



JESSICA GENTIL LIMA

**GEOMETRIA APLICADA AO
MELHORAMENTO GENÉTICO DO FEIJOEIRO**

LAVRAS - MG

2015

JESSICA GENTIL LIMA

**GEOMETRIA APLICADA AO MELHORAMENTO GENÉTICO DO
FEIJOEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Magno Antonio Patto Ramalho

Coorientadora

Dra. Ângela de Fátima Barbosa Abreu

LAVRAS - MG

2015

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Lima, Jessica Gentil.

Geometria aplicada ao melhoramento genético do feijoeiro /
Jessica Gentil Lima. – Lavras : UFLA, 2015.
59 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico)–Universidade Federal de
Lavras, 2015.

Orientador: Magno Antonio Patto Ramalho.

Bibliografia.

1. Melhoramento vegetal. 2. *Phaseolus vulgaris*. 3.
Componentes primários. 4. Componentes genéticos. 5.
Herdabilidade. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

JESSICA GENTIL LIMA

**GEOMETRIA APLICADA AO MELHORAMENTO GENÉTICO DO
FEIJOEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 14 de julho de 2015.

Dr. Luiz Antônio Augusto Gomes UFLA

Dra. Aurinelza Batista Teixeira Condé EPAMIG

Dr. Magno Antonio Patto Ramalho
Orientador

Dra. Ângela de Fátima Barbosa Abreu
Coorientadora

LAVRAS - MG

2015

À minha mãe, Nilda e ao meu avô, Olinto, que são meus maiores exemplos e
eternos educadores.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus pais, Nilda e Antônio, pelo carinho e apoio durante a vida acadêmica.

Ao meu avô, Olinto, pelo carinho e constante interesse nas minhas atividades no ‘feijão’.

À UFLA, pela oportunidade e condições oferecidas durante a realização do curso.

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Professor Magno Antonio Patto Ramalho, pela orientação, paciência, pelo exemplo de dedicação e disposição; foi extremamente valoroso tê-lo como orientador.

À Dra Angela de Fátima Barbosa Abreu, pela coorientação, pelos ensinamentos, não apenas no período da dissertação, pela amizade dentro e fora da Universidade. Foi um prazer esses anos de convivência!

Aos membros da banca examinadora, Dr Luiz e Dra Aurinelza, pelas observações, que enriqueceram a versão final deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pelos ensinamentos transmitidos.

Aos amigos do ‘feijão’, pela ajuda na condução do experimento e prazerosos momentos de trabalho.

Aos amigos, mais que queridos que fiz no GEN.

Aos amigos Scheila, Rafael Nalin, Dayane (Keju) e Indalécio, pela ajuda mais que efetiva na condução deste trabalho.

A todos os funcionários do DBI, Zélia, Rafaela, Iron, Lilian, Léo, Lindolfo, Zé Carlinho, pela ajuda e convivência.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para realização deste trabalho, meu sincero muito obrigada!

“(...) A educação, convenientemente entendida, constitui a chave do progresso moral. Quando se conhecer a arte de manejar os caracteres, como se conhece a de manejar as inteligências, conseguir-se-á corrigi-los, do mesmo modo que se apuram plantas novas. Essa arte, porém, exige muito tato, muita experiência e profunda observação...”

Allan Kardec

RESUMO

Os componentes primários da produtividade de grãos do feijoeiro (W) são número de vagens (X), número de grãos por vagem (Y) e massa de grãos (Z). Em 1964, Grafius propôs o emprego da geometria no melhoramento de plantas. Pela proposta de Grafius, W corresponderia ao volume de um paralelepípedo em que os três eixos são X, Y e Z. Como o paralelepípedo de maior volume é o cubo, isto implica que a máxima produtividade será obtida quando a contribuição relativa de X, Y e Z for a mesma. Visando verificar a viabilidade de aplicar a geometria no melhoramento do feijoeiro foi realizado o presente trabalho. Utilizaram-se os cruzamentos 'Talismã' x 'L. 59583' e 'Pérola' x 'ESAL 686'. Avaliaram-se plantas individuais de diferentes gerações do cruzamento entre 'Talismã' x 'L. 59583', em duas épocas de semeadura. Obteve-se por planta X, Y e Z e estimou-se a soma de quadrados dos desvios em relação à planta ideal (GI), isto é, aquela em que a contribuição de X, Y e Z fosse a mesma. Estimaram-se, também, componentes genéticos de média e variância e as correlações genéticas e fenotípicas entre os caracteres. Observou-se boa concordância na magnitude e na direção das estimativas das correlações genéticas e fenotípicas dos caracteres dois a dois. Contudo, a baixa herdabilidade do GI ($h^2_r = 6,7\%$) indica que a possibilidade de sucesso com a seleção deve ser pequena. Avaliaram-se, também, 94 progênies do cruzamento 'Pérola' x 'ESAL 686'. As avaliações foram realizadas em um ambiente, sendo obtidos X, Y, Z e W e estimado GI. A estimativa da h^2 , nesse caso, foi maior, mas mesmo assim de pequena magnitude ($h^2=39,0\%$). Infere-se que a seleção de indivíduos visando obter plantas cujo produto X, Y e Z tenda para o cubo é inviável, pois a soma de X, Y e Z varia entre indivíduos, o que torna a comparação difícil e, além disso, a h^2 de GI é de pequena magnitude.

Palavras-chave: Melhoramento vegetal. *Phaseolus vulgaris*. Componentes primários. Componentes genéticos. Herdabilidade.

ABSTRACT

The primary components of bean grain productivity (W) are number of pods (X), number of grains per pod (Y) and grain mass (Z). In 1964, Grafius proposed the employment of geometry for plant breeding. In his proposal, W would correspond to the volume of a parallelepiped of which the axes are X, Y and Z. Since the parallelepiped with the largest volume is the cube, the maximum productivity will be obtained when the relative contribution of X, Y and Z are the same. The present work was conducted with the objective of verifying the viability of applying geometry for bean breeding. We used crosses Talismã x L. 59583 and Pérola x ESAL 686. We evaluated individual plants of different crosses between Talismã x L. 59583 in two different sowing periods. We obtained X, Y and Z of each plant and estimated the sum of squares of the deviations in relation to the ideal plant (GI), that in which the contribution of X, Y and Z is the same. We also estimated mean and variance of genetic components, as well as genetic and phenotypic correlations between the traits. We observed good correlation for the magnitude and direction of the genetic and phenotypic correlations of the pairings of traits. However, the low heritability of GI ($h^2_r = 6.7\%$) indicated a small possibility of success with selection. We also evaluated 94 progenies of the Pérola x ESAL 686 cross. We obtained X, Y and Z, and estimated GI. The estimation of h^2 , in this case, was higher, however, remaining of low magnitude ($h^2 = 39.0\%$). We infer that the selection of individuals aiming at obtaining plants of which the product of X, Y and Z tend to a cube is unfeasible, given that the sum of X, Y and Z varies between individuals, which makes the comparison difficult. In addition, the h^2 of GI presents low magnitude.

Keywords: Plant breeding. *Phaseolus vulgaris*. Primary components. Genetic components. Heritability.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 Representação de um cubo mostrando a contribuição relativa dos eixos X, Y e Z em uma analogia com os componentes primários da produtividade de grãos do feijoeiro.....22
- Figura 2 Distribuição de frequências do caráter soma de quadrados dos desvios em relação à planta geometricamente ideal (GI). Dados obtidos na geração F₂ do cruzamento ‘Talismã’ x ‘L.59583’39
- Figura 3 Distribuição de frequências do caráter soma de quadrados dos desvios em relação à planta geometricamente ideal (GI). Dados obtidos na média da progênie do cruzamento entre ‘Pérola’ x ‘ESAL 686’46
- Figura 4 Volume do paralelepípedo que representa a produtividade por planta de feijão em função dos seus componentes primários: número de vagens (X), número de grãos por vagens (Y) e massa de grãos – x100 (Z). (A) planta com menor soma de quadrados dos desvios em relação à planta geometricamente ideal (GI) e (B) planta de maior GI. Dados obtidos da geração F₂ do cruzamento entre ‘Talismã’ x ‘L 59583’. Foram utilizadas duas plantas cujo somatório de X+Y+Z foi semelhante51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Estimativas das médias (m), variâncias fenotípicas (V) dos caracteres: número de vagens (X), número de grãos por vagem (Y) e massa de grãos (Z). Dados obtidos do cruzamento ‘Talismã’ (P1) x ‘L.59583’ (P2)39
Tabela 2	Estimativas das médias (m) e variâncias (V) do caráter soma de quadrados dos desvios em relação à planta geometricamente ideal (GI) e produção por planta (W)39
Tabela 3	Estimativas dos componentes de média (\hat{m} , \hat{a} e \hat{d}) e heteroses (h) dos caracteres: número de vagens (X), número de grãos por vagem (Y), massa de grãos (Z)40
Tabela 4	Estimativas dos componentes de média (\hat{m} , \hat{a} e \hat{d}) e heteroses (h) do caráter soma de quadrados dos desvios em relação à planta geometricamente ideal (GI) e produção por planta (W)41
Tabela 5	Estimativas dos componentes de variância ambiental (\hat{V}_e), variância genética aditiva (\hat{V}_A), variância de dominância (\hat{V}_D) e herdabilidade no sentido restrito h_r^2 . Dados obtidos para os caracteres: número de vagens (X), número de grãos por vagem (Y), massa de grãos (Z)41

Tabela 6	Estimativas dos componentes de variância ambiental (\hat{V}_e), variância genética aditiva (\hat{V}_A), variância de dominância (\hat{V}_D) e herdabilidade no sentido restrito h_r^2 . Dados do carácter soma de quadrados dos desvios em relação à planta geometricamente ideal (GI) e produção por planta (W)42
Tabela 7	Estimativas das correlações fenotípicas (abaixo da diagonal) e genéticas (acima da diagonal) entre os caracteres número de vagens (X), número de grãos por vagem (Y), massa de grãos (Z) produção por planta (W) e soma de quadrados dos desvios em relação à planta geometricamente ideal (GI).....43
Tabela 8	Estimativas do ganho esperado com a seleção de dez indivíduos com melhor expressão para o carácter j. Sendo j os caracteres número de vagens (X), número de grãos por vagem (Y), massa de grãos (Z), produtividade por planta (W) e soma de quadrados dos desvios em relação à planta geometricamente ideal (GI) e resposta correlacionada pela seleção realizada no carácter GI e ganho no carácter j44
Tabela 9	Pares de plantas da geração F ₂ , em que a soma de X+Y+Z foi semelhante e as respectivas estimativas do produto X.Y.Z (Volume: W) e GI45
Tabela 10	Resumo da análise de variância dos caracteres número de vagens (X), número de grãos por vagem (Y), massa de grãos (Z), produtividade por planta (W) e soma de quadrados dos desvios em relação à planta ideal (GI).....46

Tabela 11	Estimativas do ganho esperado com a seleção de dez progênies com melhor expressão para o caráter j. Sendo j os caracteres número de vagens (X), número de grãos por vagem (Y), massa de grãos (Z), produtividade por planta (W) e soma de quadrados dos desvios em relação à planta geometricamente ideal (GI) e resposta correlacionada pela seleção realizada no caráter j.....	47
Tabela 12	Pares de plantas da geração F ₂ , em que a soma de X+Y+Z foi semelhante e as respectivas estimativas do produto X.Y.Z (Volume: W) e GI	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	A cultura do feijoeiro no Brasil	17
2.2	Morfologia do feijoeiro	18
2.3	Componentes primários da produtividade em grãos	21
2.4	Geometria aplicada ao melhoramento de plantas	22
2.5	Controle genético dos caracteres do feijoeiro	23
3	MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1	Local - Experimento com plantas individuais	25
3.2	Genitores do cruzamento	25
3.3	Gerações utilizadas nas avaliações	25
3.4	Condução dos experimentos	26
3.5	Dados coletados	26
3.6	Análise dos dados	26
3.7	Componentes genéticos de média	28
3.8	Estimativa dos Componentes de Variância	30
3.9	Estimativas das correlações dos caracteres dois a dois	32
3.10	Local - Experimento com progênies	34
3.11	Genitores do cruzamento	34
3.12	Condução do experimento	34
3.13	Análise dos dados	35
4	RESULTADOS	38
4.1	Informação de plantas individuais	38
4.2	Informação de progênies	45
5	DISCUSSÃO	49
6	CONCLUSÃO	54
	REFERÊNCIAS	55
	APÊNDICE	59

1 INTRODUÇÃO

Na produção de grãos de uma planta estão envolvidos praticamente todos os genes. Contudo, esses genes atuam indiretamente, ou seja, não existem genes específicos para a produtividade. Assim é possível identificar uma hierarquia de atuação dos diversos órgãos e tecidos da planta que, em última instância, irá repercutir na produtividade de grãos. Os componentes primários da produtividade são aqueles caracteres que influenciam diretamente no caráter final. No caso específico do feijoeiro, esses caracteres são o número de vagens por planta (X); o número de grãos por vagens (Y) e o peso de cada grão (Z). O produto $X \cdot Y \cdot Z = W$ (produtividade de grãos).

Inúmeros trabalhos existem na literatura realçando as associações positivas dos componentes X, Y e Z com a produtividade (COELHO et al., 2002; LANA; CARDOSO; CRUZ, 2003; RAMALHO; ANDRADE; TEIXEIRA, 1979; SANTOS; VENCOVSKY; RAMALHO, 1985). Esses trabalhos evidenciam, também, que as correlações entre X e Y, X e Z ou Y e Z são normalmente negativas, ou seja, o crescimento de um deles repercute na redução dos demais.

Considerando que W é o produto de X, Y e Z, ou seja, três eixos, Grafius (1964) fez uma analogia da produtividade como sendo o volume de um paralelepípedo. O autor realçou que o paralelepípedo com maior volume é o cubo, ou seja, a figura em que os três eixos contribuem igualmente para o volume.

Embora as proposições de Grafius fossem bem fundamentadas, não se encontrou nenhuma referência de se procurar identificar linhagens e ou plantas que tivessem a contribuição relativa desses componentes o mais semelhante possível e, assim, incrementar a produtividade. Para isso, seria importante, com base na população segregante para os três caracteres, X, Y e Z, verificar se é

possível identificar indivíduos em que a contribuição de X, Y e Z seja semelhante. Também é importante estimar parâmetros genéticos e fenotípicos dessa contribuição relativa para verificar se é possível ter sucesso com a seleção visando à obtenção de cultivares mais produtivas de feijão.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura do feijoeiro no Brasil

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris L.*) é a espécie mais cultivada do gênero *Phaseolus* e a mais importante para consumo humano entre as leguminosas. No Brasil, possui grande relevância pelo fato de fazer parte da dieta da maioria dos brasileiros.

A cultura possui elevada relevância socioeconômica para o país. O Brasil é o maior produtor e consumidor mundial de feijão. Na safra 2014/2015 foram cultivados, aproximadamente, 3.130,8 mil hectares, com produtividade média de 1091 Kg/ha e produção de 3.414,1 mil toneladas, envolvendo um contingente de alguns milhares de trabalhadores rurais e agricultores (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2015). O feijão representa uma fonte proteica de baixo custo. Também fornece nutrientes essenciais como ferro, cálcio, vitaminas, fibras, além de ser rico no aminoácido lisina (RESENDE et al., 2008).

O feijão é cultivado em praticamente todos os estados brasileiros, pelos agricultores familiares e por grandes empresas rurais. Como consequência, há enorme diversificação dos sistemas de manejo. O feijão é cultivado praticamente durante todo o ano. Em Minas Gerais, a semeadura é realizada em três safras: safra das águas ou primavera-verão, semeadura de outubro a novembro; safra da seca ou verão-outono, semeadura de fevereiro a março e a safra de inverno ou inverno-primavera, semeadura de julho a agosto.

2.2 Morfologia do feijoeiro

O feijão comum pertence ao ramo Embryophytae Syphonogamae, subramo angiospermae, classe Dicotyledoneae, subclasse Archichlamydeae, ordem Rosales, família Leguminosae, subfamília Papilionoideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolineae, gênero *Phaseolus* L. e espécie *Phaseolus vulgaris* L (SANTOS; GAVILANES, 2006).

O sistema radicular do feijoeiro é típico de eudicotiledôneas semelhante ao fasciculado (SANTOS; GAVILANES, 2006). É composto pela raiz principal; raízes basais, que são as primeiras raízes que se desenvolvem na base do sistema radicular; raízes adventícias, que surgem da porção subterrânea do hipocótilo e crescem na parte mais superficial do solo de maneira horizontal; e raízes laterais, que se originam das raízes principal, basais e adventícias (RUBIO; LYNCH, 2007).

O feijoeiro é uma planta de caule herbáceo, classificado morfológicamente como haste. O primeiro nó é o ponto de inserção dos cotilédones; o segundo das folhas primárias ou simples e o terceiro, da primeira folha trifoliolada ou composta e, assim, sucessivamente (SANTOS; GAVILANES, 2006).

O feijoeiro forma dois tipos de folha durante sua ontogenia: simples e compostas. As folhas simples, também chamadas de primárias, são apenas duas e aparecem no segundo nó do caule. Apresentam filotaxia oposta e formato codiforme. As demais folhas são trifolioladas, com filotaxia geralmente alterna e ficam inseridas nos nós do caule e nas ramificações (SANTOS; GAVILANES, 2006). A cor, o tamanho e a pilosidade das folhas podem variar de acordo com a cultivar, posição e idade da planta e as condições ambientais (SILVA, 2003). De modo geral, o tamanho das folhas possui correlação positiva com o tamanho de grãos, quanto maior a folha, maiores serão os grãos produzidos pela planta.

As flores do feijoeiro estão dispostas em uma inflorescência composta com normalmente duas a seis flores e são compostas por um pedúnculo (pequena haste) que sustenta os botões florais, formando a inflorescência. As flores podem ser de cor branca, rósea ou violeta, distribuídas uniformemente por toda a corola, ou, podem ter mais de uma cor ou tonalidades diferentes (SILVA, 2003). Cada flor é constituída por um cálice formado de sépalas unidas e uma corola de cinco pétalas coloridas, com formatos diferentes: uma pétala mais externa e maior (estandarte); duas laterais menores, estreitas (asas), e duas inferiores, unidas e enroladas em forma de espiral (quilha). O androceu é constituído de nove estames, sendo um livre e os demais unidos pela base. O gineceu possui ovário pluriovulado, um estilete e um estigma terminal. As plantas iniciam o florescimento nas gemas apicais do caule e das ramificações, que se diferenciam em inflorescências. Dessa forma, o crescimento vegetativo é interrompido com o início da fase reprodutiva. O florescimento se dá do ápice para a base, de maneira uniforme e em um período relativamente curto, sendo, geralmente, mais precoces que as cultivares de hábito indeterminado. São caracterizadas por apresentarem menor número de nós e entrenós mais curtos (SANTOS; GAVILANES, 2006).

O fruto é uma vagem formada por duas partes, denominadas valvas. Pode ter uma forma reta, arqueada ou recurvada, e a ponta ou extremidade pode ser arqueada ou reta. A cor pode ser uniforme ou não, isto é, pode apresentar estrias de outra cor, por exemplo, e variar de acordo com o grau de maturação (vagem imatura, madura e completamente seca) podendo ser verde, verde com estrias vermelhas ou roxas, vermelha, roxa, amarela, amarela com estrias vermelhas ou roxas (SILVA, 2003). O número de vagens por planta é variável e determinado pela população de plantas, pela produção de flores por planta e pelo número de flores que efetivamente desenvolvem vagens, ou seja, do vingamento floral. Nesse último aspecto existem vários fatores que afetam o vingamento

floral, entre eles: temperatura máxima muito elevada, temperatura mínima muito baixa, baixa umidade relativa, nutrição mineral inadequada e ataque de insetos (FANCELLI, 2009; ZÍLIO et al., 2011).

A semente possui alto teor de carboidratos e proteína. Constitui-se, externamente, de uma casca (tegumento), hilo (cicatriz no tegumento), micrópila (pequena abertura no tegumento) e rafe (cicatriz da soldadura dos óvulos com as paredes do ovário). Internamente, há um embrião formado pela plúmula (pequeno botão do caule), duas folhas primárias, o hipocótilo, dois cotilédones e uma pequena raiz (radícula). Pode ter várias formas: arredondada, elíptica, reniforme ou oblonga e tamanhos que variam de muito pequenas (<20g/100 sementes) a grandes (>40g/100 sementes), apresentando ampla variabilidade de cores (preto, bege, roxo, róseo, vermelho, marrom, amarelo ou branco). O tegumento pode ter uma cor uniforme, ou, mais de uma normalmente, expressa em forma de estrias, manchas ou pontuações e pode ser brilhante ou opaca (SILVA, 2003).

A preferência dos consumidores por determinados tipos de grãos varia de acordo com o estado e até entre regiões. Na região sul e no estado do Rio de Janeiro, por exemplo, a preferência é por grãos pretos que correspondem a 17,6% do feijão consumido no país.

Embora, como já mencionado, ocorram diferenças quanto ao tipo de grãos consumidos no Brasil, a preferência predomina sobre o tipo carioca. O feijão carioca original foi encontrado por um agricultor, na cidade de Palmital, no estado de São Paulo. Posteriormente, foi enviado ao Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e, após algumas avaliações, foi recomendado como cultivar em 1969 (ALMEIDA; LEITÃO FILHO; MIYASAKA, 1971). No início a aceitação foi lenta, no entanto, após 1975, disseminou-se por todo país (WUTKE; MASCARENHAS, 2012). Com a intensificação do cultivo, os programas de melhoramento procuraram obter novas linhagens de feijão carioca e, nos últimos

30 anos, foram obtidas centenas delas. Com essa disponibilidade, o mercado passou a exigir alguns detalhes de cor, formato e tamanho dos grãos.

Os grãos tipo carioca caracterizam-se por apresentarem grãos beges com rajadas marrons claras. Os grãos aceitos comercialmente são de tamanho médio, ou seja, 100 grãos com massa de 23 a 25 gramas. Em relação ao formato, grãos que sejam achatados ou que apresentam formato de rim, normalmente são rejeitados (RAMALHO; ABREU; CARNEIRO, 2004).

2.3 Componentes primários da produtividade em grãos

Os componentes primários da produtividade de grãos (W) são o número de vagens (X), o número de sementes por vagens (Y) e o peso médio de grãos (Z).

A contribuição desses componentes para a produtividade depende da constituição da planta/cultivar e das condições ambientais durante o cultivo (BEZERRA et al., 2007; KAPPES et al., 2008). Na literatura são encontrados diversos relatos das estimativas de correlação entre X, Y e Z com W e, também, entre X e Y, X e Z, Y e Z. Embora os valores diferissem em magnitude, a correlação de X, Y e Z com W é quase sempre positiva, já entre X e Y, X e Z, e Y e Z, normalmente é negativa (CABRAL et al., 2011; RIBEIRO; DOMINGUES; ZEMOLIN, 2014; ZILIO et al., 2011).

A correlação entre os componentes primários da produtividade é normalmente negativa em função da plasticidade que os vegetais possuem de se ajustarem às condições ambientais. No caso do feijoeiro não foram encontrados relatos de pesquisa procurando elucidar melhor a fisiologia da produção de grãos. Segundo Guilherme et al. (2014), os relatos de que a planta do feijão produz muito mais flores do que grãos, ou seja, o vingamento floral é pequeno, inferior a 30%.

2.4 Geometria aplicada ao melhoramento de plantas

Grafius (1964) propôs avaliar a contribuição dos componentes primários, para a produção de grãos e, também, a plasticidade fenotípica por meio da geometria. Segundo ele, a produtividade de grãos (W) representa o volume do paralelepípedo e os eixos da referida figura geométrica são os três componentes primários, ou seja:

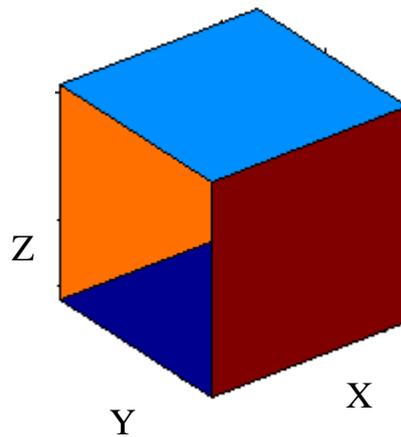


Figura 1 Representação de um cubo mostrando a contribuição relativa dos eixos X, Y e Z em uma analogia com os componentes primários da produtividade de grãos do feijoeiro

Assim, fica fácil visualizar, embora ele não fizesse menção a esse fato, o efeito da plasticidade, ou seja, o formato do paralelepípedo irá variar de acordo com a linhagem, mas também em razão do ambiente.

O próprio autor comenta que também é possível verificar qual seria o ajuste ideal, ou seja, um maior W . Da geometria, o cubo é o paralelepípedo de maior volume. Assim, quando X, Y e Z apresentarem a mesma contribuição, o volume gerado seria o máximo.

Alguns teoremas a respeito da geometria no melhoramento de plantas foram também apresentados por Grafius (1964, 1965). Alguns anos mais tarde, Grafius e Adams (1971), questionando algumas estimativas de correlação entre os componentes de produtividade em cevada obtidas por Rasmussen e Cannell (1970), mostraram que os valores obtidos poderiam ser explicados, em função da plasticidade fenotípica, utilizando o conceito de geometria.

Embora o artigo original de Grafius tenha sido publicado há mais de 50 anos, ser citado inúmeras vezes, sem que haja restrição a sua ideia, não foram encontrados relatos da aplicação dos resultados obtidos na possível escolha de cultivares e mais ainda se essa plasticidade que ocorre possui algum controle genético.

2.5 Controle genético dos caracteres do feijoeiro

A literatura do controle genético dos caracteres do feijoeiro é relativamente ampla. Na obtenção de informações a esse respeito podem ser empregados componentes de média e ou variância. Os estudos podem ser utilizando dados de plantas individuais ou progênies (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012; RAMALHO et al., 2012).

Quando se avaliam indivíduos, a principal metodologia foi a apresentada por Mather em 1949 (MATHER; JINKS, 1982), em que se podem estimar os componentes de média e variância. O emprego dessas metodologias é vasto, como pode ser constatado na literatura (HUSSAIN et al., 2011; MORONI et al., 2013; SANTOS et al., 2012).

Quando se empregam progênies podem-se utilizar diferentes estratégias, as quais podem ser encontradas em vários livros texto (BERNARDO, 2010; CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012; RAMALHO et al., 2012). O emprego de

progênies é bastante comum na cultura do feijoeiro, sobretudo quando o caráter é a produtividade de grãos (MORETO et al., 2007; SILVA et al., 2013).

Embora a literatura seja vasta, em termos de controle genético dos caracteres do feijoeiro, não foi encontrado nenhum relato de informações genéticas de caráter associado à geometria no melhoramento de plantas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois tipos de experimentos, o primeiro com informações de plantas individuais e o segundo com progênies.

3.1 Local - Experimento com plantas individuais

O experimento foi conduzido em casa de vegetação e em campo na área experimental do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras (UFLA). O município de Lavras situa-se na região Sul do estado de Minas Gerais, a 918 metros de altitude, 21°58' de latitude Sul e 42°22' de longitude Oeste.

3.2 Genitores do cruzamento

O cruzamento realizado foi entre a cultivar BRSMG Talismã (P_1), utilizada como genitor feminino. Essa cultivar é oriunda de um programa de seleção recorrente, conduzido no Estado de Minas Gerais, possui grãos tipo carioca, inflorescência simples e peso médio de 100 grãos igual a 26,5 gramas. Como genitor masculino, a linhagem 59583 (P_2), proveniente do banco de germoplasma da EMBRAPA Recursos Genéticos e Biotecnologia (CENARGEN), possui grãos de cor creme, inflorescência composta e peso médio de 100 grãos igual a 24 gramas.

3.3 Gerações utilizadas nas avaliações

As sementes F_1 foram obtidas em casa de vegetação no departamento de Biologia da UFLA. A geração F_2 foi obtida em campo, semeadura em fevereiro

de 2012; a obtenção da geração F_3 , também, foi a campo, em maio do mesmo ano.

3.4 Condução dos experimentos

Os experimentos foram implantados, segundo delineamento de blocos casualizados com duas repetições, sendo avaliados cinco tratamentos; os dois genitores e as gerações F_1 , F_2 e F_3 . A parcela do genitor e da F_1 foi composta por uma linha de um metro. Já da F_2 e F_3 possuíam dez linhas de um metro. As linhas foram espaçadas de 60 centímetros, com dez sementes/metro linear. A semeadura foi realizada em fevereiro de 2013. O manejo foi realizado como preconizado para a cultura na região.

3.5 Dados coletados

Todos os dados foram coletados em plantas individuais, no momento da colheita. Os caracteres anotados foram: o número de vagens por planta (X): obtido por meio da contagem de todas as vagens de cada planta; o número de grãos por vagem (Y): obtido pela contagem de todos os grãos produzidos pela planta, dividido pelo número de vagens; e a produção por planta (gramas - g): obtida com a pesagem dos grãos de cada planta. Com esses dados foram estimados a massa de 100 grãos e, para análise dos dados, foi utilizada massa de um grão (Z).

3.6 Análise dos dados

Com os dados do número de vagens por planta (X), número de grãos por vagens (Y) e massa de um grão (Z) foi estimada a contribuição relativa de cada

caráter (X_{Ri} , Y_{Ri} , e Z_{Ri}) para a produtividade de grãos por planta. Para o número de vagens por planta tem-se o seguinte estimador:

$$X_{Ri} = \frac{X_i}{X_i + Y_i + Z_i}$$

Em que:

X_{Ri} : contribuição relativa do número de vagens no somatório dos três eixos para a planta i (X, Y e Z);

X_i : número de vagens da planta i ;

Y_i : número de grãos por vagens da planta i ;

Z_i : massa de grão da planta i .

De modo análogo tem-se Y_{Ri} e Z_{Ri} , substituindo o numerador da expressão por Y_i e Z_i .

Considerando que o paralelepípedo de maior volume é o cubo, ou seja, como já mencionado, o que possui contribuição relativa dos eixos iguais, foi estimada a soma de quadrados dos desvios em relação ao modelo geometricamente ideal da planta i (GI_i), isto é, cuja contribuição relativa de cada eixo do paralelepípedo seja igual a 33,33%. Ou seja:

$$GI_i = (X_{Ri} - 0,3333)^2 + (Y_{Ri} - 0,3333)^2 + (Z_{Ri} - 0,3333)^2$$

Procedeu-se à análise de variância, segundo procedimento apresentado por Steel, Torrie e Dickey (1997), para os caracteres X, Y, Z, W e GI

3.7 Componentes genéticos de média

Conforme as médias e variâncias de cada geração, foram estimados os componentes genéticos de médias. Considerou-se o modelo aditivo-dominante sem epistasia pelo estimador apresentado por Cruz, Regazzi e Carneiro (2012).

$$\hat{\beta} = (C'NS^1C)^{-1}(C'NS^1Q)$$

em que:

$\hat{\beta}$: vetor das estimativas, ou seja:

$$\hat{\beta} = \begin{bmatrix} \hat{m} \\ \hat{a} \\ \hat{d} \end{bmatrix}$$

Sendo:

\hat{m} : estimativa da média;

\hat{a} : estimativa dos desvios do homocigoto em relação à média; e

\hat{d} : estimativa do desvio do heterocigoto em relação à média

C é a matriz do modelo, que na presente situação é:

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0,5 \\ 1 & 0 & 0,25 \end{bmatrix}$$

N é a matriz associada ao número de plantas avaliadas, dada por:

$$N = \begin{bmatrix} n_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & n_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & n_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & n_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & n_5 \end{bmatrix}$$

Sendo $n_1, n_2, n_3, n_4,$ e n_5 o número de plantas das populações P_1, P_2, F_1, F_2 e F_3 , respectivamente.

S é a matriz de variâncias associadas às populações, ou seja:

$$S = \begin{bmatrix} V_{P_1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & V_{P_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & V_{F_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & V_{F_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & V_{F_3} \end{bmatrix}$$

Em que $V_{P_1}, V_{P_2}, V_{F_1}, V_{F_2}$ e V_{F_3} são as variâncias associadas às populações P_1, P_2, F_1, F_2 e F_3 , respectivamente.

Q é o vetor dos valores médios observados em cada população:

$$Q = \begin{bmatrix} \bar{P}_1 \\ \bar{P}_2 \\ \bar{F}_1 \\ \bar{F}_2 \\ \bar{F}_3 \end{bmatrix}$$

Estimou-se, também, a heterose (h) pelo estimador:

$$h = \bar{F}_1 - \frac{P_1 + P_2}{2}$$

3.8 Estimativa dos Componentes de Variância

Os componentes da variância fenotípica (V_E , V_A e V_D) foram estimados pelo método dos quadrados mínimos ponderados iterativo, descrito por Ramalho et al. (2012), ou seja:

$$\hat{\beta} = (C'NS^{-1}C)^{-1}(C'NS^{-1}Q)$$

em que:

$\hat{\beta}$: vetor das estimativas, isto é:

$$\hat{\beta} = \begin{bmatrix} \hat{V}_E \\ \hat{V}_A \\ \hat{V}_D \end{bmatrix}$$

\hat{V}_E : variância ambiental;

\hat{V}_A : variância genética aditiva; e

\hat{V}_D : variância genética de dominância

Q: vetor das variâncias estimadas com base nas observações das diferentes populações, isto é:

$$Q = \begin{bmatrix} V_{P_1} \\ V_{P_2} \\ V_{F_1} \\ V_{F_2} \\ V_{F_3} \end{bmatrix}$$

A matriz C do modelo foi obtida por:

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1,5 & 0,75 \end{bmatrix}$$

A matriz N, de acordo com a matriz do modelo foi:

$$N = \begin{bmatrix} GL_{P_1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & GL_{P_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & GL_{F_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & GL_{F_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & GL_{F_3} \end{bmatrix}$$

Em que GL corresponde aos graus de liberdade associados a cada fonte de variação.

A matriz de ponderação S corresponde às variâncias observadas de cada população, sendo assim:

$$S = \begin{bmatrix} V_{P_1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & V_{P_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & V_{F_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & V_{F_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & V_{F_3} \end{bmatrix}$$

Por meio das estimativas dos componentes de variância, foi obtida a herdabilidade no sentido restrito (h_r^2), para todos os caracteres, segundo o estimador:

$$h_r^2 = \frac{\hat{V}_A}{\hat{V}_A + \hat{V}_D + \hat{V}_E}$$

3.9 Estimativas das correlações dos caracteres dois a dois

As correlações fenotípicas dos caracteres dois a dois (r_{Fjq}) foi obtida utilizando os dados das plantas da geração F_2 , pelo estimador:

$$r_{Fjq} = \frac{COV_{jq}}{\sqrt{V_j \cdot V_q}}$$

Em que:

COV_{jq} : é a covariância entre os caracteres j e q ;

V_j : é a variância associada ao caráter j ;

V_q : é a variância associada ao caráter q .

As estimativas das correlações genéticas (r_{Gjq}) foram obtidas pelo estimador proposto por Falconer e Mackay (1996), ou seja:

$$r_{Gjq} = \frac{r_{Fjq} - e_j e_q r_{Ejq}}{h_j h_q}$$

Em que:

r_{Ejq} : correlações ambientais entre os caracteres dois a dois. Essa estimativa foi obtida, utilizando o mesmo procedimento da correlação fenotípica, porém utilizando os dados da geração F_1 , em que não ocorre variação genética, apenas ambiental entre as plantas.

e_j e e_q : correspondem, respectivamente a $\sqrt{1 - h_j^2}$ e $\sqrt{1 - h_q^2}$; e

h_j e h_q : são a raiz quadrada das herdabilidades dos dois caracteres j e q , respectivamente.

O ganho esperado com a seleção para os caracteres X, Y, Z, W e GI foi obtido baseado no estimador:

$$GS = h^2 \cdot ds$$

Em que:

GS : Ganho esperado com a seleção considerando os dez melhores indivíduos;

h^2 : estimativa de herdabilidade;

ds : diferencial de seleção obtido com base na diferença entre os indivíduos selecionados e a média geral.

Foi estimada, também, a resposta correlacionada (RC) no caráter j (X, Y, Z ou W) pela seleção no caráter GI.

$$RC_{j(GI)} = ds_{j(GI)} \cdot h_j^2$$

Em que:

ds : é o diferencial de seleção no caráter j considerando os dez indivíduos identificados (selecionados) pelo GI;

h_j^2 : é a herdabilidade do caráter j .

3.10 Local - Experimento com progênies

O experimento foi instalado na fazenda experimental pertencente à Universidade Federal de Lavras (UFLA). Sua semeadura foi realizada em julho de 2014.

3.11 Genitores do cruzamento

O segundo cruzamento foi realizado entre a cultivar Pérola e a linhagem ESAL 686. A cultivar “Pérola” (P₃), desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), apresenta grãos pequenos do tipo carioca. Possui hábito de crescimento indeterminado, porte semiereto e folhas relativamente pequenas quando comparada ao genitor ESAL 686. Essa cultivar apresenta peso médio de 100 grãos em torno de 27 gramas. A linhagem ESAL 686 (P₄), desenvolvida pela UFLA, apresenta hábito de crescimento determinado, porte ereto, grãos grandes de cor amarela e apresenta peso médio de 100 grãos em torno de 43 gramas.

3.12 Condução do experimento

Com base na população F₃, proveniente do cruzamento entre Pérola x ESAL 686, foram obtidas aleatoriamente 94 progênies F_{3:5}. Essas progênies foram avaliadas no delineamento látice triplo 10x10, junto aos dois genitores e quatro testemunhas (Small White, BRSMG Majestoso, RP1 e BRS Radiante), totalizando 100 tratamentos.

As práticas de manejo, relacionadas à adubação e controle de pragas e doenças, foram realizadas como recomendado para a cultura na região. A semeadura foi realizada no espaçamento de 60 cm entre linhas, sendo colocadas

três sementes por cova, espaçadas a 20 cm. Alguns dias após a emergência foi realizado o desbaste, deixando apenas uma planta por cova.

Os dados foram coletados, a partir de três plantas aleatórias na parcela e os caracteres anotados foram os mesmos utilizados nos experimentos ao nível de plantas individuais.

3.13 Análise dos dados

Foi estimada a soma de quadrados dos desvios em relação ao modelo geometricamente ideal da progênie i (GI i), utilizando procedimento descrito no item 3.6. Todas as estimativas foram na média das plantas de cada parcela.

Procedeu-se à análise de variância do experimento utilizando o seguinte modelo:

$$Y_{ilk} = \mu + t_i + r_k + b_{l(k)} + e_{ilk}$$

Em que:

Y_{ilk} : observação referente ao tratamento i , no bloco l , dentro da repetição k ;

μ : efeito fixo da constante associada às observações;

t_i : efeito aleatório do tratamento i ;

r_k : efeito aleatório da repetição k ;

$b_{l(k)}$: efeito aleatório associado ao bloco l dentro da repetição k .

e_{ilk} : efeito aleatório do erro associado ao tratamento i no bloco l , dentro da repetição k ;

A partir dessas análises, retirando as testemunhas, obtiveram-se estimativas de herdabilidade ao nível de médias progênes pela seguinte expressão:

$$h^2 = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

Em que:

Q_1 : Quadrado médio associado a progênes;

Q_2 : Quadrado médio associado ao erro efetivo.

O ganho esperado com a seleção para os caracteres X, Y, Z, W e GI foi obtido a partir do estimador:

$$GS = h^2 \cdot ds$$

Em que:

GS : Ganho esperado com a seleção considerando as dez melhores progênes;

h^2 : estimativa de herdabilidade;

ds : diferencial de seleção obtido a partir da diferença entre a média das dez progênes selecionadas e a média geral.

Foi estimada, também, a resposta correlacionada (RC) no caráter j (X, Y, Z ou W) pela seleção no caráter GI.

$$RC_{j(GI)} = ds_{j(GI)} \cdot h_j^2$$

Em que:

ds : é o diferencial de seleção no caráter j considerando as dez progênes identificadas (selecionadas) pelo GI;

h_j^2 : é a herdabilidade do caráter j .

4 RESULTADOS

4.1 Informação de plantas individuais

Os resumos das análises de variância para os caracteres avaliados no cruzamento ‘Talismã’ x ‘L. 59583’ estão apresentados nas tabelas 1A. Diferenças significativas ($P \leq 0,01$) foram observadas entre as populações para todos os caracteres avaliados. Os genitores diferiram na expressão dos caracteres avaliados, condição essa indispensável para o que se deseja com este trabalho, como pode ser constatado com as médias apresentadas nas tabelas 1 e 2. Para os caracteres X (número de vagens) e Y (número de grãos por vagem) e W (produção por planta), verificou-se grande divergência entre os genitores.

Para todos os caracteres, a média da F_1 foi superior à média dos pais e superior a das gerações F_2 e F_3 . Nessa condição, pode-se inferir que provavelmente ocorre dominância na expressão desses caracteres. Como era esperado, a variância fenotípica nas gerações F_2 e F_3 foi superior à obtida pelos genitores e F_1 (Tabelas 1 e 2).

O foco principal deste trabalho é o de identificar as plantas cuja contribuição relativa dos componentes X, Y e Z para a produtividade de grãos fosse semelhante. Para isso foi obtida a estimativa da soma de quadrados dos desvios dos caracteres X, Y e Z em relação à planta geometricamente ideal (GI).

Analogamente aos caracteres X, Y e W os genitores diferiram com relação à estimativa de GI. Veja que o P_1 linhagem Talismã, uma cultivar adaptada à região, o GI apresentou menor estimativa do que P_2 , linhagem 59583, que é, ao que tudo indica, um feijão silvestre, não adaptado à região.

A estimativa de GI apresentou ampla variação entre plantas nas gerações segregantes F_2 como pode ser comprovada por meio das distribuições de frequência apresentadas na figura 2.

Tabela 1 Estimativas das médias (m), variâncias fenotípicas (V) dos caracteres: número de vagens (X), número de grãos por vagem (Y) e massa de grãos (Z). Dados obtidos do cruzamento ‘Talismã’ (P1) x ‘L.59583’ (P2)

	X		Y		Z	
	m	v	m	v	m	v (x100)
P ₁	21,54	9,93	4,76	0,29	0,21	0,07
P ₂	13,71	9,90	1,78	0,11	0,22	0,09
F ₁	48,90	5,88	3,74	0,02	0,28	0,02
F ₂	27,25	76,59	3,45	1,14	0,23	0,15
F ₃	25,31	73,30	3,65	0,82	0,21	0,13

Tabela 2 Estimativas das médias (m) e variâncias (V) do caráter soma de quadrados dos desvios em relação à planta geometricamente ideal (GI) e produção por planta (W)

	GI		W	
	m	V	m	V
P ₁	0,3572	0,0020	21,82	3,33
P ₂	0,4360	0,0016	5,96	4,49
F ₁	0,5252	0,00006	50,39	8,11
F ₂	0,4481	0,0062	22,33	6,97
F ₃	0,4238	0,0053	19,01	9,51

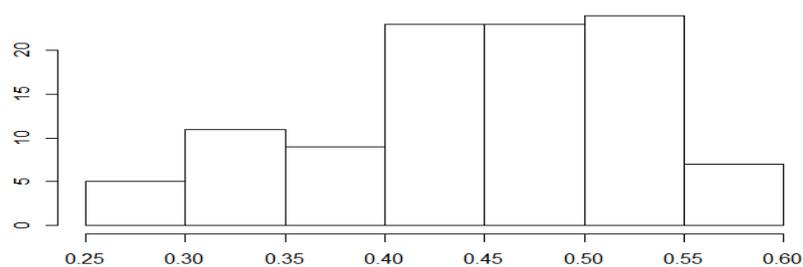


Figura 2 Distribuição de frequências do caráter soma de quadrados dos desvios em relação à planta geometricamente ideal (GI). Dados obtidos na geração F₂ do cruzamento ‘Talismã’ x ‘L.59583’

Para todos os caracteres avaliados (X, Y, Z e W), constatou-se que o modelo aditivo-dominante sem epistasia explicou a maior parte da variação, quando se estimaram os componentes de médias. Em todos os casos o R² do modelo foi superior a 95% (Tabelas 3 e 4). Observou-se que o componente que estima o desvio dos homozigotos em relação à média (a) e a contribuição do heterozigoto (d), foi diferente de zero para a maioria dos casos. A existência de dominância evidenciada pela magnitude mostrada pelas estimativas de d todas diferentes de zero é comprovada por meio das estimativas da heterose que foram na maioria das situações expressiva.

Estimaram-se também, os componentes de média para GI (Tabela 4). Assim como ocorrera com os demais caracteres, o modelo aditivo dominante explicou a maior parte da variação. Observou-se que tanto o componente a como d foram diferentes de zero. Vale ressaltar que nesse caso, a heterose foi relativamente inferior à maioria das demais estimativas.

Tabela 3 Estimativas dos componentes de média (\hat{m} , \hat{a} e \hat{d}) e heteroses (h) dos caracteres: número de vagens (X), número de grãos por vagem (Y), massa de grãos (Z)

	X		Y		Z	
\hat{m}	16,56	$\pm 0,60^{**}$	3,39	$\pm 0,07^{**}$	0,195	$\pm 0,41^{**}$
\hat{a}	4,42	$\pm 0,71^{**}$	1,49	$\pm 0,09^{**}$	0,003	$\pm 0,6^{NS}$
\hat{d}	30,72	$\pm 1,03^{**}$	0,35	$\pm 0,08^{**}$	0,079	$\pm 0,7^{**}$
² R ²	99,45		99,93		99,88	
h(%)	63,95		12,57		23,21	

¹ erros padrões associados (x 100); ²**componente diferente de zero ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de t; ²coeficiente de determinação do modelo.

Tabela 4 Estimativas dos componentes de média (\hat{m} , \hat{a} e \hat{d}) e heteroses (h) do caráter soma de quadrados dos desvios em relação à planta geometricamente ideal (GI) e produção por planta (W)

	GI		W	
\hat{m}	0,3898	$\pm 0,0062^{1**}$	11,8	$\pm 0,34^{**}$
\hat{a}	-0,0380	$\pm 0,0097^{**}$	8,93	$\pm 0,45^{**}$
\hat{d}	0,1349	$\pm 0,0069^{**}$	26,40	$\pm 0,81^{**}$
${}^2R^2$	99,99		97,66	
h(%)	24,48		72,44	

¹erros padrões associados; ^{**}componente diferente de zero ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de t; ²coeficiente de determinação do modelo.

As estimativas dos componentes da variância fenotípica e genética também variaram entre os caracteres X, Y, Z, W e GI (Tabelas 5 e 6). Aqui, também, o modelo sem epistasia explicou a maior parte da variação (R^2 superior a 90%). Os componentes de variância aditiva (V_A) e de variância de dominância (V_D) foram diferentes de zero, exceto para Y, o que está de acordo com o que foi relatado para os componentes de média.

As estimativas da herdabilidade (h^2) no sentido restrito, ao nível de indivíduo, foram maiores para o caráter W.

Tabela 5 Estimativas dos componentes de variância ambiental (\hat{V}_e), variância genética aditiva (\hat{V}_A), variância de dominância (\hat{V}_D) e herdabilidade no sentido restrito h_r^2 . Dados obtidos para os caracteres: número de vagens (X), número de grãos por vagem (Y), massa de grãos (Z)

	X		Y		Z	
\hat{V}_e	8,57	$0,05^1$	0,155	0,05	$0,58^3$	0,05
\hat{V}_A	18,28	0,32	-0,09	0,65	0,038	0,89
\hat{V}_D	49,73	0,16	1,08	0,08	0,87	0,19
${}^2R^2$	99,41		99,93		96,87	
h_r^2 (%)	23,87		0,00		2,55	

¹probabilidade pelo teste t. ²coeficiente de determinação do modelo e ³estimativa (x 1000)

Tabela 6 Estimativas dos componentes de variância ambiental (\hat{V}_e), variância genética aditiva (\hat{V}_A), variância de dominância (\hat{V}_D) e herdabilidade no sentido restrito h_r^2 . Dados do caráter soma de quadrados dos desvios em relação à planta geometricamente ideal (GI) e produção por planta (W)

	GI		W	
\hat{V}_e	0,0012	0,05 ¹	5,21	0,05
\hat{V}_A	0,0004	0,72	3,97	0,13
\hat{V}_D	0,0044	0,13	-2,21	0,44
² R ²	92,13			97,53
h ² _T (%)	6,66			56,96

¹probabilidade pelo teste t. ²coeficiente de determinação do modelo.

De modo geral, ocorreu boa concordância na magnitude e na direção das estimativas das correlações genéticas e fenotípicas dos caracteres dois a dois (Tabelas 7). Como era esperado, as estimativas de X, Y e Z com W foram todas positivas, embora a de maior magnitude foi de X e W, ou seja, o número de vagens foi o componente primário que mais explicou a variação na produtividade de grãos por planta. Deve-se destacar que as estimativas da correlação entre X, Y e Z foram todas significativas, embora em Y e Z e em X e Y foram negativas.

A correlação entre GI e W é a de maior interesse para os objetivos do trabalho. Veja que a correlação fenotípica foi positiva e significativa, embora a magnitude não fosse expressiva. Já a estimativa da correlação genética foi de magnitude semelhante à correlação fenotípica. Essas estimativas de correlação genética estão em direção oposta ao que se esperava, ou seja, quanto menor a estimativa de GI maior deve ser a produtividade de grãos.

Tabela 7 Estimativas das correlações fenotípicas (abaixo da diagonal) e genéticas (acima da diagonal) entre os caracteres número de vagens (X), número de grãos por vagem (Y), massa de grãos (Z) produção por planta (W) e soma de quadrados dos desvios em relação à planta geometricamente ideal (GI)

	X	Y	Z	W	GI
X	1	-0,30	0,30	0,80	0,99
Y	-0,25**	1	-0,73	0,47	-0,98
Z	0,20**	-0,46**	1	0,21	0,57
W	0,70**	0,40**	0,14 ^{NS}	1	0,27
GI	0,80**	-0,75**	0,37**	0,21**	1

**estimativas significativas a 1% de probabilidade pelo teste t.

Estimou-se, também, o ganho esperado com a seleção dos dez melhores indivíduos na geração F₂. Deve ser enfatizado que os melhores indivíduos para os caracteres X, Y, Z e W são os de maior valor fenotípico e do GI os de menor, por isso, as estimativas de GS para GI é negativa (Tabela 8). A estimativa do ganho esperado com a seleção em porcentagem da média foi nula apenas para o caráter Y. A maior estimativa foi para o caráter W. Observou-se que a estimativa de GI, como foi constatada, foi negativa e de magnitude intermediária aos demais caracteres. Constatou-se que a resposta correlacionada pela seleção realizada nos dez indivíduos de menor GI foi negativa em todos os casos, exceto para o caráter Y, cuja herdabilidade foi nula. Infere-se que sendo a seleção efetuada para indivíduos com menor GI, haveria redução na expressão fenotípica de X, Z e W.

Tabela 8 Estimativas do ganho esperado com a seleção de dez indivíduos com melhor expressão para o caráter j. Sendo j os caracteres número de vagens (X), número de grãos por vagem (Y), massa de grãos (Z), produtividade por planta (W) e soma de quadrados dos desvios em relação à planta geometricamente ideal (GI) e resposta correlacionada pela seleção realizada no caráter GI e ganho no caráter j

Estimativas	Caracteres				
	GI	X	Y	Z	W
Mo	0,45	28,18	3,50	0,23	22,33
MS _j	0,30	42,70	5,23	0,31	40,61
MS _{j(GI)}	-	16,90	4,97	0,21	18,29
h ²	6,66	23,07	0,00	2,55	56,96
GS _j %	-11,5	21,68	0,00	0,71	46,62
RC _{j(GI)} % ¹	-	-9,24	0,00	-0,23	-10,31

¹ Na resposta correlacionada RC_{j(GI)}%, o caráter j corresponde aos caracteres X, Y, Z e W.

A comparação das estimativas de GI, no sentido de evidenciar o que se propõe nesta pesquisa, só é válida se a soma dos componentes X, Y e Z, em cada planta, for semelhante. Por isso foram identificados na geração F₂, alguns pares de plantas, cujo somatório de X, Y e Z foi semelhante e ao mesmo tempo GI diferente (Tabela 9). Observe que, para cada par toda vez que o GI foi menor a soma, produtividade, da planta foi maior. Mostra o que foi comentado anteriormente, que o menor GI, desde que o somatório dos eixos seja semelhante, maior a produtividade.

Tabela 9 Pares de plantas da geração F₂, em que a soma de X+Y+Z foi semelhante e as respectivas estimativas do produto X.Y.Z (Volume: W) e GI

Pares de plantas	Soma	Volume	GI
1	21,05	18,14	0,29
	19,88	10,66	0,41
2	24,35	23,45	0,32
	24,87	13,78	0,46
3	29,46	19,58	0,46
	29,28	9,49	0,52
4	35,43	25,42	0,49
	35,37	12,62	0,59

4.2 Informação de progênies

O resumo das análises de variância (Tabela 10) mostra que as estimativas para os caracteres X, Y, Z e W foram obtidas com acurácia mediana.

Para o caráter GI, entretanto, observou-se acurácia inferior às obtidas nos demais caracteres (55,27%). Porém, mesmo assim, foi possível detectar diferenças significativas entre as progênies ($P \leq 0,00$).

A variação no desempenho das progênies pode, também, ser constatada, por meio das distribuições de frequência das médias (Figura 3), o que indica variabilidade genética para o caráter GI.

As estimativas de herdabilidade para a seleção na média das progênies evidencia que ela foi de maior magnitude para a massa de grãos (Z). Os demais valores foram inferiores a 50%, indicando que todos eles são muito influenciados pelo ambiente. Vale ressaltar que a estimativa de h^2 para GI com progênie foi bem superior à obtida com dados de plantas individuais (Tabela 6 e 10).

Tabela 10 Resumo da análise de variância dos caracteres número de vagens (X), número de grãos por vagem (Y), massa de grãos (Z), produtividade por planta (W) e soma de quadrados dos desvios em relação à planta ideal (GI)

Caráter	Progênie		Erro		Acurácia	h^2_r (%)
	GL	QM	GL	QM		
X	99	110,9451**	163	57,3993	63	41
Y	99	2,4294**	163	1,2852	68	46
Z	99	0,0082**	163	0,0032	78	62
W	99	152,05**	163	0,0032	62	39
GI	99	0,0065**	163	0,0042	55	31

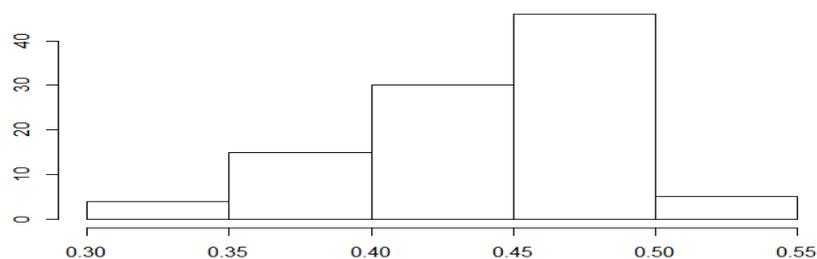


Figura 3 Distribuição de frequências do caráter soma de quadrados dos desvios em relação à planta geometricamente ideal (GI). Dados obtidos na média da progênie do cruzamento entre 'Pérola' x 'ESAL 686'

As estimativas do ganho esperado com a seleção (GS), considerando 10% das progênies de menor GI foram de -3,96%, valor esse bem diferente do observado para os demais caracteres (Tabela 11). A resposta correlacionada pela seleção realizada em GI foi negativa para o caráter X e de magnitude bem inferior para seleção direta para os caracteres Z e W, embora essas estimativas apresentassem valores positivos.

Tabela 11 Estimativas do ganho esperado com a seleção de dez progênies com melhor expressão para o caráter j. Sendo j os caracteres número de vagens (X), número de grãos por vagem (Y), massa de grãos (Z), produtividade por planta (W) e soma de quadrados dos desvios em relação à planta geometricamente ideal (GI) e resposta correlacionada pela seleção realizada no caráter j

Estimativas	Caracteres				
	GI	X	Y	Z	W
Mo	0,44	27,07	3,38	0,27	24,19
Ms _j	0,38	34,40	4,39	0,33	31,50
Ms _{j(GI)}	-	20,83	4,49	0,28	25,73
h ²	31,00	41,00	46,00	62,00	39,00
GS _j %	-3,96	11,06	13,67	13,92	13,40
RC _{j(GI)} % ¹	-	-9,45	7,23	1,04	2,48

¹ Na resposta correlacionada RC_{j(GI)}%, o caráter j corresponde aos caracteres X, Y, Z e W.

Como já comentado, a comparação das estimativas de GI, no sentido de evidenciar o que se propõe nesta pesquisa, só é válida se a soma dos componentes X, Y e Z, em cada planta, for semelhante. Por isso foram identificados, nas progênies, alguns pares de plantas, cujo somatório de X, Y e Z foi semelhante e ao mesmo tempo GI diferente (Tabela 12). Observe que, para cada par toda vez que o GI foi menor a soma, produtividade, da planta foi maior. Mostra o que foi comentado anteriormente, que o menor GI, desde que o somatório dos eixos seja semelhante, maior a produtividade.

Tabela 12 Pares de plantas da geração F₂, em que a soma de X+Y+Z foi semelhante e as respectivas estimativas do produto X.Y.Z (Volume: W) e GI

Pares de progênies	Soma	Volume	GI
1	22,40	17,51	0,35
	20,95	8,21	0,49
2	24,33	29,05	0,37
	24,34	10,12	0,49
3	27,75	34,57	0,35
	27,86	19,04	0,47
4	35,32	45,05	0,37
	35,55	20,37	0,52

5 DISCUSSÃO

Na condução de um trabalho, em que o cerne se baseia nos componentes primários da produtividade de grãos, é importante ter populações segregantes com maior variabilidade possível para esses caracteres. Por isso foi obtida uma das populações com base no cruzamento entre ‘Talismã’ x ‘L.59583’. Como já mencionado, a ‘Talismã’ é uma cultivar adaptada da região e a ‘L. 59583’, é um feijão silvestre, que foi utilizada por apresentar grande produção de flores concentradas em poucas inflorescências (GUILHERME et al., 2014). A variabilidade esperada no cruzamento, para os componentes primários da produtividade, foi confirmada nos resultados obtidos (Tabela 1). No outro cruzamento em que foram avaliadas progênies, foram utilizados genitores também bem divergentes. A ‘Pérola’ é adaptada e de origem mesoamericana, já linhagem ESAL 686 é do grupo andino. Esse cruzamento não apresenta incompatibilidade e a população segregante, como era esperado, foi bem divergente, como pode ser constatado (Tabela 10).

As informações do controle genético dos caracteres X, Y, Z e W, no cruzamento ‘Talismã’ x ‘L.59583’, evidenciaram que o modelo sem epistasia, explicou a maior parte da variação. O componente d , que mede o desvio do heterozigoto em relação à média, foi superior ao a para X, Z e W, indicando a presença de dominância, o que refletiu na ocorrência de heterose expressiva para esses caracteres. Na literatura há disponível alguns resultados com relação às estimativas de componentes de média para esses caracteres na cultura do feijoeiro (GUILHERME et al., 2014; SANTOS; VENCOSKY; RAMALHO, 1985).

Uma possível explicação para a ocorrência expressiva de dominância é que a ‘L.59583’ é não adaptada e bem divergente da ‘Talismã’, nessa condição é esperada que a dominância seja mais expressiva. Quando se utilizaram os

componentes de variância, no mesmo cruzamento, o que se constatou é que a variância de dominância também foi expressiva, exceto para W, que foi nula (Tabelas 5 e 6).

Quando se avaliaram progênes, cruzamento ‘Pérola’ x ‘ESAL 686’, as estimativas da h^2_r obtidas para X, Y, Z e W (Tabela 10) evidenciaram que ocorreu variabilidade genética entre as progênes. É oportuno salientar que as estimativas de h^2_r no cruzamento ‘Talismã’ x ‘L.59583’ foi de menor magnitude (Tabelas 5 e 6). Esse fato ocorreu, porque nesse último caso, as estimativas com progênes, a variância fenotípica média é obtida dividindo a variância genética entre progênes pelo quadrado médio da fonte de variação progênes, dividida pelo número de repetições. Nessa situação é esperada que a estimativa entre média de progênes seja superior (RAMALHO et al., 2012).

O foco principal deste trabalho foi o de verificar qual a contribuição relativa de X, Y e Z para a produtividade por planta (W). Segundo Grafius (1964), esse fato pode ser visualizado, utilizando a geometria. Isto é, o W é em realidade o produto dos eixos de X, Y e Z. Assim, W pode ser representado pelo volume de um paralelepípedo. Da geometria, o paralelepípedo com maior volume é o cubo, ou seja, o volume será maior quando a contribuição relativa dos eixos for semelhante.

Para visualizar como X, Y e Z se ajustam em termos da contribuição para W, foi estimada a soma de quadrado dos desvios em relação à situação ideal, ou seja, em que a contribuição relativa de cada um fosse de 33,33% do valor de W. Esse valor foi simbolizado por GI e reflete o desvio ao quadrado em relação à planta geometricamente ideal. Quanto menor o valor de GI mais a contribuição relativa de X, Y e Z se aproxima de 33,33% e mais a figura geométrica formada tende para o cubo (Figura 4).

Entretanto, podem-se ter paralelepípedos com diferentes dimensões dos eixos. Ou dizendo de outra forma X, Y e Z podem ter magnitude muito

discrepante entre as plantas. Nessa situação, o conceito de Grafius (1964) não tem como ser visualizado. O único modo é ter situações em que o somatório de X, Y e Z sejam semelhantes e a contribuição relativa deles seja variável. Esse fato pode ser visualizado com os dados apresentados nas tabelas 9 e 12. Veja que em todos os pares de casos que o somatório de X, Y e Z foi semelhante, o W foi maior quando a estimativa de GI foi menor. Tomando como referência o primeiro par de plantas da tabela 9, em que $X + Y + Z$ foi semelhante às figuras geométricas formadas pelo produto dos três eixos foram muito díspares (Figura 4). A que tendeu para o cubo, por razões óbvias, apresentou visualmente maior volume.

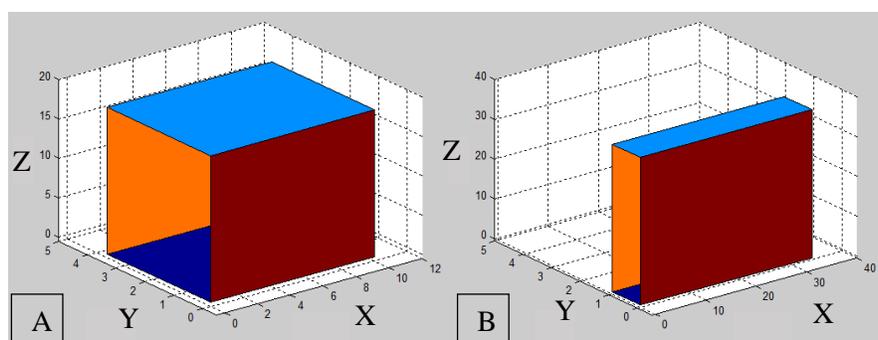


Figura 4 Volume do paralelepípedo que representa a produtividade por planta de feijão em função dos seus componentes primários: número de vagens (X), número de grãos por vagens (Y) e massa de grãos – x100 (Z). (A) planta com menor soma de quadrados dos desvios em relação à planta geometricamente ideal (GI) e (B) planta de maior GI. Dados obtidos da geração F_2 do cruzamento entre ‘Talismã’ x ‘L 59583’. Foram utilizadas duas plantas cujo somatório de $X+Y+Z$ foi semelhante

Procurou-se obter informações do controle genético de GI. Quando se utilizaram médias, o resultado foi muito semelhante ao observado para os demais caracteres, como era esperado, ou seja, a estimativa de d foi superior à de a . Quando se empregou variância, V_D foi superior a V_A . Em princípio esses

resultados indicam a presença de dominância na expressão do caráter. Quando se empregaram progênes, cruzamento entre ‘Pérola’ x ‘ESAL 686’, a estimativa da herdabilidade ao nível de média foi de pequena magnitude. Infelizmente não foi encontrado nenhum relato na literatura que pudesse ser confrontado com os resultados aqui relatados para esse caráter.

Na literatura há vários relatos de que os componentes primários X, Y, e Z apresentam, como era esperado, correlação tanto genética como fenotípica positiva e alta com a produtividade de grãos (CABRAL et al., 2011; RIBEIRO; DOMINGUES; ZEMOLIN, 2014; ZILIO et al., 2011). O mesmo foi constatado no presente trabalho (Tabela 8). Já entre X e Y, X e Z, Y e Z, as correlações são negativas ou de pequena magnitude.

O mais importante nesta pesquisa, no entanto, são as estimativas de correlação envolvendo o GI, especialmente com a produtividade. Observou-se que tanto as estimativas da correlação genética como a fenotípica foram de pequena magnitude, indicando que o valor de GI não tem associação alta com W e nem foi negativa como se esperava. A razão, como já foi comentado, é que a estimativa de GI “per se”, não considerara o somatório de $X + Y + Z$ e, assim, a possibilidade de se selecionar para menor estimativa de GI visando ao incremento na produtividade fica prejudicado. Esse fato ficou realçado, quando se calculou a resposta correlacionada (RC) em X, Y, Z e W pela seleção realizada entre os indivíduos/ progênes com menor estimativa de GI. Veja que, embora para Y, Z e W a resposta à seleção fosse positiva, quando se utilizaram progênes (Tabela 11), ela foi de magnitude inferior à seleção direta. Com plantas individuais a RC em W pela seleção em GI foi até negativa.

Para solucionar esse problema, poder-se-ia utilizar um índice envolvendo o GI e o somatório de $X+Y+Z$ (ΣGI). Como o que interessa é o menor valor de GI, na obtenção do índice, eles devem ser multiplicados por -1. Desse modo, quando a contribuição relativa de X, Y e Z afasta do ideal, o valor

do índice $\sum GI$ seria menor. Estimou-se a correlação entre $\sum GI$ com W e ela foi de magnitude elevada e positiva ($r_F = 0,77$ para plantas individuais e $r_F = 0,73$ com progênies). Do exposto, embora matematicamente a ideia de Grafius (1964) seja correta, quando se tenta utilizar esse conhecimento visando melhorar a eficiência da seleção para a produtividade de grãos tem baixa eficiência. As razões já foram explicitadas, o GI tem herdabilidade de pequena magnitude e dificilmente ter-se-á uma situação em que o somatório de X, Y e Z entre todas as plantas e ou progênies seja semelhante para facilitar o emprego do conceito de seleção utilizando geometria, isto é, um modelo de planta cujo produto de X, Y e Z tende para o cubo, possa ser aplicado. Adicionalmente, avaliar a produtividade é menos laborioso que os componentes primários da produtividade. Sem considerar, também, que a massa dos grãos é um caráter de interesse comercial e evidentemente não pode sair do padrão.

6 CONCLUSÃO

O emprego da geometria no melhoramento de plantas é de baixa eficiência. Isto porque a comparação entre os indivíduos e ou progênies só é factível se eles possuem o somatório de $X+Y+Z$ semelhante, o que nem sempre ocorre. Além do mais a herdabilidade do caráter GI, que mede a soma dos quadrados dos desvios dos caracteres X, Y, Z em relação à planta geometricamente ideal, é de pequena magnitude.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. d'; LEITÃO FILHO, H. P.; MIYASAKA, S. **Feijoeiro no Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1971. 8 p. (Boletim, 7).
- BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. 2nd ed. Woodbury: Stemma, 2010. 390 p.
- BEZERRA, A. P. A. et al. Rendimento, componentes da produção e uso eficiente da terra nos consórcios sorgo x feijão-de-corda e sorgo x milho. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 38, n. 1, p. 104-108, 2007.
- CABRAL, A. J. et al. Análise de trilha do rendimento de grãos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*) e seus componentes. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 42, n. 1, p. 132-138, 2011.
- COELHO, A. D. F. et al. Herdabilidade e correlações da produção do feijão e dos seus componentes primários, nas épocas de cultivo da primavera-verão e do verão-outono. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 2, p. 211-216, 2002.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2014/2015: oitavo levantamento, maio/2015**. Brasília, 2015. 72 p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa, MG: UFV, 2012. v. 1, 514 p.
- FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4th ed. Malaya: Pearson, 1996. 464 p.
- FANCELLI, A. L. **Feijão: tópicos especiais de manejo**. Piracicaba: ESALQ/USP/LPV, 2009. 208 p.
- GRAFIUS, J. E. A geometry for plant breeding. **Crop Science**, Madison, v. 4, n. 3, p. 241-246, 1964.
- GRAFIUS, J. E. **A geometry of plant breeding**. East Lansing: Michigan State University Agricultural Experiment Station, 1965. 576 p.

GRAFIUS, J. E.; ADAMS, M. W. Eugenics in crops. **Agronomy Journal**, Madison, v. 52, n. 2571, p. 519-523, 1971.

GUILHERME, S. R. et al. Genetic control of inflorescence in common bean. **Genetics and Molecular Research: GMR**, Ribeirão Preto, v. 13, n. 4, p. 10349-10358, 2014.

HUSSAIN, F. et al. Genetic studies in wheat for leaf rust resistance (*Puccinia recondita*). **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v. 10, n. 16, p. 3051-3054, 2011.

KAPPES, C. et al. Feijão comum: características morfoagronômicas de cultivares. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 9., 2008, Campinas. **Anais...** Campinas: IAC, 2008. p. 506-509.

LANA, A. M. Q.; CARDOSO, A. A.; CRUZ, C. D. Herdabilidades e correlações entre caracteres de linhagens de feijão obtidas em monocultivo e em consórcio com milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 6, p. 1031-1037, 2003.

MATHER, K.; JINKS, J. L. **Introduction to biometrical genetics**. 3rd ed. London: Chapman and Hall, 1982. 231 p.

MORETO, A. L. et al. Estimação dos componentes da variância fenotípica em feijoeiro utilizando o método genealógico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1035-1042, jul./ago. 2007.

MORONI, J. S. et al. Generation mean analysis of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings tolerant to high levels of manganese. **Euphytica**, Wageningen, v. 189, n. 1, p. 89-100, 2013.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B.; CARNEIRO, J. E. de S. Cultivares. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, n. 223, p. 21-32, 2004.

RAMALHO, M. A. P.; ANDRADE, L. A. B.; TEIXEIRA, N. C. S. Correlações genéticas e fenotípicas entre caracteres do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Prática**, Lavras, v. 3, n. 1, p. 63-70, jan./jun. 1979.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: UFLA, 2012. 522 p.

RASMUSSEN, D. C.; CANNELL, R. Q. Selection for grain yield and components of yield in barley. **Crop Science**, Madison, v. 10, n. 1, p. 51-54, 1970.

RESENDE, O. et al. Avaliação da qualidade tecnológica do feijão durante armazenamento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 517-524, mar./abr. 2008.

RIBEIRO, N. D.; DOMINGUES, L. da S.; ZEMOLIN, A. E. M. Avaliação dos componentes da produtividade de grãos em feijão de grãos especiais. **Científica**, São Paulo, v. 42, n. 2, p. 178-186, 2014.

RUBIO, G.; LYNCH, J. P. Compensation among root classes in *Phaseolus vulgaris* L. **Plant and Soil**, The Hague, v. 290, n. 1/2, p. 307-321, Dec. 2007.

SANTOS, C. A. F. et al. Genetic analysis of total seed protein content in two cowpea crosses. **Crop Science**, Madison, v. 52, n. 6, p. 2501-2506, 2012.

SANTOS, J. B. dos; GAVILANES, M. L. Botânica. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J. de; BORÉM, A. (Org.). **Feijão**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. p. 41-65.

SANTOS, J. B. dos; VENCOSKY, R.; RAMALHO, M. A. P. Controle genético da produção de grãos e de seus componentes primários em feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 10, p. 1203-1211, out. 1985.

SILVA, A. C. F. et al. Eficiência de métodos de melhoramento para teor de fibra e produtividade de grãos em progênies de feijoeiro comum. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 4, p. 326-331, 2013.

SILVA, H. T. da. **Caracterização botânica de espécies silvestres do gênero *Phaseolus* L. (Leguminosae)**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2003. 40 p.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H.; DICKEY, D. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. 3rd ed. Boston: McGraw Hill, 1997. 672 p.

WULTKE, E. B.; MASCARENHAS, H. A. A. History of carioca, the most popular landrace cultivar of the modern times on the American continents. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 55, n. 55, p. 257-258, 2012.

ZILIO, M. et al. Contribuição dos componentes de rendimento na produtividade de genótipos crioulos de feijão (*Phaseolus vulgaris*L.). **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 429-438, 2011.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Análise de variância

Tabela 1A Resumo da análise de variância para os caracteres número de vagens (X), número de grãos por vagem (Y), massa de grãos (Z), produção por planta (W) e soma de quadrados dos desvios dos caracteres X, Y e Z em relação à planta geometricamente ideal (GI). Dados obtidos do cruzamento entre ‘Talismã’ x ‘linhagem 59583’

	GL	X	Y	QM		GI
				Z	W	
Trat	4	1699,3**	10,632**	0,018**	2665,4**	0,048
Rep	1	157,6	4,689*	0,003	365,3*	0,001**
Erro	237	67,3	0,862	0,001	65,6	0,005