. R. Effects of altered source sink relation on growth of maize kernels. **Crop Science**, v. 23, n.1, p.129-134, 1983.

LI, C. C. **Path analysis – a primer**. Boxwood: Pacific Grove, 1975. 346p.

MACKINNON, J. C. Energy allocation during growth of six maize hybrids in Nova Scotia. **Canadian Journal of Plant Science**. v. 59, n.1, p. 667-77, 1979.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; PAIVA, E. **Fisiologia da planta de milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1995. 27 p. (EMBRAPACNPMS. Circular Técnica, 20).

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

MANGELSDORF, P. C. **Corn: Its Origin, Evolution and Improvement**. Harvard: University Press, Cambridge, 1971. p. 1974.

PATERNIANI, E; VIÉGAS G. P. **Melhoramento e produção do milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 795p.

PINTHUS, M. J. Lodging in wheat, barley, and oats: the phenomenon, its causes, and preventive measure. **Advances in Agronomy**, v. 25, n.1, p. 209-263, 1973.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. A. B.; SOUZA, E. A.; GONÇALVES, F. M. A.; SOUZA, J. C. **Genética na agropecuária. 5ª. Ed.** Lavras: Editora UFLA, 2012. 565p.

RANDOLPH, L. F. History and origin of corn. II. Cytogenetic aspects of the origin and evolutionary history of corn. In: G. F. Sprague (Ed.). **Corn and corn improvement.** New York: Academic Press, 1955. p. 16-61.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal. 5.ed.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A., 1996. 728p.

STOKKE, D; WU, Q; HAN, G. **Introduction to Wood and Natural Fiber Composites.** Nova Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2013. 674p.

SWANK, J. C.; BELOW, F. E.; LAMBERT, R. J.; HÁGEMAN, R. H. Interaction of carbon and nitrogen metabolism in the productivity of maize. **Plant Physiology**, v.70, n.1, p.1185-90, 1982.

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.

TOLLENAAR, M. Sink source relationships during reproductive development in maize. A review. **Maydica**, v.22, n.1, p.49-75, 1977

TOLLENAAR, M; DAYNARD, T. B. Effect of defoliation on kernel development in maize. **Canadian Journal of Plant Science**, v.58, n.1, p.207-212, 1978.

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**, v. 27, n. 5, p. 849-858, 2003.

WEATHERWAX, P. History and origin of corn. I. Early history of corn and theories as to its origin. In: G. F. Sprague (Ed.). **Corn and corn improvement.** New York: Academic Press, 1955. p. 1-16.

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

WRIGHT, S. The theory of path coefficients – a replay to Niles' criticism. **Genetics**, Austin, v.8, p.239-255, 1923.

YAMAGUCHI, I. Varietal traits limiting the grain of tropical maize. IV. Plant Traits and productivity of tropical varieties. **Soil Science and Plant nutrition**, Tokyo, v.20, p. 287-304, 1974.

ZANATTA, A. C. A.; OERLECKE, D. Efeito de genes de nanismo sobre alguns caracteres agronômicos e morfológicos de *Triticum aestivum* (L.) Thell. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, p.1001-1016, 1991.

ZELITCH, I. The close relationship between net photosynthesis and crop yield. **BioScience**, v.32, p.796-802, 1982.

CAPÍTULO 2 – Associações entre caracteres agronômicos e anatômicos da raiz em milho

RESUMO- A seleção indireta entre caracteres altamente correlacionados é uma estratégia bastante utilizada dentro do melhoramento genético para identificação de genótipos com boas características agronômicas de maneira mais rápida e precisa. Sendo assim, objetivou-se quantificar as associações existentes entre os caracteres agronômicos e anatômicos da raiz em populações de milho, visando uma possível seleção indireta. Os caracteres agronômicos considerados foram altura da planta, altura de inserção da espiga, posição relativa da espiga, acamamento de planta, quebramento de planta e produtividade de grãos, e os caracteres anatômicos foram área total da raiz, área do cilindro central, espessura da epiderme, espessura da exoderme, espessura do parênquima cortical, espessura da endoderme, número de vasos do metaxilema, área do floema, espessura do córtex e área do metaxilema. Com a análise da correlação genotípica foram observadas associações significativas a nível de 1% de significância entre os caracteres anatômicos e agronômicos: espessura da endoderme e altura da planta, espessura da exoderme e quebramento da planta, e espessura da exoderme e produção de grãos. Na análise da correlação canônica foi revelada associação entre altura de plantas e área total da raiz, área do cilindro central, espessura da endoderme, espessura do córtex e espessura do parênquima cortical. Com os resultados observou-se a possibilidade de seleção indireta visando plantas mais altas ou baixas, e tolerantes ao acamamento e quebramento nos estágios mais precoces da planta através dos caracteres anatômicos da raiz, proporcionando uma seleção mais rápida e eficiente, uma vez que tais caracteres são menos influenciados pelo ambiente.

Palavras-chave: análise multivariada, correlação canônica, seleção indireta, *Zea mays* L.

INTRODUÇÃO

A raiz é o órgão da planta que está diretamente relacionada ao rendimento agrícola, pois, além de servir como meio de fixação ao solo, é responsável pela absorção de água e sais minerais, elementos essenciais para o seu desenvolvimento (LIEDGENS et al., 2000; HORN et al., 2006).

Diferente dos demais órgãos, a raiz não é formada por feixes vasculares. O xilema primário é formado por um maciço central, provido de projeções que se dirigem para a periferia do cilindro vascular, e o floema forma cordões que se alternam com as arestas do xilema, distribuídos próximos da periferia do cilindro vascular, internamente ao periciclo. Quando o xilema não ocupa todo o centro do cilindro vascular, forma-se uma medula parenquimática nesta região central, que pode vir a esclerificar-se nas regiões mais velhas da raiz (APPEZZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2012).

Com o objetivo de maximizar a eficiência nos programas de melhoramento, estudos de caracteres correlacionados vêm sendo desenvolvidos, possibilitando ao melhorista obter progressos mais rápidos através da seleção indireta de aspectos importantes para uma cultura agrícola (CARVALHO; LORENCETTI; BENIN, 2004).

Estudos de associação com os caracteres anatômicos da raiz do milho normalmente visam identificar a relação destes com condições específicas do solo, como regiões alagadas (MAGALHÃES et al., 2009), solos compactados (BERGAMIN et al., 2010), regiões sob estresse hídrico (CHIMUNGU et al., 2014) e solos com excesso de determinados elementos químicos (REDJALA et al., 2011), não sendo observado estudos de associação entre caracteres anatômicos e agronômicos da própria planta.

Caracteres como produção, acamamento e quebraimento de plantas, devido a sua herança genética quantitativa são fortemente influenciados pelo ambiente, diferente de alguns caracteres

anatômicos, a exemplo do sistema vascular das plantas que são específicos a cada acesso e pouco influenciados pelo meio (FERRER et al., 2004; PEREIRA et al., 2008).

Sendo assim, devido à rapidez, facilidade e baixo custo, com a ocorrência de correlação significativa, características anatômicas podem ser usadas como caracteres indiretos de seleção para os diferentes caracteres agronômicos da planta. Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de quantificar as associações existentes entre os caracteres agronômicos e anatômicos da raiz em populações sintéticas de milho, visando uma possível seleção indireta.

MATERIAL E MÉTODOS

Avaliação dos caracteres agronômicos

Foram utilizadas 13 populações sintéticas de milho da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (DI SALVO, 2011), as quais foram avaliadas em campo na safra 2009/2010 e safrinha de 2010 no município 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 na safra 2009/2010 (latitude de 17° 37' 59'' S, longitude de 47° 46' 42'' W, altitude de 877m), sendo considerada cada combinação local x época de semeadura um ambiente distinto, totalizando 3 ambientes.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com três repetições, sendo as parcelas compostas por quatro linhas de cinco metros, onde as duas linhas centrais foram consideradas a parcela útil. O espaçamento foi de 0,20 m entre plantas e de 0,90 m entre linhas, o que corresponde a uma população de aproximadamente 50 plantas por parcela.

Quando mais de 50% das plantas de cada parcela estavam liberando pólen foi realizado a medição de dez plantas por parcela dos caracteres agronômicos: altura da planta (AP, em cm): distância entre o solo e a folha bandeira; altura de inserção da espiga (AE, em cm): distância entre o solo e o ponto de inserção da espiga principal; posição relativa da espiga (PRE): relação

entre a altura de inserção da espiga e a altura da planta; acamamento (AC, em %): porcentagem de plantas com inclinação superior a 45° em relação à vertical ou deitada no solo na época da colheita e quebramento de planta (QP, em %): porcentagem de plantas quebradas abaixo da espiga principal.

Após a colheita, realizada também nas plantas acamadas, foi avaliada a produtividade de grãos (PG), obtida por meio da pesagem dos grãos de cada parcela, sendo feita a correção da umidade para 13% e convertendo-a para toneladas por hectare.

Avaliação dos caracteres anatômicos da raiz

As mesmas 13 populações foram semeadas na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP, em Jaboticabal-SP, no ano de 2014 sob sombrite em sacos de polietileno de 2 L, sendo utilizada uma mistura de substrato (Bioplant) e solo do tipo Latossolo Vermelho Eutrófico (EMBRAPA, 1999) na proporção 1:1. A semeadura foi realizada com três sementes por saco com desbaste posterior para uma planta.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com nove repetições, sendo cada saco plástico considerado uma parcela.

A coleta das raízes ocorreu quando as plantas atingiram o estágio de seis folhas (V6), sendo todo o solo removido dos sacos e as raízes lavadas em água corrente, e posteriormente cortadas na porção mediana da região de alongamento em tamanho de aproximadamente 0,5 cm, tendo a preocupação de coletar amostras idênticas de raiz para que a avaliação de caracteres anatômicos menos estáveis pudesse ser realizada.

Após a coleta, o material foi fixado em solução de formaldeído, ácido acético e etanol 50% (FAA 50) (JOHANSEN, 1940), em um volume correspondente a 10 vezes o volume das amostras, por um período de 48 hora, sendo posteriormente realizado a desidratação

dos tecidos através da bateria alcoólica descrita por Johansen (1940), e infiltração do material através da série etanol-xilólica na proporção de (1:1).

Posteriormente, o material foi transferido para formas de alumínio com parafina fundida, onde permaneceu em estufa a uma temperatura de 60°C por 12h, sendo feita a troca da parafina a cada 4 horas do material em estufa.

Os blocos de parafina foram montados utilizando pequenas caixas de papel já parafinadas, onde foi transferido o material das formas de alumínio para o centro das caixas na posição longitudinal, já devidamente etiquetadas.

Após completa solidificação dos blocos iniciou-se o seccionamento das fitas de parafina com o micrótomo de deslize na espessura de 12,5 μm . As lâminas obtidas repousaram em placa aquecedora a 40°C para distensão da fita, para uma melhor fixação dos cortes. Após confirmação da qualidade das lâminas no microscópio óptico, as lâminas foram imersas em xilol para retirada da parafina, sendo posteriormente reidratadas através da série etanol-xilólica (3:1), conforme descrito por Johansen (1940). Em seguida, as lâminas foram coradas com Azul de Toluidina (SAKAI, 1973) em capela de exaustão por um período de 2 min, sendo lavadas em seguida em água corrente e colocadas para secagem em temperatura ambiente. Para conservação das lâminas foi utilizada uma gota de Entellan para colocação da lamínula, deixando-as em repouso em temperatura ambiente até a secagem completa. As lâminas foram fotografadas com o auxílio de um microscópio óptico acoplado a uma câmera digital, sendo realizada uma foto por lâmina, e os parâmetros anatômicos da raiz foram avaliados com o auxílio do programa de análise Image Motic, calibrado com escala microscópica e fotografadas nos mesmos aumentos das fotografias.

Foi realizada a avaliação das seguintes características anatômicas da raiz: área total da raiz (ATR, em μm^2); área do cilindro central (ACC, em μm^2); espessura da epiderme (EEp, em

μm); espessura da exoderme (EEx, em μm); espessura do parênquima cortical (EPC, em μm); espessura da endoderme (EEn, em μm); número de vasos do metaxilema (NVM); área do floema (AFlo, em μm^2); espessura do córtex (ECo, em μm) e área do metaxilema (AM, em μm^2). Na espessura da epiderme, exoderme, parênquima cortical, endoderme e córtex foram realizadas quatro medições em regiões aleatórias da estrutura, o mesmo sendo feita com a área do floema e área do metaxilema, na qual foi realizada quatro medições para cada caráter para obtenção dos dados (Figura 1).

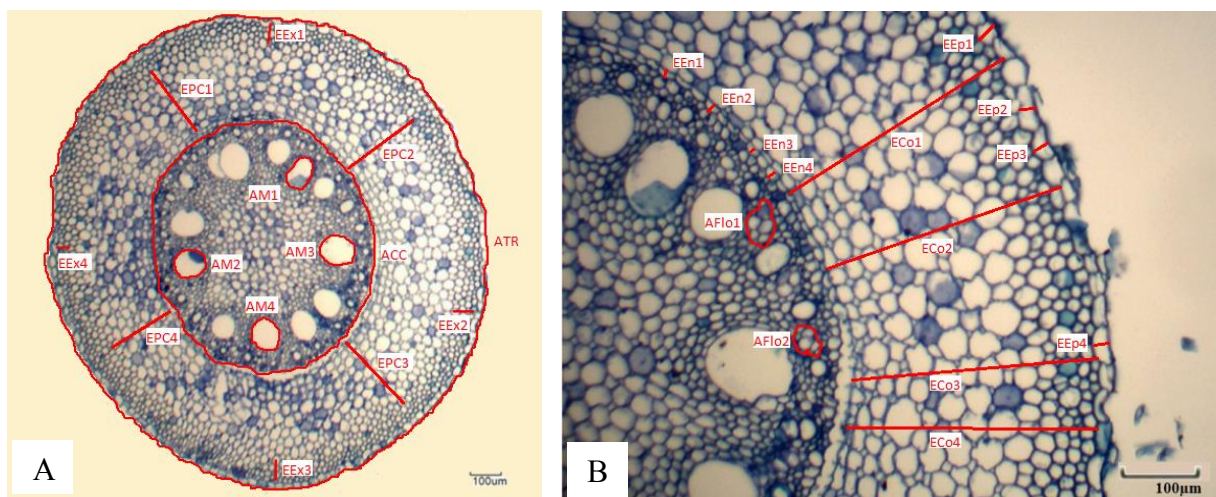


Figura 1. Detalhe de seções transversais da raiz de populações sintéticas de milho nas objetivas em que se identificam os órgãos mensurados: **A.** Área total da raiz (ATR), Área do cilindro central (ACC), Espessuras da exoderme (EEx1, EEx2, EEx3 e EEx4), Espessuras da parênquima cortical (EPC1, EPC2, EPC3 e EPC4), e Área do metaxilema (AM1, AM2, AM3 e AM4) no aumento de 4X; **B.** Espessura da epiderme (EEp1, EEp2, EEp3 e EEp4), Espessura do córtex (ECo1, ECo2, ECo3 e ECo4), Espessura da endoderme (EEn1, EEn2, EEn3 e EEn4), e Área do floema (AFlo1 e AFlo2) no aumento de 10X.

Análises Estatísticas

Após a avaliação dos caracteres agronômicos (G1) e anatômicos da raiz (G2), realizou-se a análise de variância conjunta e estimou-se os parâmetros genéticos de ambos os grupos (G1 e G2), além da análise de correlação linear genotípica.

Para verificação dos pressupostos da análise de variância (CRUZ et al., 2012), foi realizado também o estudo da multicolinearidade entre os todos os caracteres avaliados, da homogeneidade de variância pelo teste de Cochran e Bartlett (STEEL et al., 1997), e da normalidade pelo teste de Lilliefors (SPRENT; SMEETON, 2007). Os caracteres que não atendiam alguma das pressuposições foram transformados de acordo com a característica dos dados obtidos (CRUZ et al., 2012), sendo o caráter acamamento (AC) transformado para $\sqrt{(x)+1}$ e o caráter área do metaxilema transformado para $\text{Log}(x)+1$.

Para o estudo de associação entre os caracteres do G1 e G2 realizou-se a análise da correlação canônica, denotando as medidas dos caracteres agronômicos (variáveis do G1) e anatômicos (variáveis do G2), como vetores, reescrevendo posteriormente as variáveis como uma combinação linear U e V, visando com a correlação canônica determinar a combinação linear entre U e V de modo que a correlação $\text{Corr}(U,V)$ seja maximizada (CRUZ et al., 2012). Denotando-se as matrizes das correlações amostrais, a primeira correlação canônica (r_1), correspondente ao primeiro par canônico, foi a raiz quadrada do primeiro autovalor ($r_1=\sqrt{\lambda_1}$), e assim sucessivamente para as demais correlações canônicas. Como os coeficientes de ponderação dos pares canônicos são os autovetores associados aos respectivos autovalores, para testar a hipótese de nulidade da ausência de correlação entre as variáveis, empregou-se a estatística de qui-quadrado (CRUZ et al., 2012).

Todas as análises estatísticas foram realizadas com o programa computacional GENES (CRUZ, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise de variância conjunta dos caracteres agronômicos foi observado que os efeitos da interação genótipo x ambiente não apresentaram significância a nível de 5% (Tabela

1), o que indica que o comportamento relativo dos genótipos para as variáveis analisadas foi pouco influenciado pelas condições ambientais onde foram desenvolvidos os experimentos de campo.

Tabela 1. Quadrados médios e significâncias da análise de variância conjunta dos caracteres agronômicos de 13 populações de milho.

FV	GL	AP	AE	PRE	AC	QP	PG
Blocos / ambiente	6	85,85	50,40	0,01	0,88	63,49	1,05
Ambiente (A)	2	13418,01	3729,06	0,01	1,96	2734,01	39,78
Genótipo (G)	12	1387,67	845,68	0,01	3,44	72,92	3,75
Interação GxA	24	268,78 ^{ns}	149,65 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,63 ^{ns}	36,03 ^{ns}	0,26 ^{ns}
Média		205,65	118,19	0,58	2,07	7,04	3,97
Erro médio	72	167,99	93,53	0,01	0,72	22,51	0,20
CV%		6,30	8,18	9,78	40,96	67,37	11,22

AP: altura de plantas (em cm), AE: altura de espiga (em cm), PRE: posição relativa da espiga (em cm), AC: acamamento (dado transformado), QP: quebraamento de plantas (em %), PG: produtividade de grãos (em t ha⁻¹). ns: Não significativo a 5% pelo teste F.

Procurando aumentar a precisão da análise de correlação canônica com o uso da mesma quantidade de repetições para os dois grupos, como não foi observada interação genótipo x ambiente significativa na análise de variância conjunta dos caracteres agronômicos (Tabela 1), optou-se na realização de uma nova análise de variância, sendo desta vez considerada cada combinação de bloco e ambiente como uma repetição para os caracteres agronômicos, resultando em nove repetições também para este grupo, assim como nos caracteres anatômicos (Tabela 2).

Na fonte de variação populações para os caracteres agronômicos, foi observada diferença a 1% de significância para AC, QP, AP, AE e PG. Para os caracteres anatômicos de raiz, foi observada significância a 1% para ATR, ACC, EE_p, EE_x, EH, NVM, AFlo, ECo e AM, e ao nível de 5% de significância para EE_n (Tabela 2), indicando a existência de variabilidade no material estudado. O caráter PRE, por não ter apresentado diferença significativa entre as populações, foi eliminado das estimativas de parâmetros genéticos e análise da correlação canônica.

Tabela 2. Quadrados médios e significâncias dos caracteres agronômicos e anatômicos em 13 populações de milho.

FV	GL	Caracteres Agronômicos					
		AP	AE	PRE	AC	QP	PG
Blocos	8	3418,88	970,08	0,002	1,16	731,12	10,73
Populações	12	1387,73**	845,67**	0,003 ^{ns}	3,44**	72,92**	3,75**
Resíduo	96	202,54	112,13	0,003	0,70	30,24	0,21
Média		205,65	118,19	0,57	2,07	7,04	3,97
CV%		6,92	8,96	9,93	40,29	78,08	11,64
		Caracteres Anatômicos					
		ATR	ACC	EEp	EEx	EPC	
Blocos	8	4,8x10 ⁹	5,1x10 ⁸	19,75	637,73	6262,57	
Populações	12	2,9x10 ⁹ **	3,0x10 ⁸ **	42,57**	1112,01**	5936,13**	
Resíduo	96	8,5x10 ⁸	8,5x10 ⁷	5,21	183,15	1040,68	
Média		1,33x10 ⁵	4,0x10 ⁴	13,56	73,62	216,37	
CV%		21,94	23,12	16,83	18,38	14,91	
		Caracteres Anatômicos					
		EEn	NVM	AFlo	ECo	AM	
Blocos	8	6,96	20,44	2,4x10 ⁵	1,0x10 ⁴	0,06	
Populações	12	4,36*	15,88**	1,4x10 ⁵ **	8,0x10 ³ **	0,04**	
Resíduo	96	1,97	3,03	2,7x10 ⁴	1,5x10 ³	0,01	
Média		11,83	11,19	1198,59	286,49	4,93	
CV%		11,86	15,55	13,69	13,81	1,95	

AP: altura de plantas (em cm), AE: altura de espiga (em cm), PRE: posição relativa da espiga, AC: acamamento (dado transformado), QP: quebraimento de plantas (em %), PG: produtividade de grãos (em t ha⁻¹), ATR: área total da raiz (em μm^2), ACC: área do cilindro central (em μm^2), EEp: espessura da epiderme (em μm), EEx: espessura da exoderme (em μm), EPC: espessura da parênquima cortical (em μm), EEn: espessura da endoderme (em μm), NVM: número de vasos do metaxilema, AFlo: área do floema (em μm^2), Eco: Espessura do córtex (em μm), AM: Área do metaxilema (dado transformado). ns: Não significativo, * e **: Significativo a 5% e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Os altos valores dos coeficientes de variação (CV%) dos caracteres AC e QP já foram encontrados por outros autores, quando avaliaram tais caracteres por contagem de plantas (GOMES et al., 2010), algo que aconteceu neste trabalho. Ferreira et al. (2009) encontraram coeficientes de variação de 42% e 41,4% para porcentagem de plantas acamadas e quebradas, respectivamente. Marchão et al. (2005) encontraram coeficientes de variação de 176 e 107%, para plantas acamadas e 130 e 191% para plantas quebradas. Em relação aos valores dos coeficientes de variação dos caracteres anatômicos, apesar da ausência de trabalhos semelhantes na literatura para comparação, foi observado que os caracteres ATR e ACC apresentaram valores superiores a 20%, o que conforme Pimentel-Gomes (2009) seria uma alta variação em

experimentos agrícolas. Tal fato, porém tende a ser mais corriqueiros nas estruturas anatômicas devido a unidade de medida utilizado na medição desses caracteres (μm e μm^2), diferente das unidades utilizadas nos ensaios agrícolas.

Os valores de componentes quadráticos genotípicos foram superiores aos componentes de variância ambiental em nível de médias para todos os caracteres, indicando a existência de alta variabilidade genética nas populações, com exceção apenas para o caráter acamamento (AC), onde o componente quadrático genotípico foi inferior à variância ambiental (Tabela 3).

Tabela 3. Estimativas dos componentes quadráticos fenotípicos em nível de 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 em nível de 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 em 13 populações de milho.

Parâmetros	Caracteres Agronômicos				
	AP	AE	AC	QP	PG
ϕ_F	154,19	93,96	0,38	8,10	0,42
σ^2_{Ex}	22,50	12,46	0,78	3,36	0,02
ϕ_G	131,69	81,50	0,30	4,74	0,39
H^2	39,40	42,09	30,31	13,56	64,78
CV_g	5,58	7,64	26,57	30,92	15,79
CV_g/CV_e	0,81	0,85	0,66	0,40	1,36
	Caracteres Anatômicos				
	ATR	ACC	EEp	EEx	EPC
ϕ_F	$3,2 \times 10^8$	$3,3 \times 10^7$	4,73	123,54	659,57
σ^2_{Ex}	$9,5 \times 10^7$	$9,5 \times 10^6$	0,58	20,35	115,63
ϕ_G	$2,3 \times 10^8$	$2,3 \times 10^7$	4,15	103,19	543,94
H^2	21,33	21,51	44,36	36,04	34,33
CV_g	11,43	12,11	15,03	13,80	10,78
CV_g/CV_e	0,52	0,52	0,89	0,75	0,73
	Caracteres Anatômicos				
	EEn	NVM	AFlo	ECo	AM
ϕ_F	0,48	1,76	$1,5 \times 10^4$	889,01	$4,2 \times 10^{-3}$
σ^2_{Ex}	0,23	0,34	$3,0 \times 10^3$	174,04	$1,0 \times 10^{-3}$
ϕ_G	0,26	1,43	$1,2 \times 10^4$	714,97	$3,2 \times 10^{-3}$
H^2	11,90	32,03	31,48	31,34	25,59
CV_g	4,36	10,68	9,28	9,33	1,14
CV_g/CV_e	0,37	0,69	0,68	0,67	0,59

AP: altura de plantas (em cm), AE: altura de espiga (em cm), AC: acamamento (dado transformado), QP: quebraamento de plantas (em %), PG: produtividade de grãos (em t ha^{-1}), ATR: área total da raiz (em μm^2), ACC: área do cilindro central (em μm^2), EEp: espessura da epiderme (em μm), EEx: espessura da exoderme (em μm), EPC: espessura da parênquima cortical (em μm), EEn: espessura da endoderme (em μm), NVM: número de vasos do metaxilema, Aflo: área do floema (em μm^2), Eco: Espessura do córtex (em μm), AM: Área do metaxilema(dado transformado).

Os valores dos coeficientes de determinação genotípicos em nível de parcelas variaram de 13,56% (QP) a 64,78% (PG) para os caracteres agronômicos e de 11,90% (EEn) a 44,36% (EEp) para os anatômicos (Tabela 3), revelando que a seleção poderá ser realizada, com grande possibilidade de sucesso, para PG. Esse coeficiente representa a tendência de manutenção da superioridade fenotípica dos genótipos, nos diferentes ambientes avaliados e, quanto maior o coeficiente de determinação genotípica em nível de parcelas, menor a interferência da interação genótipo x parcela na população (LAVIOLA et al, 2014).

Quanto ao CVg, a maioria dos caracteres avaliados apresentou bom indicador do potencial genético, que conforme Rodrigues et al. (2011), deve ser superior a 7%, com exceção para os caracteres AP, EEn e AM, que apresentaram respectivamente 5,58%, 4,36% e 1,14% (Tabela 3).

Para a razão CVg/CVe, a PG foi o único caráter que apresentou razão superior a 1, condição favorável a seleção (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992), juntamente com o alto componente quadrático genotípico (Tabela 3).

Entre os caracteres agronômicos e anatômicos foram observadas correlações genotípicas significativas ao nível de 5% entre EEp e AC (0,62), EEx e AC (0,66), AM e AC (-0,67), AM e QP (-0,65), AM e PG (0,68), e ao nível de 1% entre EEn e AP (0,83), EEx e QP (0,82) e EEx e PG (-0,76), o que viabilizaria a seleção indireta em estágios precoces da planta, visando ganhos na PG e tolerância ao AC e QP. A correlação positiva entre EEx e AC, EEx e QP, e negativa entre EEx e PG indica que plantas com uma menor espessura da exoderme podem resultar em plantas mais tolerantes ao acamamento e quebramento e que apresentam maior produção de grãos. Este fato pode estar relacionado ao fato da exoderme, assim como a endoderme, além de ter como função a proteção contra a entrada de microrganismos, também ser responsável pela regulação da entrada de água e sais minerais para a planta, diminuindo a

passagem de água pelo apoplasto, espaços existentes entre as células, priorizando o fluxo de água via simplasto, através do citoplasma das células (RAVEN et al., 2007), o que pode retardar o uso desses elementos pela planta, deixando-as mais sensíveis e pouco produtivas.

Tabela 4. Estimativas de correlações genótípicas entre as variáveis obtidas das 13 populações sintéticas de milho.

	AP	AE	AC	QP	PG
ATR	0,57	0,43	-0,48	0,21	0,42
ACC	0,31	0,19	-0,59	0,15	0,45
EEp	0,14	0,06	0,62*	0,10	-0,17
EEx	-0,01	0,20	0,66*	0,82**	-0,76**
EPC	0,37	0,23	-0,39	-0,32	0,58
EEn	0,83**	0,59	-0,14	0,36	0,12
NVM	0,11	0,07	-0,30	0,11	0,41
AFlo	-0,11	-0,07	0,29	0,01	0,16
ACo	0,42	0,27	-0,51	-0,04	0,42
AM	-0,23	-0,56	-0,67*	-0,65*	0,68*

ATR: área total da raiz (em μm^2), ACC: área do cilindro central (em μm^2), EEp: espessura da epiderme (em μm), EEx: espessura da exoderme (em μm), EPC: espessura da parênquima cortical (em μm), EEn: espessura da endoderme (em μm), NVM: número de vasos do metaxilema, Aflo: área do floema (em μm^2), Eco: Espessura do córtex (em μm), AM: Área do metaxilema(em μm^2), AP: altura de plantas (em cm), AE: altura de inserção da espiga (em cm), AC: acamamento (em %), QP: quebraimento de plantas (em %), PG: produtividade de grãos (em t ha^{-1}), e *, **: significativo a 5% e 1%, pelo teste *t*, não sendo significativo os que não apresentam simbologia.

A associação positiva entre a área do metaxilema e a produção de grãos, e negativa entre a área do metaxilema e o acamamento provavelmente está ligada a função do xilema que é o transporte de água e minerais para a planta (STOKKE et al., 2013). Plantas com maior área de vaso do xilema possuem maior capacidade de fluxo de água, característica fundamental para uma planta saudável e produtiva.

A análise de correlações canônicas revelou efeitos significativos pelo teste de qui-quadrado para três dos cinco pares canônicos. Os coeficientes foram significativos para o 1.º, 2.º e 3.º par, indicando que a modificação no grupo dos caracteres anatômicos poderá causar influência sobre o grupo dos caracteres agrônômicos, podendo tanto um grupo quanto o outro serem considerados para seleção no melhoramento genético (Tabela 5).

Tabela 5. Correlações canônicas e pares canônicos estimados entre os componentes agronômicos do Grupo I: altura de plantas (AP), altura de espiga (AE), posição relativa da espiga (PRE), acamamento (AC), quebramento de plantas (QP) e produtividade de grãos (PG) e anatômicos da raiz do Grupo II: área total da raiz (ATR), área do cilindro central (ACC), espessura da epiderme (EEp), espessura da exoderme (EEx), espessura da parênquima cortical (EPC), espessura da endoderme (EEn), número de vasos do metaxilema (NVM), área do floema (AFlo), Espessura do córtex (ECo), Área do metaxilema (AM) em 13 populações sintéticas de milho.

Caracteres	Pares Canônicos				
	1.º	2.º	3.º	4.º	5.º
	Grupo I				
AP	1,666	1,695	1,996	-1,704	0,882
AE	-1,504	-0,718	-3,039	0,839	-1,239
AC	0,748	-1,256	-0,481	-0,015	0,643
QP	-0,896	-0,558	0,687	0,836	1,260
PG	0,247	-0,870	-0,895	1,255	1,098
	Grupo II				
ATR	4,142	-0,276	-0,096	-4,911	-0,529
ACC	-4,080	0,153	-1,290	4,576	-0,112
EEp	-0,081	-0,338	-0,171	2,053	-1,362
EEx	0,125	-0,291	0,683	-1,049	0,725
EPC	-0,370	0,020	-1,416	0,079	0,583
EEn	-0,829	0,504	-0,072	-1,461	2,166
NVM	0,609	0,148	1,019	-0,058	0,687
AFlo	-0,039	-0,318	-0,450	-0,556	1,197
ECo	-0,571	0,479	1,495	2,672	-1,296
AM	1,500	-0,021	1,093	-0,940	0,342
r	1,00*	1,00*	0,99*	0,87	0,65
GL	50	36	24	14	6

*Coeficientes de correlação significativos pelo teste qui-quadrado a 5% de probabilidade de erro tipo I.

O primeiro par canônico revelou relação positiva da AP com a ATR e negativa com a ACC, indicando que genótipos com maior área total da raiz e menor área do cilindro central poderão resultar em plantas maiores (Tabela 5), sendo útil tal característica para seleções indiretas cujo objetivo é alterar a altura de um genótipo de difícil colheita devido ao seu porte, mas que já possua boas características agronômicas para um genótipo comercial. Alguns trabalhos têm relatado que plantas com raízes mais finas tendem a se desenvolverem melhor que aquelas que possuem raízes mais grossas. Wahl et al., (2000) comentam que raízes com

grande quantidade de tecido morto como esclerênquima, apresentam alta densidade do tecido, o que dificulta na exploração dessas raízes no solo, concordando com descrito por Souza (2009) que comenta que raízes finas (até dois milímetros de diâmetro) são mais responsáveis pela absorção de água e nutrientes do que as mais grossas que tem a função mais ligada à fixação do solo. Silva et al. (2007) relatam que plantas com maior quantidade de raízes finas possuem maior desenvolvimento e são mais vigorosas, podendo resultar em maiores chances de sobrevivência.

O segundo par canônico (Tabela 5) revelou magnitude elevada e positiva da EEn e ECo sobre a AP, indicando que plantas com maior EEn e ECo podem proporcionar plantas com maior AP. A associação entre a espessura da endoderme e a altura da planta foi observada também na análise de correlação genotípica e pode estar relacionada com a regulação da água para o interior da planta. Já a relação entre a ECo sobre AP pode estar relacionada na eficiência na absorção de minerais importantes a planta, resultando em plantas mais altas. York et al., (2015), comparando a evolução anatômica da raiz de milho de variedades atuais em relação a genótipos de 100 anos atrás observaram que os atuais, comprovadamente mais eficientes na absorção de nitrogênio do solo, possuem o córtex celular maior, assim como uma menor quantidade de nódulos radiciais e ramificações laterais mais longas, afirmando a necessidade de novas pesquisas para compreensão de como estas propriedades das raízes podem afetar na absorção de nitrogênio, e em outros nutrientes, como o fósforo.

Na análise do terceiro par canônico (Tabela 5) foi observado relação negativa da EPC com a AP, indicando que plantas com menor espessura do parênquima cortical proporcionaria plantas mais altas. A menor EPC resulta em menor deslocamento da água entre a epiderme da raiz e os vasos condutores, facilitando a sua disponibilidade para planta, podendo assim influenciar positivamente no desenvolvimento da planta.

CONCLUSÕES

Com base nos parâmetros genéticos, o caráter produtividade de grãos apresentou grande variabilidade genética, indicando ser eficiente para seleção.

Através da análise da correlação genética observou-se a possibilidade de seleção indireta nos estágios mais precoce da planta para acamamento, quebramento, altura de plantas e produção de grãos através dos caracteres anatômicos espessura da epiderme, espessura da exoderme e área do metaxilema.

Na análise da correlação canônica foi observada a mesma possibilidade de seleção para altura de planta através dos caracteres área total da raiz, área do cilindro central, espessura do córtex e espessura do parênquima cortical, possibilitando seleção mais precisa para tais caracteres agrônômicos nos programas de melhoramento genético da espécie.

REFERÊNCIAS

- APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. Anatomia Vegetal. 3.ed. Viçosa: UFV, 2012, 438p.
- BERGAMIN, A. C.; VITORINO, A. C. T.; LEMPP, B.; SOUZA, C. M. A. de; SOUZA, F. R. de. Anatomia radicular de milho em solo compactado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 3, p. 299-305, 2010.
- CARVALHO, F. I. F.; LORENCETTI, C.; BENIN, G. **Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal**. Pelotas: UFPel, 2004. 142 p.
- CHIMUNGU, J. G.; BROWN, K.; LYNCH, J. Large root cortical cell size improves drought tolerance in maize (*Zea mays* L.). **Plant Physiology**, v. 166, n. 4, p.2166-2178, 2014.
- CRUZ, C. D. **Programa GENES: aplicativo computacional em genética e estatística**. Viçosa: UFV, 2006. 442 p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4 ed., Editora UFV, Viçosa, v. 1, 480p., 2012.

DI SALVO, F. **Obtenção de Variedades Sintéticas de Milho**. 2011. 28 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Genética e Melhoramento de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2011.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

FERREIRA, J. M.; MOREIRA, R.M.P.; HIDALGO, J.A.F. Capacidade combinatória e heterose em populações de milho crioulo. **Ciência Rural**, v.39, p.332-339, 2009.

FERRER, J. L. R.; CASTRO, E.M. de; ALVES, J.D.; ALEANCAR, M.A.; SILVA, S. da; VIEIRA, C.V.; MAGALHÃES, P.C. Efeito do cálcio sobre as características anatômicas de raízes de milho (*Zea mays* L.) "Saracura" BRS-4154 submetido ao alagamento em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.3, p.172-181, 2004.

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

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**, Viçosa, v.30, n.1, p.77-85, 2006.

JOHANSEN, D. A. 1940. **Plant microtechnique**. Mc Graw Hill, New York.

LAVIOLA, B. G.; SILVA, S. D. A.; JUHÁSZ, A. C. P.; ROCHA, R. B.; OLIVEIRA, R. J. P.; ALBRECHT, J. C.; ALVES, A. A.; ROSADO, T. B. Desempenho agrônomico e ganho genético pela seleção de pinhão-mansão em três regiões do Brasil. **Pesquisa Agropecuária do Brasil**, v.49, n.5, p.356-363, 2014.

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.

MAGALHAES, P. C.; SOUZA, T. C. de; PEREIRA, F. J.; CASTRO, E. M. de; PARENTONI, S. N. **Ciclos de seleção e modificações na anatomia radicular do milho Saracura sob**

alagamento. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 23 p., 2009 (EMBRAPA CNPMS. Boletim de Pesquisa e desenvolvimento, 14).

MARCHÃO, R. L.; BRASIL, E. M.; DUARTE, J. B.; GUIMARÃES, C. M.; GOMES, J. A. Densidade de plantas e características agronômicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35, p.93-101, 2005.

PEREIRA, F. J.; CASTRO, E. M. de; SOUZA, T. C. de; MAGALHÃES, P. C. Evolução da anatomia radicular do milho 'Saracura' em ciclos de seleção sucessivos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.1649-1656, 2008.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: ESALQ, 2009. 451 p.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. 7ª edição. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2007. 830p.

REDJALA, T.; ZELKO, I.; STERCKEMANA, T.; LEGUÉ, V.; LUX, A. Relationship between root structure and root cadmium uptake in maize. **Environmental and Experimental Botany**. v.71, n.2, p. 241–248, 2011.

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.

SAKAI, W. S. Simple method for differential staining of paraffin embedded plant material using toluidine blue **Stain technology Journal**, v. 43, p. 247-249, 1973.

SILVA, V. F.; OLIVEIRA, F. F.; SALCEDO, I. H. Comprimento e teores de N e P em raízes finas de pastagem, mata e reflorestamento In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. Anais... Gramado, 2007.

SOUZA, T. C. **Evolução das características morfoanatômicas nos ciclos de seleção do milho 'Saracura' sob encharcamento intermitente**. Lavras, MG: UFLA. 2009. 94p. Dissertação (Mestrado em agronomia) – Universidade Federal de Lavras, 2009.

SPRENT, P.; SMEETON, N. C. **Applied nonparametric statistical methods**. 4.ed. Boca Raton: Chapman & Hall, 2007. 530p.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J.H.; DICKEY, D. **A Principles and procedures of statistics: a biometrical approach.** New York: McGraw-Hill Book, 1997. 666p.

STOKKE, D; WU, Q; HAN, G. **Introduction to Wood and Natural Fiber Composites.** Nova Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2013. 674p.

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

WAHL, S.; RYSER, P.; EDWARDS, P. J. Root tissue structure is linked to ecological strategies of grasses. **New Phytologist**, Cambridge, v. 148, n. 3, p. 459-471, 2000.

YORK, L. M.; GALINDO-CASTANEDA, T.; SCHUSSLER, J. R.; LYNCH, J. P. Evolution of US maize (*Zea mays* L.) root architectural and anatomical phenes over the past 100 years corresponds to increased tolerance of nitrogen stress. **Journal of Experimental Botany**, v.66, n.8, p. 2347-2358, 2015.

CAPÍTULO 3 – Análise de fatores e correlações entre caracteres agronômicos e anatômicos do colmo de milho

RESUMO – No milho, o colmo pode está diretamente relacionado ao rendimento da planta, pois apresenta reserva de fotoassimilados que podem ser utilizados durante a formação da espiga. Devido a importância do estudo de associação dentro dos programas de melhoramento genético, objetivou-se com o trabalho quantificar as associações existentes entre caracteres agronômicos e anatômicos do colmo, visando uma possível seleção indireta. Os caracteres agronômicos considerados foram altura da planta, altura de inserção da espiga, posição relativa da espiga, acamamento, quebramento de planta e produtividade de grãos, e os caracteres anatômicos foram área do xilema, área do floema, área dos feixes vasculares e o número de feixes vasculares. Com a análise da correlação genotípica foram observadas associações significativas entre os caracteres anatômicos e agronômicos: área do floema e altura de planta, área de feixes vasculares e quebramento de plantas, número de feixes vasculares e altura de plantas, e número de feixes vasculares e altura de inserção da espiga. Na análise de fatores, o terceiro fator se apresentou fortemente associado aos caracteres número de feixes vasculares, altura da planta e altura de inserção da espiga. De acordo com a análise de correlação genotípica e de fatores, observamos a possibilidade de seleção indireta visando tolerância ao quebramento de plantas ou plantas mais altas ou baixas nos estágios mais precoces da planta. Esta associação pode proporcionar uma maior rapidez na seleção de genótipos, principalmente nos estágios iniciais do programa de melhoramento onde a quantidade de genótipos administrados é grande.

Palavras-chave: análise multivariada, correlação genotípica, seleção indireta, *Zea mays* L.

INTRODUÇÃO

O colmo é o órgão da planta que realiza a integração de raízes e folhas, tanto do ponto de vista estrutural como funcional e, no milho, serve também como órgão de reserva de fotoassimilados que podem ser translocados para a espiga (BARROS; CALADO, 2014). A estrutura do colmo também está associada a caracteres que interferem negativamente no rendimento da planta. Estudos têm revelado que em torno de 50 a 80% da tolerância da planta ao acamamento está atribuída à parede do colmo (estrutura e composição) e 20 a 50% ao seu interior (CLONINGER et al., 1970; ZUBER et al., 1980).

De acordo com ESAU (2013), a zona cortical do colmo da planta de milho é estreita e pouco diferenciada do cilindro central, sendo composta por parênquima clorofiliano, espaços intracelulares amplos e região periférica rica em tecido de sustentação. No entanto, o sistema vascular medular é mais desenvolvido que na zona cortical, com feixes condutores duplos e colaterais. Em cada feixe, o floema é localizado no lado externo do caule e o xilema na zona mais interna, apresentando o xilema primário, e ao contrário da raiz, apresenta crescimento centrífugo com o metaxilema voltado para o exterior do colmo e o protoxilema para o interior. O esclerênquima, tecido de suporte e sustentação da planta, no colmo está presente em torno dos feixes condutores, podendo também surgir em pequenas porções nas regiões menos resistentes do caule (APPEZZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2012).

Estudos relacionados as características morfoanatômicos do colmo de milho são escassos e na sua maioria estão relacionados a nutrição animal com o objetivo de compreender a qualidade da forrageira com a quantificação de tecidos de baixa digestibilidade como xilema e esclerênquima (BEZERRA et al., 2011).

O conhecimento da associação entre os diferentes caracteres da planta é de grande importância nos trabalhos de melhoramento, principalmente se a seleção de um determinado

caráter apresenta dificuldades, em razão da baixa herdabilidade, e ou tenha problemas de mensuração como a necessidade de ambientes específicos ou tempo de espera para avaliação muito longa, a exemplo de caracteres que se expressam apenas no final do ciclo da cultura (CRUZ et al., 2012).

Dentro da estatística multivariada a análise de fatores tem se prestado muito bem, tanto no estudo de associações entre caracteres, quanto na identificação daqueles caracteres de maior importância na discriminação de genótipos. Por esta metodologia é feita a rotação dos fatores sendo obtida uma matriz de cargas fatoriais. Valores maiores ou iguais a 0,6 e de sinal positivo indicam altas correlações entre os caracteres dentro de cada fator, sendo possível estabelecer grupos. Valores entre 0,5 e 0,6 não garantem nenhuma definição na formação de grupos e valores abaixo de 0,5 indicam a impossibilidade de formação de grupos (JOHNSON; WICHERN, 1992).

Sendo assim, objetivou-se quantificar a associação dos caracteres agronômicos e anatômicos do colmo, bem como identificar os de maior importância na discriminação de genótipos de milho, procedimento importante na condução de bancos de germoplasma e registro de cultivares.

MATERIAL E MÉTODOS

Avaliação dos caracteres agronômicos

O experimento de campo foi conduzido nos municípios de Jaboticabal - SP (latitude de 21° 15' 17'' S, longitude de 48° 19' 20'' W, altitude de 605m) na safra 2009/2010 e safrinha de 2010, e em Campo Alegre de Goiás-GO (latitude de 17° 37' 59'' S, longitude de 47° 46' 42'' W, altitude de 877m) na safra 2009/2010.

Foram utilizadas 13 populações sintéticas de milho obtidas na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (DI SALVO, 2011), sendo considerada cada combinação local x época de semeadura um ambiente distinto, resultando em 3 ambientes.

O delineamento experimental adotado foi o blocos ao acaso com três repetições e parcelas com quatro linhas de cinco metros, sendo as duas linhas centrais consideradas a parcela útil. O espaçamento foi de 0,90 entre linhas e 0,20 m entre plantas, totalizando uma população de aproximadamente 50 plantas por parcela.

A caracterização agrônômica foi efetuada quando mais de 50% das plantas por parcela se encontravam liberando pólen, sendo avaliado em dez plantas por parcela os caracteres: altura da planta (AP, em cm): distância entre o solo e a folha bandeira (folha mais jovem da planta); altura de inserção da espiga (AE, em cm): distância entre o solo e o ponto de inserção da espiga principal; posição relativa da espiga (PRE): relação entre a altura de inserção da espiga e a altura da planta, acamamento (AC, em %): porcentagem de plantas com inclinação superior a 45° em relação à vertical ou deitada no solo na época da colheita e quebramento de planta (QP, em %): porcentagem de plantas quebradas abaixo da espiga principal.

A produtividade de grãos (PG) foi avaliada após a colheita, sendo também realizada nas camas acamadas, por meio da pesagem dos grãos de cada parcela, com correção da umidade para 13% e convertido posteriormente para toneladas por hectare.

Avaliação dos caracteres anatômicos do colmo

As 13 populações avaliadas quanto aos caracteres agrônômicos foram replantadas na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP, em Jaboticabal-SP, no ano de 2014 para avaliação dos caracteres anatômicos.

O plantio foi sob sombrite, em sacos de polietileno de 2L, utilizando como substrato uma mistura de substrato industrial (Bioplant) e solo do tipo Latossolo Vermelho Eutrófico

(EMBRAPA, 1999) na proporção 1:1, com semeadura de três sementes por saco e posterior desbaste para uma planta.

O delineamento experimental foi o blocos casualizados, com nove repetições, sendo cada planta considerada uma parcela.

Quando as plantas se encontravam no estágio de seis folhas (V6) foi feita a coleta do do material, sendo as amostras cortadas na base do colmo na espessura de aproximadamente 0,5 cm, e fixadas na solução de formaldeído, ácido acético e etanol 50% (FAA 50) (JOHANSEN, 1940), em um volume correspondente a 10 vezes o volume das amostras, por um período de 48 horas.

Posteriormente, para a remoção da água existente nos tecidos, foi utilizada a bateria alcoólica descrita por Johansen (1940), sendo logo em seguida feita a infiltração do material através da série etanol-xilólica na proporção de (1:1).

Após o procedimento, o material foi transferido para formas de alumínio com parafina fundida, onde permaneceu em estufa a uma temperatura de 60°C por 12h, sendo realizadas trocas da parafina a cada 4 horas de permanência na estufa.

Posteriormente foram montados blocos de parafina utilizando pequenas caixas de papel já parafinadas, onde foi transferido o material das formas de alumínio para o centro das caixas na posição longitudinal, já devidamente etiquetadas.

Os blocos ficaram em temperatura ambiente até sua completa solidificação, sendo no dia seguinte iniciado o seccionamento das fitas de parafina com o micrótomo de deslize na espessura de 12,5 µm. As lâminas permaneceram por um período de aproximadamente 10 minutos em placa aquecedora a 40°C para distensão da fita, o que permitiu uma melhor fixação dos cortes.

Com o auxílio de um microscópio óptico foi observado o padrão das lâminas obtidas, sendo as de melhor qualidade desparafinadas em xilol e posteriormente reidratadas através da série etanol-xilólica na proporção 3:1, conforme descrito por Johansen (1940). Em capela de exaustão, as lâminas foram coradas com Azul de Toluidina (SAKAI, 1973) por um período de 2 min, lavadas em água corrente e colocadas para secagem em temperatura ambiente. Para conservação das lâminas, foi utilizada uma gota de Entellan para colocação da lamínula, deixando-as em repouso até secagem completa. Com o auxílio de um microscópio óptico acoplado a uma câmera digital, as lâminas foram fotografadas, sendo realizada uma foto por lâmina, e posteriormente foram avaliados os parâmetros anatômicos do colmo com o auxílio do programa de análise Image Motic, calibrado com escala microscópica e fotografadas nos mesmos aumentos das fotografias.

Os caracteres anatômicos do colmo avaliados foram: área das células condutoras do xilema (AX, em μm^2); área do floema (AF, em μm^2); área média dos feixes vasculares (AFV, em μm^2) e número de feixes vasculares (NFV) em uma área circular de 600 μm de raio, na região central do colmo, sendo avaliado quatro estruturas do mesmo caráter por lâmina (Figura 1).

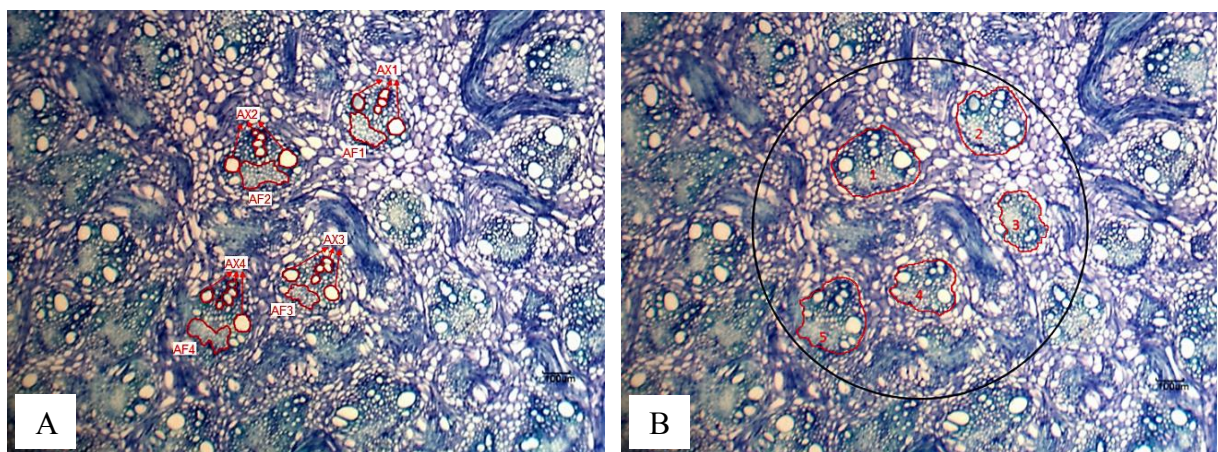


Figura 1. Detalhe de secções transversais do colmo de populações sintéticas de milho, em que se identificam os órgãos mensurados: **A.** Área das células condutoras do xilema (AX1, AX2, AX3 e AX4) e Área do floema (AF1, AF2, AF3 e AF4); **B.** Área dos feixes vasculares e número de feixes vasculares em uma área circular de 600 μm de raio, na região central do colmo no aumento de 4X.

Análises estatísticas

Após a coleta dos dados foi feita análise de variância conjunta, a estimativa dos parâmetros genéticos de todos os caracteres, e a análise dos coeficientes de correlação genotípica (STEEL et al., 1997).

Realizou-se também, para verificação dos pressupostos da análise de variância, o estudo da multicolinearidade entre os caracteres (CRUZ et al., 2012), a homogeneidade de variância pelo teste de Cochran e Bartlett (STEEL et al., 1997), e a avaliação dos pressupostos de normalidade pelo teste de Lilliefors (SPRENT; SMEETON, 2007), sendo transformados os caracteres que não atendiam alguma das pressuposições (CRUZ et al., 2012). Os caracteres acamamento (AC) e número de feixes vasculares (NFV) foram transformados para $\sqrt{(x)+1}$ e os caracteres área do xilema e área do floema transformados para $\text{Log}(x)+1$.

Para a análise de fatores, o modelo utilizado foi: $X_j = l_{j1}F_1 + l_{j2}F_2 + \dots + l_{jm}F_m + \varepsilon_j$ no qual X_j é a j-ésima variável estimada em cada parcela, com $j=1,2,\dots,v$, l_{jk} é a carga fatorial para a j-ésima variável associada ao k-ésimo fator, sendo $k=1,2,\dots,m$, F_k é o k-ésimo fator comum, ε_j é o fator específico (CRUZ, 2006).

Foi escolhido um número de fatores comuns, igual ao número de autovalores superiores à unidade existentes na matriz de correlações fenotípicas das variáveis e optou-se pelo modelo de fatores ortogonais (CASTOLDI, 1997; ABREU, 1997). A carga fatorial inicial é: $l_{ij} = \lambda_i V_{ij}^2$, sendo λ_i o i-ésimo autovalor maior que 1 obtido da matriz de correlações fenotípicas e V_{ij} o j-ésimo valor do i-ésimo vetor, sendo j o número de variáveis e k o número de fatores. A comunalidade representa-se por: $C_j = l_{j1}^2 + l_{j2}^2 + \dots + l_{jm}^2$. Após o cálculo das cargas fatoriais iniciais, os fatores foram submetidos a um máximo de 50 rotações pelo método Varimax, para obtenção das cargas fatoriais finais (CRUZ, 2006).

Todas as análises estatísticas com o programa computacional GENES (CRUZ, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da análise de variância conjunta dos dados obtidos não foi possível a observação de interação genótipo x ambiente a nível de 5% de significância para os caracteres avaliados (Tabela 1), indicando a pouca influência dos ambientes experimentais no comportamento relativo dos genótipos para as variáveis analisadas, característica que dentro de um programa de melhoramento possibilitaria uma recomendação uniforme para todos os locais, sem prejuízo considerável na produção, facilitando a recomendação de cultivares para as regiões estudadas (CRUZ et al., 2012).

Tabela 1. Quadrados médios e significâncias da análise de variância conjunta dos caracteres agronômicos de 13 populações de milho.

FV	GL	AP	AE	PRE	AC	QP	PG
Blocos / ambiente	6	85,85	50,40	0,01	0,88	63,49	1,05
Ambiente (A)	2	13418,01	3729,06	0,01	1,96	2734,01	39,78
Genótipo (G)	12	1387,67	845,68	0,01	3,44	72,92	3,75
Interação GxA	24	268,78 ^{ns}	149,65 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,63 ^{ns}	36,03 ^{ns}	0,26 ^{ns}
Média		205,65	118,19	0,58	2,07	7,04	3,97
Erro médio	72	167,99	93,53	0,01	0,72	22,51	0,20
CV%		6,30	8,18	9,78	40,96	67,37	11,22

AP: altura de plantas (em cm), AE: altura de espiga (em cm), PRE: posição relativa da espiga (em cm), AC: acamamento (dado transformado), QP: quebraamento de plantas (em %), PG: produtividade de grãos (em t ha⁻¹). ns: Não significativo a 5% pelo teste F.

Como não houve interação genótipo x ambiente significativa na análise de variância conjunta dos caracteres agronômicos, com o objetivo de aumentar a precisão da análise de fatores com a utilização do mesmo número de repetições tanto para os caracteres agronômicos quanto para os agrônômicos, optou-se na realização de uma nova análise de variância conjunta utilizando como repetição cada combinação de bloco e ambiente, o que resultou em nove repetições também para os caracteres agronômicos (Tabela 2).

Tabela 2. Quadrados médios e significância da análise de variância dos caracteres agronômicos e anatômicos em 13 populações de milho.

FV	GL	Caracteres Anatômicos					
		AX	AF	AFV	NFV		
Blocos	8		0,05	0,04	0,04	5,69	
Populações	12		0,07**	0,06**	0,09**	8,64**	
Resíduo	96		0,01	0,01	0,01	1,61	
Média			3,93	3,91	4,65	6,09	
CV%			2,50	2,03	1,64	20,84	
		Caracteres Agronômicos					
		AP	AE	PRE	AC	QP	PG
Blocos	8	3418,88	970,08	0,002	1,16	731,12	10,73
Populações	12	1387,73**	845,67**	0,003 ^{ns}	3,44**	72,92**	3,75**
Resíduo	96	202,54	112,13	0,003	0,70	30,24	0,21
Média		205,65	118,19	0,570	2,07	7,04	3,97
CV%		6,92	8,96	9,930	40,29	78,08	11,64

AFV: área média de feixes vasculares (em μm^2), NFV: número médio de feixes vasculares, AP: altura de plantas (em cm), AE: altura de espiga (em cm), PRE: posição relativa da espiga, AC: acamamento (em %), QP: quebraimento de plantas (em %), PG: produtividade de grãos (em t ha^{-1}). ns: Não significativo, **: Significativo a 1% pelo teste F.

Foi observada diferença a 1% de significância para a grande maioria dos caracteres anatômicos e agronômicos avaliados, indicando alta variabilidade da população estudada para tais caracteres, com exceção apenas para PRE, sendo este eliminado das estimativas de parâmetros e análise de fatores (Tabela 2).

Os caracteres AC e QP apresentaram altos coeficientes de variação (CV%), algo já observado por outros autores quando avaliaram tais caracteres por contagem de plantas (GOMES et al., 2010), entre eles o trabalho desenvolvido por Marchão et al. (2005) que encontraram coeficientes de variação variando de 176 a 107% para plantas acamadas e de 130 a 191% para as quebradas, e o de Ferreira et al. (2009) que encontraram coeficientes de variação de 42% para percentagem de plantas acamadas e 41,4% para a de quebradas. Dentro dos caracteres anatômicos foi observado baixos coeficientes de variação, com exceção apenas para o NFV que foi de 20,84%, o que conforme Pimentel-Gomes (2009), se enquadraria em uma variação mediana para experimentos agrícolas.

A maioria dos componentes quadráticos genotípicos foram superiores aos componentes de variância ambiental em nível de médias indicando a existência de grande variabilidade genética nas populações, com exceção apenas para o caráter AC, onde o componente quadrático genotípico foi inferior à variância ambiental (Tabela 3).

Os valores dos coeficientes de determinação genotípicos em nível de parcelas variaram de 13,56% (QP) a 64,78% (PG), para os caracteres agronômicos, e de 32,64% (NFV) a 61,43% (AFV) para os anatômicos (Tabela 3), revelando que a seleção poderá ser realizada, com boa possibilidade de sucesso, para PG (CRUZ et al., 2012).

Tabela 3. Estimativas dos componentes quadráticos fenotípicos em nível de 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 em nível de 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 em 13 populações de milho.

Parâmetros	Caracteres Agronômicos				
	AP	AE	AC	QP	PG
ϕ_F	154,19	93,96	0,38	8,10	0,42
σ^2_{Ex}	22,50	12,46	0,78	3,36	0,02
ϕ_G	131,69	81,50	0,30	4,74	0,39
H^2	39,40	42,09	30,31	13,56	64,78
CV_g	5,58	7,64	26,57	30,92	15,79
CV_g/CV_e	0,81	0,85	0,66	0,40	1,36
Parâmetros	Caracteres Anatômicos				
	AX	AF	AFV	NFV	
ϕ_F	0,008	0,007	0,010	0,96	
σ^2_{Ex}	0,001	0,001	0,001	0,18	
ϕ_G	0,007	0,006	0,010	0,78	
H^2	41,31	50,04	61,43	32,64	
CV_g	2,10	2,03	2,07	14,51	
CV_g/CV_e	0,84	1,00	1,26	0,70	

AP: altura de plantas (em cm), AE: altura de espiga (em cm), PRE: posição relativa da espiga (em cm), AC: acamamento (em %), QP: quebramento de plantas (em %), PG: produtividade de grãos (em t ha⁻¹), AX: área média do xilema (em μm^2), AF: área média do floema (em μm^2), AFV: área média de feixes vasculares (em μm^2), NFV: número médio de feixes vasculares.

Quanto ao coeficiente de variação genética dos caracteres anatômicos, apenas o NFV apresentou valor favorável, que conforme Rodrigues et al. (2011), no Brasil, deve ser superior

a 7%. Já entre os caracteres agronômicos, a maioria apresentou bom indicador do potencial genético, com exceção apenas para o caráter AP, que apresentou valor de 5,58%.

Para a razão CVg / CVe , os caracteres AFV e PG foram os mais favoráveis para seleção, apresentando uma razão superior a 1, condição favorável para seleção, juntamente com o alto componente quadrático genotípico (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

Entre os caracteres agronômicos e anatômicos foi observada correlação genotípica a 5% de significância entre AF e AP (0,63) e NFV e AE (-0,67), e a 1% de significância entre NFV e AP (-0,73), AX e QP (0,71) e AFV e QP (0,91), o que viabilizaria a seleção indireta em estágios mais precoces da planta para altura e tolerância ao quebramento de plantas. A relação positiva entre AX e QP, e AFV e QP está provavelmente no fato de que o aumento da área dos tecidos de condução de xilema e do floema poder interferir negativamente na área dos tecidos de suporte e de proteção presentes nos feixes vasculares (CAMPBELL; REECE, 2005), resultando em plantas menos tolerantes ao quebramento do colmo. Já a relação inversa entre o NFV e AE, e NFV e AP se deu provavelmente pelo fato de quanto maior é o número de feixes vasculares, menor é a área desses feixes, interferindo no fluxo de água e fotoassimilados pelo colmo, resultando em plantas menos desenvolvidas.

Tabela 4. Estimativas de correlações genotípicas entre as variáveis obtidas das 13 populações sintéticas de milho.

Carac.	AP	AE	AC	QP	PG
AX	0,50	0,37	-0,07	0,71**	0,08
AF	0,63*	0,44	0,19	0,50	-0,09
AFV	0,55	0,50	0,54	0,91**	-0,41
NFV	-0,73**	-0,67*	0,13	-0,51	-0,18

AX: área média do xilema (em μm^2), AF: área média do floema (em μm^2), AFV: área média de feixes vasculares (em μm^2), NFV: número médio de feixes vasculares, AP: altura de plantas (em cm), AE: altura de espiga (em cm), PRE: posição relativa da espiga (em cm), AC: acamamento (em %), QP: quebramento de plantas (em %), PG: produtividade de grãos (em t ha^{-1}).

Na análise de fatores, foi verificado que são necessários apenas dois fatores para explicar mais de 70% da variação total (Tabela 5), porém nenhum dos dois fatores se encontravam relacionados concomitantemente com os caracteres agronômicos e anatômicos do colmo

(Tabela 6), sendo feita análise de mais um fator conforme o roteiro descrito por Jonhson e Wichern (1992), na qual o fator apresentava relação para ambos os grupos de caracteres.

Tabela 5. Total da variância explicada por cada fator baseada em 9 diferentes caracteres em 13 populações de milho.

Fator	% da variação	% acumulada
1	52,975	52,975
2	22,920	75,896
3	12,688	88,584
4	4,783	93,367
5	3,525	96,892
6	2,358	99,25
7	0,379	99,629
8	0,226	99,854
9	0,146	100,000

Para efeito de interpretação, apenas os valores das cargas fatoriais finais acima de 0,60 foram considerados importantes, indicando cada valor à contribuição do caráter em relação ao fator (Tabela 6).

Tabela 6. Cargas fatoriais iniciais, comunalidades iniciais e cargas fatoriais após rotação, estimadas nos caracteres avaliados em 13 populações de milho.

	Cargas Fatoriais iniciais			Comunalidades iniciais	Cargas Fatoriais após rotação		
	FAFV	FPROD	FALT		FAFV	FPROD	FALT
AX	0,716	-0,489	0,383	0,979	0,888	-0,107	-0,178
AF	0,745	-0,419	0,293	0,925	0,885	0,063	-0,311
AFV	0,858	-0,128	0,476	0,979	0,891	0,346	-0,200
NFV	-0,658	0,528	0,295	0,817	-0,513	0,259	0,694
AP	0,836	-0,042	-0,492	0,946	0,266	0,163	-0,918
AE	0,829	0,170	-0,521	0,987	0,134	0,321	-0,914
AC	0,518	0,754	0,127	0,914	0,066	0,931	-0,205
QP	0,838	0,346	-0,043	0,981	0,296	0,526	-0,513
PG	-0,419	-0,796	-0,254	0,875	-0,035	-0,921	0,024

Após a análise, foi feita a identificação dos fatores, sendo observado que o primeiro fator está relacionado com a área dos feixes vasculares, apresentando as maiores cargas fatoriais finais para este caráter e àqueles diretamente a ele relacionados (AX e a AF), sendo chamado Fator Área dos Feixes Vasculares (FAFV). O segundo fator foi o mais influenciado pela

produção da planta, apresentando cargas fatoriais finais mais elevadas para o acamamento de planta e a produtividade estimada de grãos, sendo chamado Fator Produção (FPROD).

O fator 3 se mostrou fortemente associado aos caracteres número de feixes vasculares (0,694), altura da planta (-0,918) e altura da espiga (-0,914), sendo denominado de fator Altura (FALT) (Tabela 6), havendo diferença de direção do caráter NFV em relação a AP e AE, o que indica que quanto menor for o número de feixes vasculares maior será a altura da planta e de inserção da espiga, fato este também observado na análise de correlação genotípica (Tabela 4). Estudos de associações entre os feixes vasculares e caracteres ligados à produtividade da planta são bastante escassos, porém, na cultura do milho, a associação inversa entre o NFV e a AP deve ter se dado pelo fato da grande quantidade de feixes vasculares proporcionar em menor área desses feixes, e na menor concentração de tecidos de sustentação (CAMPBELL; REECE, 2005), estruturas fundamentais no desenvolvimento e sustentação da planta.

CONCLUSÕES

O caráter produtividade de grãos apresentou grande variabilidade genética, sendo indicado na seleção de genótipos superiores.

Com base na análise das correlações genotípicas, a altura da planta, altura de inserção da espiga e o quebramento de plantas são relacionados com os caracteres anatômicos área do floema, número de feixes vasculares, área de feixes vasculares e área do xilema, indicando a possibilidade de seleção indireta dos caracteres agrônômicos através dos anatômicos.

De acordo com a análise de fatores, apenas dois fatores são necessários para explicar mais de 70% da variação total da população, podendo tais fatores serem utilizados na distinção de genótipos pertencentes a um programa de melhoramento genético.

Ainda em relação a análise de fatores, a alta associação entre aos caracteres número de feixes vasculares, altura da planta e altura da espiga possibilita uma possível seleção indireta através dos caracteres anatômicos do colmo, visando genótipos tolerantes ao quebraimento do colmo ou plantas mais altas ou baixas nos estágios mais precoces da planta.

REFERÊNCIAS

ABREU, V. M. N. **Estudo da capacidade de combinação de linhagens de matrizes de frango de corte, utilizando técnicas uni e multivariadas.** 1997. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. *Anatomia Vegetal.* 3.ed. Viçosa: UFV, 2012, 438p.

BARROS, J. F. C.; CALADO, J. G. **A Cultura Do Milho.** Évora: Portugal, 2014. Disponível em: <<http://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/10804>>. Acesso em 01 de novembro de 2015

BEZERRA, J. D. C.; SANTOS, I. A. S.; ALMEIDA, G. A. P.; PEREIRA, M. S.; FIGUEIREDO-LIMA, D. F.; FERREIRA, G. D. G. Morfoanatomia do Colmo de Milheto (IPA BULK 1 BF) sob Condições de Irrigação no Agreste Pernambucano. **Revista Científica de Produção Animal**, v.13, n.1, p.38-42, 2011.

CAMPBELL, N. A.; REECE, J. B. *Photosynthesis.* **Biology.** 7.ed. San Francisco: Benjamin Cummings, 2005.

CASTOLDI, F. L. **Comparação de métodos multivariados aplicados na seleção em milho.** 1997. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

CLONINGER, F. D.; ZUBER, M. S.; HORROCKS, R. D. Methods of evaluating stalk quality in corn. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 60, p. 295-300, 1970.

CRUZ, C. D. **Programa GENES: aplicativo computacional em genética e estatística.** Viçosa: UFV, 2006. 442 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4 ed., Editora UFV, Viçosa, v. 1, 480p., 2012.

DI SALVO, F. **Obtenção de Variedades Sintéticas de Milho**. 2011. 28 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Genética e Melhoramento de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2011.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes**. 21.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2013, 296 p.

FERREIRA, F. M. **Diversidade em populações simuladas com base em locos multialélicos**. Viçosa, MG: UFV. 2007. 177p. Tese (Doutorado em genética e melhoramento)- Universidade Federal de Viçosa, 2007.

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 em milho tropical. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.2, p.140-145, 2010.

JOHANSEN, D. A. 1940. **Plant microtechnique**. Mc Graw Hill, New York.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 3. ed. New Jersey: Prantice Hall, 1992. 642p.

MARCHÃO, R.L.; BRASIL, E.M.; DUARTE, J.B.; GUIMARÃES. C.M.; GOMES, J. A. Densidade de plantas e características agrônômicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35, p.93-101, 2005.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: ESALQ, 2009. 451 p.

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.

SAKAI, W. S. Simple method for differential staining of paraffin embedded plant material using toluidine blue **Stain technology Journal**, v. 43, p. 247-249, 1973.

SPRENT, P.; SMEETON, N. C. **Applied nonparametric statistical methods**. 4.ed. Boca Raton: Chapman & Hall, 2007. 530p.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H.; DICKEY, D. **A Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. New York: McGraw-Hill Book, 1997. 666p.

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

ZUBER, M. S.; COLBERT, T. R.; DARRAH, L. L. Effect of recurrent selection for crushing strength on several stalk components in maize. **Crop Science**, Madison, v. 20, p. 711-717, 1980.

CAPÍTULO 4 – Análise de trilha e correlações entre caracteres agronômicos e anatômicos da folha de milho

RESUMO – Diversos estudos de análise de correlação vêm sendo realizados visando à seleção indireta de caracteres de importância agrícola nas diferentes culturas. No milho, a folha está diretamente relacionada à acumulação de matéria seca nos grãos, estando assim intimamente ligada à produção da planta. Com o trabalho objetivou-se verificar a existência de correlação entre caracteres agronômicos e anatômicos da folha em milho, bem como verificar os efeitos desses caracteres na produção de grãos pela análise de trilhas. Os caracteres agronômicos utilizados para análise foram: altura da planta, altura de inserção da espiga, posição relativa da espiga, acamamento, quebramento de planta e produtividade de grãos. Os caracteres anatômicos avaliados foram: área total da folha, espessura das células buliformes, espessura da epiderme adaxial, espessura da epiderme abaxial, espessura do mesofilo, área do xilema, área do floema, área do esclerênquima e área média dos feixes vasculares. Na análise da correlação genotípica foram observadas associações significativas a 1% de significância entre os caracteres espessura do mesofilo e altura de plantas, espessura do mesofilo e altura de inserção da espiga, e espessura do mesofilo e quebramento de planta, indicando a possibilidade de seleção indireta para altura de plantas e tolerância ao quebramento através da espessura do mesofilo nos estágios mais precoces da planta. Na análise de trilha observou-se que os caracteres agronômicos acamamento e quebramento e anatômicos espessura da epiderme adaxial, área do xilema e área do esclerênquima foram os que apresentaram maior efeito direto sobre a produção de grãos em milho, indicando a possibilidade de seleção indireta também para o rendimento da planta. Tais resultados podem proporcionar maior rapidez na seleção de genótipos superiores dentro dos diferentes programas de melhoramento da espécie.

Palavras-chave: correlação genotípica, efeitos diretos, seleção indireta, *Zea mays* L.

INTRODUÇÃO

A folha do milho está diretamente associada à produtividade da planta, uma vez que é responsável pela atividade metabólica do carbono e do nitrogênio, resultando na acumulação de matéria seca nos grãos (BELOW et al., 1981; SWANK et al., 1982). Sendo assim, fatores como a espessura da epiderme e lâmina foliar, influenciam diretamente na capacidade fotossintética da planta (MARENCO et al., 2014).

Localizado entre a epiderme da página superior e inferior das folhas, o mesofilo é composto principalmente de parênquima clorofiliano e caracteriza-se pela presença de cloroplastos e por um grande volume de espaços intercelulares responsáveis pelo transporte de gases para o exterior da planta. A nervura é composta pelos feixes condutores e tecidos de suporte responsáveis pela sustentação da folha. Os feixes condutores são duplos e colaterais com o xilema voltado para a página superior e o floema virado para a página inferior, não apresentando ramificações e câmbio entre os vasos nas monocotiledôneas (APEZZATO-DAGLÓRIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2012).

Diversos programas de melhoramento genético estão investindo em estudos de associações entre caracteres com o objetivo de maximizar a eficiência na seleção de indivíduos superiores através da seleção indireta de caracteres correlacionados. Estes estudos também podem proporcionar a seleção simultânea de vários caracteres, seleção de caracteres de baixa herdabilidade e com problemas de mensuração pela necessidade de ambientes específicos ou pelo tempo de espera para avaliação muito longo, a exemplo de caracteres que se expressam apenas no final do ciclo da cultura (FALCONER; MACKAY, 1996).

Trabalhos de associações entre caracteres anatômicos e agrônômicos da planta, na sua maioria são ligados a tolerância a pragas e doenças (MARQUES et al., 2010; MARTINS et al.,

2012) e adaptação a condições adversas ambientais (BERGAMIN et al., 2010; SOUZA et al., 2010).

Dentro dos métodos de análise multivariada que visam estudar a associação entre caracteres, a análise de trilha é bastante utilizada na estimativa dos efeitos diretos e indiretos de caracteres sobre uma variável básica, cujas estimativas são obtidas por meio de equações de regressão, em que as variáveis básicas são previamente padronizadas.

Apesar da correlação ser uma característica intrínseca a dois caracteres em dada condição experimental, na análise de trilha sua decomposição depende do conjunto de caracteres estudados, que normalmente são avaliados pelo conhecimento prévio do pesquisador de suas importâncias e de possíveis inter-relações (CRUZ et al., 2012).

Sendo assim, objetivou-se com o trabalho verificar a associação entre caracteres anatômicos da folha e agronômicos em milho, visando seleção indireta, bem como o efeito desses caracteres na produtividade, pela correlação linear genética e análise de trilha.

MATERIAL E MÉTODOS

Avaliação dos caracteres agronômicos

O trabalho foi conduzido em campo na safra 2009 / 2010 e safrinha de 2010 no município 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 na safra 2009 / 2010 (latitude de 17° 37' 59'' S, longitude de 47° 46' 42'' W, altitude de 877m), sendo considerada cada combinação local x época de semeadura um ambiente distinto, resultando em 3 ambientes.

Foram utilizadas 13 populações sintéticas de milho obtidas na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista, conforme descrito por Di Salvo (2011).

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com três repetições e parcelas com quatro linhas de cinco metros, sendo as duas linhas centrais consideradas como parcela útil. O espaçamento foi de 0,20 m entre plantas e de 0,90 m entre linhas, o que corresponde a uma população de aproximadamente 50 plantas por parcela.

As avaliações foram iniciadas quando a maioria das plantas de cada parcela liberavam pólen. Os caracteres agronômicos avaliados no campo foram: altura da planta (AP, em cm): distância entre o solo e a folha bandeira (folha mais jovem da planta); altura de inserção da espiga (AE, em cm): distância entre o solo e o ponto de inserção da espiga principal; posição relativa da espiga (PRE): relação entre a altura de inserção da espiga; altura da planta, acamamento (AC, em %): porcentagem de plantas com inclinação superior a 45° em relação à vertical ou deitada no solo na época da colheita e quebramento de planta (QP, em %): porcentagem de plantas quebradas abaixo da espiga principal.

A produtividade de grãos (PG, em kg/ha) foi obtida por meio da pesagem dos grãos de cada parcela após a colheita do material, realizada também nas plantas acamadas, sendo feita posteriormente a correção da umidade para 13% e convertendo-a para toneladas por hectare.

Avaliação dos caracteres anatômicos da folha

As populações sintéticas avaliadas em campo foram replantadas na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP, em Jaboticabal-SP, no ano de 2014 sob sombrite em sacos de polietileno de 2 L, sendo utilizado três sementes por saco, com desbaste posterior para uma planta, e como substrato uma mistura de substrato industrial (Bioplant) e solo do tipo Latossolo Vermelho Eutrófico (EMBRAPA, 1999) na proporção 1:1.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com nove repetições, sendo cada planta considerada uma parcela.

As folhas foram coletadas quando as plantas atingiram o estágio de seis folhas (V6), sendo a 3ª. folha mais nova de cada planta cortada na região mediana pegando a nervura central em tamanho de aproximadamente 0,5 cm², e fixada na solução de formaldeído, ácido acético e etanol 50% (FAA 50) (JOHANSEN, 1940), em um volume correspondente a 10 vezes o volume das amostras, por um período de 48 horas.

Em seguida, foi utilizada a bateria alcoólica descrita por Johansen (1940) para a remoção da água existente nos tecidos, sendo posteriormente feita a infiltração deste material através da série etanol-xilólica na proporção de (1:1).

O material foi transferido para formas de alumínio com parafina fundida, onde permaneceu em estufa a uma temperatura de 60°C por 12h, sendo realizadas a troca da parafina a cada 4 horas de permanência do material na estufa.

Posteriormente, foram montados os blocos de parafina utilizando pequenas caixas de papel já parafinadas, onde foi transferido o material das formas de alumínio para o centro das caixas já devidamente etiquetadas na posição longitudinal.

Os blocos ficaram em temperatura ambiente até sua completa solidificação, sendo no dia seguinte iniciado o seccionamento das fitas de parafina com o micrótomo de deslize na espessura de 12,5 µm. As lâminas obtidas repousaram em placa aquecedora a 40°C para distensão da fita, o que permitiu uma melhor fixação dos cortes. Após confirmação da qualidade das lâminas no microscópio óptico, as lâminas foram desparafinadas com xilol e reidratadas através da série etanol-xilólica (3:1), conforme descrito por Johansen (1940).

As lâminas foram coradas com Toluidina (SAKAI, 1973) em capela de exaustão por um período de 2 minutos, sendo lavadas em seguida em água corrente e colocadas para secagem em temperatura ambiente. Utilizou-se lamínulas com uma gota de Entellan para conservação das laminas obtidas, sendo iniciada as avaliações após secagem completa das laminas. Para

avaliação dos caracteres, os materiais foram fotografados com uma câmara digital acoplada a um microscópio óptico, sendo realizada uma foto por lâmina. As estruturas anatômicas foram mensuradas com o auxílio do programa de análise Image Motic, calibrado com escala microscópica e fotografadas nos mesmos aumentos das fotografias.

Os caracteres anatômicos avaliados foram: espessura das células buliformes (ECB, em μm); espessura da epiderme adaxial (EAd, em μm); espessura da epiderme abaxial (EAb, em μm); espessura do mesofilo (EMe, em μm); área dos vasos condutores do xilema (AXi, em μm^2); área do floema (AFlo, em μm^2); área do esclerênquima (AEsc, em μm^2) e área do feixe vascular (AFV, em μm^2). Na espessura da epiderme adaxial, abaxial e mesofilo foram realizadas quatro medições em regiões aleatórias da lâmina. Na área dos vasos condutores do xilema, área do floema, área do esclerênquima e área do feixe vascular a medição foi feita no feixe vascular mais desenvolvido.

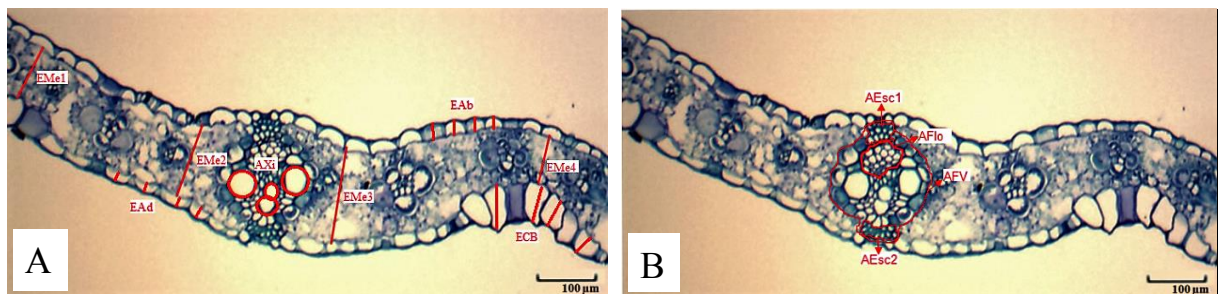


Figura 1. Detalhe de secções transversais da folha de populações sintéticas de milho em que se identificam os órgãos mensurados: **A.** Espessura da epiderme abaxial (EAb), Espessura da epiderme adaxial (EAd), Espessura das células buliformes (ECB), Espessura do mesofilo (EMe1, EMe2, EMe3 e EMe4) e Área dos vasos condutores do xilema (AXi); **B.** Área do esclerênquima (AEsc1 e AEsc2), Área do floema (AFlo) e Área do feixe vascular (AFV).

Análises estatísticas

Com os dados dos caracteres agronômicos e anatômicos obtidos realizou-se a análise de variância, a estimativa dos parâmetros genéticos e a análise de variância conjunta para observação dos efeitos da interação genótipo x ambiente para os caracteres agronômicos avaliados.

Estudo da multicolinearidade entre os caracteres de cada grupo (CRUZ et al., 2012), homogeneidade de variância pelo teste de Cochran e Bartlett (STEEL et al., 1997), e avaliação da normalidade pelo teste de Lilliefors (SPRENT; SMEETON, 2007) também foram efetuados para verificação dos pressupostos da análise de variância. Os caracteres que não atendiam alguma das pressuposições foram transformados de acordo com a característica dos dados obtidos (CRUZ et al., 2012), sendo o caráter acamamento (AC) transformado para $\sqrt{(x)+1}$ e o caráter área do xilema (AXi) transformado para $\text{Log}(x)+1$.

Para avaliação da associação do caráter PG com os demais caracteres agrônômicos e anatômicos foi realizado a análise de trilha através do desdobramento dos efeitos diretos e indiretos, conforme descrito por Cruz et al. (2012).

Todas as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa computacional GENES (CRUZ, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na análise de variância conjunta observou-se que os efeitos da interação genótipo x ambiente não foram significativos ao nível de 5% para os caracteres agrônômicos avaliados (Tabela 1), indicando que o comportamento relativo dos genótipos foi muito pouco influenciado pelas condições ambientais onde foram desenvolvidos os experimentos.

Tabela 1. Quadrados médios e significâncias da análise de variância conjunta dos caracteres agrônômicos de 13 populações de milho.

FV	GL	AP	AE	PRE	AC	QP	PG
Blocos / ambiente	6	85,85	50,40	0,01	0,88	63,49	1,05
Ambiente (A)	2	13418,01	3729,06	0,01	1,96	2734,01	39,78
Genótipo (G)	12	1387,67	845,68	0,01	3,44	72,92	3,75
Interação GxA	24	268,78 ^{ns}	149,65 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,63 ^{ns}	36,03 ^{ns}	0,26 ^{ns}
Média		205,65	118,19	0,58	2,07	7,04	3,97
Erro médio	72	167,99	93,53	0,01	0,72	22,51	0,20
CV%		6,30	8,18	9,78	40,96	67,37	11,22

AP: altura de plantas (em cm), AE: altura de espiga (em cm), PRE: posição relativa da espiga (em cm), AC: acamamento (dado transformado), QP: quebração de plantas (em %), PG: produtividade de grãos (em t ha⁻¹). ns: Não significativo a 5% pelo teste F.

A não significância da interação genótipo x ambiente para os caracteres avaliados facilita a recomendação de cultivares para as regiões estudadas (CRUZ et al., 2012), pois não haveria alta variação do rendimento dos genótipos dentro dos locais em questão.

Com o objetivo de aumentar a precisão da análise de trilha utilizando o mesmo número de repetições tanto para os caracteres agronômicos quanto anatômicos, como não houve interação genótipo x ambiente na análise de variância conjunta para os caracteres agronômicos (Tabela 1), optou-se na realização de uma nova análise de variância onde cada combinação de bloco e ambiente representou uma repetição, resultando também para os caracteres agronômicos em nove repetições, assim como nos caracteres anatômicos (Tabela 2).

Tabela 2. Quadrados médios e significâncias dos caracteres agronômicos e anatômicos em 13 populações de milho.

FV	GL	Caracteres Agronômicos							
		AP	AE	PRE	AC	QP	PG		
Blocos	8	3,4x10 ³	970,08	0,002	1,16	731,12	10,73		
Populações	12	1,4x10 ³ **	845,67**	0,003 ^{ns}	3,44**	72,92**	3,75**		
Resíduo	96	202,54	112,13	0,003	0,70	30,24	0,21		
Média		205,65	118,19	0,57	2,07	7,04	3,97		
CV%		6,92	8,96	9,93	40,29	78,08	11,64		
		Caracteres Anatômicos							
		ECB	EAd	EAb	EMe	AXi	AFlo	AEsc	AFV
Blocos	8	404,03	57,62	90,53	534,76	0,047	5,0x10 ⁵	1,8x10 ⁶	3,4x10 ⁷
Populações	12	280,35**	80,28**	169,92**	533,02**	0,037**	6,8x10 ⁵ **	1,6x10 ⁶ **	3,4x10 ⁷ **
Resíduo	96	70,49	13,56	18,40	92,23	0,006	1,2x10 ⁵	4,0x10 ⁵	5,0x10 ⁶
Média		46,18	21,94	25,05	94,55	4,49	1,5x10 ³	2,5x10 ³	1,6x10 ⁴
CV%		18,18	16,79	17,12	10,16	1,75	22,42	25,18	13,95

AP: altura de plantas (em cm), AE: altura de espiga (em cm), PRE: posição relativa da espiga, AC: acamamento (dados transformados), QP: quebraamento de plantas (em %), PG: produtividade de grãos (em t ha⁻¹), ECB: espessura das células buliformes (em μm), EAd: espessura da epiderme adaxial (em μm), EAb: espessura da epiderme abaxial (em μm), EMe: espessura do mesofilo (em μm), AXi: área das células condutoras do xilema (em μm^2), AFlo: área do Floema (em μm^2), AEsc: área do esclerênquima (em μm^2), AFV: área média dos feixes vasculares (em μm^2). ns: Não significativo, **: Significativo a 1% pelo teste F.

A fonte de variação populações apresentou diferença significativa de 1% para todos os caracteres agronômicos e anatômicos da folha, comprovando a variabilidade das populações quanto aos caracteres estudados, com exceção apenas para o caráter PRE, que por não ter apresentado diferenças significativas entre as populações, foi eliminado das estimativas de parâmetros e análise de trilha (Tabela 2).

Entre os caracteres agronômicos, o acamamento e o quebramento de plantas apresentaram altos coeficientes de variação (CV%), que conforme Pimentel-Gomes (2009) são aqueles que apresentam valores superiores a 20%, porém outros autores têm apresentado este fato para tais caracteres, principalmente quando os dados são obtidos com base na contagem de plantas (GOMES et al., 2010), a exemplo de Marchão et al. (2005) que apresentaram coeficientes de variação entre 107 e 176 % para plantas acamadas e entre 130 e 191% para quebradas e Ferreira et al. (2009) que encontraram coeficientes de variação de 42% para plantas acamadas e 41,4% para quebradas. Para os caracteres anatômicos, apesar da ausência de trabalhos semelhantes na literatura para comparação, foi observado que a maioria dos coeficientes de variações foram medianos, que conforme Pimentel-Gomes (2009) são aqueles com valores entre 10 e 20%, com exceção da AXi, que obteve variação baixa e da AFlo e AEsc que obtiveram valores altos. O alto coeficiente de variação das estruturas anatômicas já era esperado devido a unidade de medida utilizada neste tipo de avaliação ser diferente dos ensaios agrícolas de campo, nos quais a avaliação da estimativa é indicada.

A maioria dos componentes quadráticos genotípicos foram superiores aos componentes de variância ambiental em nível de médias, indicando alta variabilidade genética nas populações, com exceção para AC, AEsc e AFV, onde os componentes quadráticos genotípicos foram inferiores à variância ambiental (Tabela 3).

Os coeficientes de determinação genotípicos em nível de parcelas variaram de 13,56% (QP) a 64,78% (PG), para os caracteres agronômicos, e de 24,66% a 47,77% para os anatômicos (Tabela 3), demonstrando possibilidade de seleção para PG (CRUZ et al., 2012).

Em relação aos coeficientes de variação genética (CVg) a maioria dos caracteres agronômicos e anatômicos apresentaram bons indicadores, que conforme Rodrigues et al.

(2011), em milho, nas condições brasileiras, devem ser superiores a 7%, com exceção para os caracteres AP e AXi que foram inferiores (Tabela 3).

Tabela 3. 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 em níveis de 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 em 13 populações de milho.

Parâmetros	Caracteres Agronômicos							
	AP	AE	AC	QP	PG			
ϕ_F	154,19	93,96	0,38	8,10	0,42			
σ^2_{Ex}	22,50	12,46	0,78	3,36	0,02			
ϕ_G	131,69	81,50	0,30	4,74	0,39			
H^2	39,40	42,09	30,31	13,56	64,78			
CV_g	5,58	7,64	26,57	30,92	15,79			
CV_g/CV_e	0,81	0,85	0,66	0,40	1,36			
Parâmetros	Caracteres Anatômicos							
	ECB	EAd	EAb	EMe	AXi	AFlo	AEsc	AFV
ϕ_F	31,15	8,92	18,88	59,22	0,004	$7,5 \times 10^4$	$1,7 \times 10^5$	$3,9 \times 10^6$
σ^2_{Ex}	7,83	1,51	2,04	10,25	0,001	$1,3 \times 10^4$	$4,4 \times 10^4$	$5,6 \times 10^5$
ϕ_G	23,32	7,41	16,83	48,98	0,003	$6,2 \times 10^4$	$1,3 \times 10^5$	$3,4 \times 10^6$
H^2	24,86	35,35	47,77	34,69	35,54	33,60	24,66	40,16
CV_g	10,46	12,41	16,38	7,40	1,30	15,95	14,41	11,43
CV_g/CV_e	0,58	0,74	0,96	0,73	0,74	0,71	0,57	0,82

AP: altura de plantas (em cm), AE: altura de espiga (em cm), PRE: posição relativa da espiga (em cm), AC: acamamento (em %), QP: quebramento de plantas (em %), PG: produtividade de grãos (em t ha⁻¹), ECB: espessura das células buliformes (em μm), EAd: espessura da epiderme adaxial (em μm), EAb: espessura da epiderme abaxial (em μm), EMe: espessura do mesofilo (em μm), AXi: área das células condutoras do xilema (em μm^2), Aflo: área do floema (em μm^2), AEsc: área do esclerênquima (em μm^2), AFV: área média dos feixes vasculares (em μm^2).

Com base na relação CV_g/CV_e , o caráter PG foi o único que apresentou razão superior a 1 (Tabela 3), condição favorável para a prática de seleção, juntamente com o alto valor do componente quadrático genotípico (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

A correlação genotípica entre os caracteres agronômicos e anatômicos foi significativa a nível de 5% de significância entre ECB e AC (0,63), EAd e AC (0,62), EAd e PG (-0,62), EAb e PG (-0,69), AEsc e AC (-0,60) e AEsc e QP (-0,69) (Tabela 4). A correlação negativa entre EAd e PG e EAb e PG indica que a seleção de plantas com menor espessura da epiderme

pode proporcionar um aumento na produtividade da planta, o que possibilitaria a seleção indireta para PG através dos caracteres anatômicos EAd e EAb.

Tabela 4. Estimativas de correlações genotípicas entre as variáveis obtidas das 13 populações sintéticas de milho.

Caract.	ECB	EAd	EAb	EMe	AXi	AFlo	AEsc	AFV
AP	0,26	0,39	-0,04	0,81**	0,40	-0,01	-0,36	0,46
AE	0,30	0,46	0,20	0,77**	0,22	-0,16	-0,45	0,37
AC	0,63*	0,62*	0,56	0,48	0,23	-0,13	-0,60*	0,27
QP	0,47	0,56	0,56	0,85**	0,21	-0,24	-0,69*	0,16
PG	-0,53	-0,62*	-0,69*	-0,42	-0,02	0,06	0,56	-0,15

ECB: espessura das células buliformes (em μm), EAd: espessura da epiderme adaxial (em μm), EAb: espessura da epiderme abaxial (em μm), EMe: espessura do mesofilo (em μm), AXi: área das células condutoras do xilema (em μm^2), AFlo: área do Floema (em μm^2), AEsc: área do esclerênquima (em μm^2), AFV: área média dos feixes vasculares (em μm^2), AP: altura de plantas (em cm), AE: altura de espiga (em cm), PRE: posição relativa da espiga (em cm), AC: acamamento (em %), QP: quebraamento de plantas (em %), PG: produtividade de grãos (em t ha^{-1}), e *, **: significativo a 5% e 1% respectivamente, pelo teste *t*, não sendo significativo os que não apresentam simbologia

A espessura do mesofilo, apesar de não ter apresentado associação direta com a produção de grãos, se correlacionou com caracteres agrônômicos importantes para variedades comerciais (AP, AE e QP). Alterações na espessura do mesofilo podem influenciar na quantidade ou qualidade das substâncias produzidas, interferindo diretamente na produtividade das culturas (CASTRO et al., 2009), uma vez que entre os tecidos que compõem o mesofilo está o parênquima clorofiliano, que contém células com quantidade abundante de cloroplastos e espaços intercelulares, responsável pela realização da fotossíntese, e que conta com a presença de substâncias nutritivas, as quais permitem o metabolismo vital às plantas. Queiroz-Voltan et al. (2011) constataram que variações no mesofilo podem interferir potencialmente na capacidade fotossintética e na produtividade dos frutos de videira.

Na análise de trilha (Tabela 5), constatou-se elevado grau de multicolinearidade entre os caracteres na matriz de correlação fenotípica das variáveis explicativas (MONTGOMERY; PECK, 1982). Sendo assim, 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.

Tabela 5. Estimativa dos efeitos diretos e indiretos dos caracteres espessura das células buliformes (ECB), espessura da epiderme adaxial (EAd), espessura da epiderme abaxial (EAb), espessura do mesofilo (EMe), área do xilema (AXi), área do Floema (AFlo), área do esclerênquima (AEsc), área média dos feixes vasculares (AFV), altura de plantas (AP), altura de espiga (AE), posição relativa da espiga (PRE), acamamento (AC) e quebramento de plantas (QP) sobre o caráter produtividade de grãos (PG).

	ECB	EAd	EAb	EMe	AXi	AFlo
Efeito direto sobre PG	-0,014	-0,379	-0,169	-0,117	0,371	-0,214
Indireto via ECB		-0,009	-0,011	-0,001	-0,008	-0,003
Indireto via EAd	-0,243		-0,202	-0,164	-0,171	0,010
Indireto via EAb	-0,127	-0,090		0,017	-0,015	0,041
Indireto via EMe	-0,007	-0,051	0,012		-0,033	-0,046
Indireto via AXi	0,209	0,168	0,032	0,105		0,176
Indireto via AFlo	-0,044	0,005	0,052	-0,085	-0,102	
Indireto via AEsc	0,000	0,049	0,078	0,074	-0,139	-0,145
Indireto via AFV	0,108	0,121	0,023	0,107	0,164	0,110
Indireto via AP	0,035	0,058	-0,007	0,122	0,059	-0,005
Indireto via AE	0,020	0,032	0,015	0,055	0,016	-0,012
Indireto via AC	-0,241	-0,261	-0,244	-0,200	-0,094	0,046
Indireto via QP	-0,169	-0,201	-0,223	-0,296	-0,099	0,079
TOTAL (Corr Pearson)	-0,472	-0,572	-0,650	-0,387	-0,037	0,028
	AEsc	AFV	AP	AE	AC	QP
Efeito direto sobre PG	-0,311	0,206	0,186	0,087	-0,531	-0,526
Indireto via ECB	0,000	-0,007	-0,003	-0,003	-0,006	-0,005
Indireto via EAd	0,060	-0,224	-0,119	-0,138	-0,186	-0,144
Indireto via EAb	0,043	-0,019	0,007	-0,030	-0,078	-0,072
Indireto via EMe	0,028	-0,061	-0,077	-0,074	-0,044	-0,066
Indireto via AXi	0,166	0,296	0,118	0,068	0,066	0,070
Indireto via AFlo	-0,100	-0,115	0,006	0,029	0,018	0,032
Indireto via AEsc		-0,141	0,091	0,110	0,152	0,185
Indireto via AFV	0,093		0,079	0,064	0,046	0,030
Indireto via AP	-0,054	0,072		0,175	0,058	0,128
Indireto via AE	-0,031	0,027	0,082		0,037	0,067
Indireto via AC	0,259	-0,118	-0,166	-0,227		-0,281
Indireto via QP	0,312	-0,078	-0,363	-0,408	-0,278	
TOTAL (Corr Pearson)	0,452	-0,155	-0,153	-0,346	-0,768	-0,601
Coeficiente de determinação					0,85	
Efeito da variável Residual					0,38	
Valor de k usado na análise					0,04	

O resultado da análise de trilha de PG em razão das variáveis explicativas ECB, EAd, EAb, EMe, AXi, AFlo, AEsc, AFV, AP, AE, AC e QP está apresentado na Tabela 5, com valor de k de 0,04. O coeficiente de determinação do modelo de análise de trilha (R^2) foi igual a 0,85,

caracterizando que 85% 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 superiores ao efeito da variável residual (0,38) para os caracteres AC (-0,531) e QP (-0,526) e muito próximos para a EAd (-0,379), AXi (0,371) e AEsc (-0,311) indicando que o aumento na PG está diretamente relacionado aos efeitos destas variáveis. Desse modo, é possível concluir que tais variáveis são as principais determinantes da PG, viabilizando a seleção indireta para o aumento da PG. A espessura da epiderme adaxial (EAd) está diretamente ligada à atividade metabólica da planta pois ela é responsável pela proteção do mesófilo, estrutura ativa da folha ligada a produção de fotoassimilados para a planta (AZEVEDO; QUIRINO; BRUNO, 2015). O efeito direto negativo entre a EAd e a PG indica a tendência de plantas com menor espessura da epiderme adaxial serem mais produtivas, provavelmente por permitir uma maior resposta ao ambiente, influenciando no aumento da capacidade fotossintética da planta e conseqüentemente, na sua produtividade.

Em milho, são escassos e pouco específicos os trabalhos que estudaram a importância do xilema no desenvolvimento da espiga, visando aumentar o rendimento agrícola da planta. Em outras espécies, a maior participação do xilema ou do floema no transporte de água para a formação do fruto depende do estágio de desenvolvimento da planta (NOBEL; DE LA BARRERA, 2000). Em algumas plantas frutíferas, o floema é a fonte dominante e, em outros frutos, tais como tomate (HO et al., 1987), maçã (DRAZETA et al., 2004), kiwi (DICHIO et al., 2003) e uva (GREENSPAN et al., 1994), há grande redução na proporção de água que entra no fruto pelo xilema quando o fruto amadurece. O efeito direto observado na análise de trilha da AXi em relação a PG sinaliza uma alta influência deste caráter na produção da planta.

O esclerênquima é um tecido de sustentação mecânica e nas folhas pode ocorrer armazenamento de substâncias, como cristais de cálcio e compostos fenólicos. A associação inversa entre a AEsc e a PG observada na análise de trilha indica que plantas com uma menor área de esclerênquima são mais produtivas. Pereira (2008), comenta que a redução de esclerênquima pode levar a produção de outros tecidos mais importantes, a exemplo do floema, resultando em plantas tolerantes, por exemplo, a ambientes encharcados.

Quanto aos caracteres agronômicos, alguns trabalhos utilizando o método de análise de trilhas vêm sendo desenvolvidos com o objetivo verificar os efeitos desses caracteres na produtividade da planta. Nogueira et al. (2013), com o objetivo de verificar os efeitos dos caracteres altura de planta e altura de espiga, diâmetro do colmo, número de grãos por espiga, comprimento de espiga e massa de 100 grãos sobre o rendimento de grãos, concluíram que a altura de espiga foi o caráter que apresentou maior efeito direto sobre o rendimento de grãos, fato este não observado neste trabalho.

CONCLUSÕES

A produtividade de grãos apresentou grande variabilidade genética, podendo ser utilizado com eficiência na seleção de genótipos superiores.

De acordo com a análise de correlações genotípica, os caracteres altura de plantas, altura de inserção da espiga, acamamento, quebramento de plantas e produção de grãos são relacionados com os caracteres anatômicos espessura das células buliformes, espessura da epiderme adaxial e abaxial, área do esclerênquima e espessura do mesofilo, possibilitando a seleção indireta dos caracteres agronômicos através dos caracteres anatômicos.

Com base na análise de trilha, os caracteres espessura da epiderme adaxial, área do xilema e área do esclerênquima são os que apresentam maior efeito direto sobre a produção de

grãos, havendo assim a possibilidade de seleção indireta para este caráter nos programas de melhoramento genético da espécie.

REFERÊNCIAS

APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. Anatomia Vegetal. 3.ed. Viçosa: UFV, 2012, 438p.

AZEVEDO, C.F.; QUIRINO, Z.G.M.; BRUNO, R.L.A.. Estudo farmacobotânico de partes aéreas vegetativas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi, Anacardiaceae). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 17, n. 1, p. 26-35, Mar. 2015 .

BELOW, F.E; CHRISTENSEN, L.E; REED, A. J.; HAGEMAN, R. H. Availability of reduced N and carbohydrates for ear development of maize. **Plant Physiology**, v. 68, p. 1186-90, 1981.

BERGAMIN, A. C.; VITORINO, A. C. T.; LEMPP, B.; SOUZA, C. M. A.; SOUZA, F. R. Anatomia radicular de milho em solo compactado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 3, p. 299-305, 2010.

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.

CASTRO, E. M. de et al. **Histologia vegetal: estrutura e função de órgãos vegetativos**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2009. 234 p.

CRUZ, C. D. **Programa GENES: aplicativo computacional em genética e estatística**. Viçosa: UFV, 2006. 442 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4 ed., Editora UFV, Viçosa, v. 1, 480p., 2012.

DICHIO, B.; REMORINI, D.; LANG, S. Developmental changes in xylem functionality in kiwifruit: implications for fruit calcium accumulation. **Acta Horticulturae**, v.610, p.191-195, 2003.

DI SALVO, F. **Obtenção de Variedades Sintéticas de Milho**. 2011. 28 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Genética e Melhoramento de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2011.

DRAZETA, L.; LANG, A.; HALL, A.J.; VOLZ, R.K.; JAMESON, P.E. Causes and effects of changes in xylem functionality in apple fruit. **Annals of Botany**, v.93, p.275-282, 2004.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

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

FERREIRA, J. M.; MOREIRA, R. M. P.; HIDALGO, J. A. F. Capacidade combinatória e heterose em populações de milho crioulo. **Ciência Rural**, v.39, p.332-339, 2009.

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 em milho tropical. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.2, p.140-145, 2010.

GREENSPAN, M.D.; SHACKEL, K.A.; MATTHEWS, M.A. Developmental changes in the diurnal water budget of the grape berry exposed to water deficits. **Plant, Cell and Environment**, v.17, p.811-820, 1994.

HO, L. C.; GRANGE, R. I. ; PICKEN, A. J. Analysis of the accumulation of water and dry matter in tomato fruit. **Plant, Cell and Environment**, v.10, p.157-162, 1987.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. Mc Graw Hill, New York, 1940.

MARCHÃO, R. L.; BRASIL, E. M.; DUARTE, J. B.; GUIMARÃES, C. M.; GOMES, J. A. Densidade de plantas e características agrônômicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35, p.93-101, 2005.

MARENCO, R. A.; NASCIMENTO, H. C. S.; MAGALHÃES, N. S. Stomatal conductance in Amazonian tree saplings in response to variations in the physical environment. **Photosynthetica**, v. 52, p. 493-500, 2014.

MARQUES, J. P. R.; KITAJIMA, E. W.; FREITAS-ASTÚA, J.; APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B. Comparative morpho-anatomical studies of the lesions caused by citrus leprosis virus on sweet orange. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro , v. 82, n. 2, p. 501-511, 2010.

MARTINS, R. G.; MARTINS, M. B. G.; SILVA, J. M.; PEREIRA, M. A.; APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CASTRO, P. R. C. Thiamethoxam on the histological characteristics of sugarcane young roots. **Ciência Rural**, Santa Maria , v. 42, n. 11, p. 1936-1940, 2012.

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

NOBEL, P.S.; DE LA BARRERA, E. Carbon and water balances for young fruits of platyopuntias. **Physiologia Plantarum**, v.109, p.160-166, 2000.

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.

PEREIRA, F. J.; CASTRO, E. M.; SOUZA, T. C.; MAGALÃES, P. C. Evolução da anatomia radicular do milho 'Saracura' em ciclos de seleção sucessivos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.12, p.1649-1656, 2008.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: ESALQ, 2009. 451 p.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; ROLIM, G. S.; PEDRO JUNIOR, M. J.; HERNANDES, J. L. Variações na anatomia foliar de videira Niagara em diferentes sistemas de condução. **Bragantia**, Campinas, v.70, n.3, p. 488-493, 2011,

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.

SAKAI, W. S. Simple method for differential staining of paraffin embedded plant material using toluidine blue **Stain technology Journal**, v. 43, p. 247-249, 1973.

SOUZA, T. C.; MAGALHÃES, P. C.; PEREIRA, F. J.; CASTRO, E. M.; SILVA JUNIOR, J. M.; PARENTONI, S. N. Leaf plasticity in successive selection cycles of 'Saracura' maize in response to periodic soil flooding. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 1, p. 16-24, Jan. 2010.

SPRENT, P.; SMEETON, N.C. **Applied nonparametric statistical methods**. 4.ed. Boca Raton: Chapman & Hall, 2007. 530p.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H.; DICKEY, D. **A Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. New York: McGraw-Hill Book, 1997. 666p.

SWANK, J. C.; BELOW, F. E.; LAMBERT, R. J.; HÁGEMAN, R. H. Interaction of carbon and nitrogen metabolism in the productivity of maize. **Plant Physiology**, v. 70, p. 1185-90, 1982.

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

CAPÍTULO 5 - Considerações finais

Por meio do estudo foi verificado a existência de associação entre os caracteres anatômicos da raiz, caule e folha, e agronômicos, possibilitando uma seleção mais rápida e eficiente através da seleção indireta com base nos caracteres anatômicos.

O período para obtenção das lâminas para avaliação dos caracteres anatômicos, a contar do plantio dos genótipos ficou em torno de dois meses, tempo teoricamente semelhante ao período de espera para avaliação direta dos caracteres agronômicos, porém a quantidade de lâminas que podem ser avaliadas em laboratório após este período é muito grande e tal avaliação não está condicionada as condições ambientais como alta temperatura, chuva, vento e fotoperíodo que podem restringir a avaliação direta dos caracteres agronômicos em campo, viabilizando o procedimento na prática, além do fato da seleção direta proporcionar uma menor precisão quando comparadas com a seleção com base nas estruturas anatômicas, necessitando ainda de uma maior quantidade de profissionais para avaliação, o que influencia no custo final do trabalho.

A utilização de uma planta por parcela na análise estatística é possível devido a possibilidade de se fazer várias medições da mesma estrutura anatômica por lâmina, devendo no futuro, porém, ser adequada a quantidade ideal de repetições para este tipo de avaliação, para que no seu uso prático haja o equilíbrio entre precisão e quantidade mínima de repetições. Tal observação é importante devido à grande quantidade de indivíduos administrados dentro de um programa de melhoramento, principalmente nos estágios iniciais, sendo mais viável o procedimento que apresenta o mesmo nível de precisão, porém com um número mínimo de repetições.

As associações observadas neste trabalho podem ser extrapoladas também para outras áreas como na verificação de existência de associações entre as estruturas anatômicas e a tolerância de plantas a determinadas pragas e doenças e a ambientes com restrições para agricultura.

Apesar da provável viabilidade do procedimento na prática, novos estudos devem ser realizados com o objetivo de tornar a metodologia utilizada mais eficaz e confirmar as associações observadas neste trabalho através de outras análises de inferência de associações.