

MELHORAMENTO E SELEÇÃO DE FEIJOEIRO COMUM POR MEIO DE  
MODELOS MISTOS PARA RESISTÊNCIA/TOLERÂNCIA À SECA

Jeferson Benedetti Eilert<sup>1</sup>; Juliana Parisotto Poletine<sup>1</sup>; Silene Tais Brondani<sup>2</sup>; Marco Antônio Aparecido Barelli<sup>3</sup>; Valvenarg Pereira da Silva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Maringá – UEM, Departamento de Agronomia. Avenida Colombo, 5790.

CEP: 87020-900, Campus Universitário, Maringá, PR. E-mail: [jeferson-benedetti@hotmail.com](mailto:jeferson-benedetti@hotmail.com);

<sup>2</sup>Universidade Estadual de Maringá – UEM, Departamento de Ciências Agrônomicas, Campus de Umuarama. Estrada da Paca s/n, CEP: 87500-000, Bairro São Cristóvão, Umuarama, PR. E-mail: [silenetais@outlook.com](mailto:silenetais@outlook.com)

<sup>3</sup>Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT, Faculdade de Ciências Agro-Ambientais, Av. São João, s/nº, CEP 78200-000 Cáceres, MT. E-mail: [mbarelli@unemat.br](mailto:mbarelli@unemat.br); [silvabiologo@hotmail.com](mailto:silvabiologo@hotmail.com)

**RESUMO:** O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é muito consumido e de fundamental importância social e econômica. Essa cultura ocupa papel de destaque por ser uma fonte barata e eficiente de proteínas, fibras, micronutrientes, entre outros componentes, sendo essencial para a manutenção de uma vida saudável. Assim como todas as espécies, o feijoeiro comum sofre impacto de algumas condições adversas em seu cultivo. Uma delas é a deficiência hídrica, um fator abiótico capaz de limitar substancialmente a produção agrícola. O objetivo do trabalho foi reunir informações atuais, analisar e interpretar os dados agrônomicos para a seleção de progênies mais tolerantes ao estresse hídrico. Foram avaliadas 169 progênies F<sub>2.5</sub> e F<sub>2.6</sub>, oriundas do cruzamento dos parentais IAPAR81 × LP97-28, tendo como testemunhas os dois parentais e as cultivares, Juriti, Tangará, Guará, Talismã, Flor Diniz, BAT93 e Pérola. Foram conduzidos dois experimentos no Centro de Treinamento em Irrigação da Universidade Estadual de Maringá durante a safra das águas nos anos de 2014 e 2015, um deles sem deficiência hídrica e outro com deficiência hídrica no momento da floração. Os tratamentos foram avaliados em Látice Quadrado 10×10, com três repetições. As variáveis avaliadas foram: produtividade (PROD), produtividade por dia (PPD), número de vagens por planta (NVP), massa de 100 sementes (M100), altura de plantas (ALT) número de dias para florescimento (NDF), número de dias para maturação (NDM) e número de dias para enchimento das vagens (NDP). As análises estatísticas foram feitas aplicando-se uma pressão de seleção de 15% utilizando o aplicativo Selegen REML/BLUP, enquanto a significância dos efeitos dos modelos foi estimada por meio da análise de *deviance*. Com exceção da variável NDP, todas apresentaram efeito significativo, evidenciando a existência de variabilidade genética dentre as progênies avaliadas. No experimento em condições normais de cultivo e também no experimento com deficiência hídrica, com exceção da variável NDP, todas as demais variáveis apresentaram progênies superiores aos seus parentais e testemunhas. No experimento sem estresse, as médias obtidas foram: PROD (1510,30 kg ha<sup>-1</sup>), PPD (2,86 g dia<sup>-1</sup>), NVP (8,93), M100 (18,52 g), ALT (52,03 cm), NDF (48,06), NDM (82,22) e NDP (34,15). No experimento com deficiência hídrica as médias das variáveis foram: PROD (700,50 kg ha<sup>-1</sup>), PPD (1,73 g dia<sup>-1</sup>), NVP (6,47), M100 (17,63 g), ALT (47,19 cm), NDF (48,10), NDM (83,48) e NDP (35,38). Analisando os dois experimentos conjuntamente, foram observadas reduções, em função do déficit hídrico, de 53,61% na produtividade, 27,5% no número de vagens por planta, 4,81% na massa de 100 grãos e redução de 9,31% na altura das plantas. Concluiu-se que é possível a obtenção de ganho por seleção nas progênies avaliadas e o cruzamento entre os parentais de feijão comum IAPAR81 × LP97-28 mostrou-se promissor em relação aos objetivos do programa de melhoramento proposto.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Phaseolus vulgaris* L.; fatores abióticos, deficiência hídrica; componentes de produção.

**IMPROVEMENT AND SELECTION OF COMMON BEAN THROUGH MIXED  
MODELS FOR DRY RESISTANCE / TOLERANCE**

**ABSTRACT:** Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is expressive consumed and shows fundamental social and economic importance. This crop displays a prominent role since it is an inexpensive and efficient source of proteins, fibers, micronutrients, among other components of great importance for the maintenance of a healthy life. Similar to other species, common bean is affected by some adverse conditions in its cultivation. One of them is water deficiency, an abiotic factor capable of substantially limiting agricultural production. The objective of this work was to join scientific information, to analyze and interpret agronomic data for progenies selection more tolerant to water stress. A total of 169 progenies, F<sub>2:5</sub> and F<sub>2:6</sub>, from the crossing between IAPAR81 × LP97-28 genotypes, were used as controls for both parents as well as: Juriti, Tangará, Guara, Talisman, Flor Diniz, BAT93 and Perola. The evaluations were conducted at Centro de Treinamento em Irrigação belonging to Universidade Estadual de Maringá. Two experiments were carried out, one without water deficit and other one with water deficiency at flowering period, carried out in 2014 and 2015 agricultural years. Treatments were evaluated in a Square Latice 10 × 10 design, with three replicates. The following variables were evaluated: grain yield (PROD), grain yield per day (PPD), number of pods per plant (NVP), mass of 100 seeds (M100), plant height (ALT), number of days for flowering (NDF) of days to maturity (NDM), number of days to fill (NDP). Statistical analysis was conducted by applying a selection pressure of 15% using Selegen REML / BLUP application, while the significance of models effects was estimated through *deviance* analysis. Exception for NDP variable, all other showed a significant effect, evidencing the existence of genetic variability among evaluated progenies. In the experiment under normal conditions of cultivation and also in the experiment with water deficit, exception for NDP variable, all other variables presented higher progenies than theirs parental and controls. In the experiment without stress, obtained means were PROD (1510.30 kg ha<sup>-1</sup>), PPD (2.86 g day<sup>-1</sup>), NVP (8.93), M100 (18.52 g), (ALT)52.03 cm, NDF (48.06), NDM (82.22) and NDP (34.15). In the water deficit experiment, means values of variables were: PROD (700.50 kg ha<sup>-1</sup>), PPD (1.73 g day<sup>-1</sup>), NVP (6.47), M100 (17.63 g), ALT (47.19 cm), NDF (48.10), NDM (83.48), NDP (35.38). Reductions were observed due to water deficit of 53.61% in grain yield, 27.5% in number of pods per plant, 4.81% in mass of 100 grains and a reduction of 9.31% in plant height. It was concluded that it is possible to obtain gain by selection in the progenies evaluated, as well as, the cross between the common bean genotypes IAPAR81 × LP97-28 was promising in relation to the objectives of the proposed breeding program.

**KEYWORDS:** *Phaseolus vulgaris* L.; abiotic factors, water deficit; production components.

## INTRODUÇÃO

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa muito consumida em todo o mundo. Por ser rico em proteínas, fibras, energia e micronutrientes de alta qualidade, é uma ótima fonte de alimento, além disso, possui alguns compostos que auxiliam na prevenção de doenças (Zagar et. al., 2017). O consumo dessa leguminosa fornece 15% do total de calorias diárias e 36% da proteína diárias totais em partes da África e regiões do continente

americano (Schmutz et al., 2014). Além disso, ocupa papel de destaque por ser uma fonte barata e eficiente de alimento, possuindo componentes importantes para a manutenção de uma vida saudável (de Lima Castro et al., 2017).

O *P. vulgaris* L. tem origem mesoamericana, foi distribuído do norte do México até noroeste da Argentina, levando à formação de dois grandes grupos genéticos, classificados como mesoamericanos e andinos. Com o passar do tempo essa cultura passou a ser domesticada e seu potencial cada vez mais aproveitado pelo ser humano (Bellucci et al., 2014). A domesticação resultou em mudanças morfológicas nas plantas, como o aumento do tamanho dos grãos e folhas, respostas ao fotoperíodo, alterações no hábito de crescimento, variação na cor e no revestimento dos grãos que diferenciam e conferem características únicas a algumas variedades (Schmutz et al., 2014).

Assim como todas as plantas, o feijoeiro comum sofre impacto de algumas condições adversas em seu cultivo, podendo ser fatores bióticos e abióticos. As influências negativas durante o ciclo da cultura são conhecidas por estresses. Dentre alguns desses limitantes de produtividade podem ser destacados a escassez de água, temperaturas extremas, salinidade, poluição, radiação e inundações, sendo a deficiência hídrica um fator abiótico capaz de limitar substancialmente a produção agrícola (Borém e Fritsche-Neto, 2011). Aproximadamente 60% da área cultivada com a espécie é em algum momento afetada pelo estresse hídrico, um dos principais responsáveis pela redução da produtividade de grãos, superado apenas pela incidência de doenças (Singh, 1995; Schneider et al, 1997).

Pela expressiva importância do cultivo do feijão comum, é imprescindível a realização de estudos com o intuito de obter novas cultivares, mais produtivas e mais adaptadas a condições de sequeiro. O estresse hídrico na planta causa redução na produção e é mais acentuado quando ocorre durante os estádios de floração e frutificação (Souza et al., 2008).

Com a expectativa de melhorar a produtividade, técnicas em programas de melhoramento têm sido utilizadas, como a obtenção de genótipos tolerantes ao estresse hídrico. Para tal, são utilizadas metodologias moleculares, fisiológicas, morfológicas e agronômicas, permitindo assim compreender melhor os mecanismos de adaptações da planta. (Singh, 1995).

Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi reunir informações sobre modelagem mista e selecionar as melhores progênies  $F_{2:5}$  e  $F_{2:6}$  oriundas do cruzamento dos parentais IAPAR81× LP97-28 analisando e interpretando os dados agronômicos pelo procedimento estatístico REML/BLUP, visando selecionar plantas mais tolerantes ao déficit hídrico.

## ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO FEIJOEIRO COMUM

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa pertencente à família *Fabaceae*, subfamília *Papilionoideae*. O gênero *Phaseolus* é proveniente das Américas e possui cerca de 55 espécies, dentre essas espécies existem cinco que são cultivadas: *P. vulgaris* L., *P. lunatus* L., *P. polyanthus*, *P. coccineus* L., *P. acutifolius* e *A. Gray var. latifolius* Freeman. Dentre elas, o feijão comum, *Phaseolus vulgaris*, é o mais importante, por ser a espécie cultivada mais antiga e também utilizada nos cinco continentes (Santos; Gavilanes, 2011).

Existem relatos que a domesticação do feijoeiro ocorreu aproximadamente 7000 anos atrás em dois centros de origem, na região dos Andes (Bolívia, Peru e América Central) e na Mesoamérica (México e América Central) (Freitas, 2010). Por conta desses dois centros de origem existe uma grande variabilidade genética e isso faz com que o feijoeiro seja capaz de se adaptar a uma grande variedade de ambientes e, em muitos países, é uma das espécies com maior variabilidade de caracteres agrônômicos (Santos; Gavilanes, 2011). Também é morfológicamente muito diversificado, com variações no hábito de crescimento, fenologia e pigmentação do grão e da vagem (Pinheiro, 2015).

O ciclo biológico do feijoeiro comum pode ser dividido em duas etapas, que são determinadas pelos seus estádios de desenvolvimento: vegetativa e a reprodutiva. Na etapa vegetativa estão presentes os estádios V0, V1, V2, V3 e V4 e na etapa reprodutiva estão presentes os estádios R5, R6, R7, R8 e R9 (Santos; Gavilanes, 2011).

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é muito consumido e de fundamental importância social e econômica na América Latina e África. Essa cultura ocupa papel de destaque por ser uma fonte barata e eficiente de proteínas, fibras, micronutrientes, entre outros componentes de muita importância para a manutenção de uma vida saudável (de Lima Castro et al., 2017).

Por possuir uma alta adaptação nos diversos solos e situações climáticas, o cultivo do feijoeiro comum se estende por todo o ano, podendo ser cultivadas três safras durante esse período. A primeira safra, no período de agosto a fevereiro, é concentrada nas regiões Sul e Sudeste; a segunda safra, entre janeiro a junho, tem o plantio predominante nas regiões do Centro-Oeste e Sul; e, por fim, a terceira safra nos meses de março a junho, sendo cultivado nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Nordeste (Conab, 2017).

Em âmbito mundial o feijão possui pouca importância econômica, isso se deve à falta de conhecimento do seu mercado, além do baixo consumo em países de primeiro mundo, que acaba limitando o comércio internacional. Outro fator que deve ser levado em conta é que os maiores produtores são também os maiores consumidores, fazendo com que o produto produzido permaneça nos limites de seus territórios. Aproximadamente 61% da produção mundial são provenientes de seis países, sendo Myanmar o maior produtor, seguido da Índia e do Brasil. Surgem ainda como maiores produtores a China, EUA e México (Conab, 2018).

Nos países que compõem o Mercosul a produção média nos últimos quatro anos ficou em 3,6 milhões de toneladas. O Brasil se destaca tanto como produtor quanto consumidor, sendo responsável por mais de 90% da produção, com 3,1 milhões de toneladas, seguido da Argentina com 350 mil toneladas, Paraguai com 56 mil toneladas e do Uruguai com 3,5 mil toneladas (Conab, 2018).

No Brasil, a primeira safra de 2018 somou 1,28 milhão de toneladas, a segunda safra 1,29 milhão de toneladas e a terceira safra 734 mil toneladas, sendo que o total da produção na temporada 2018 foi de 3,3 milhões de toneladas (Conab, 2018). Para 2019 é esperado uma redução na produção, sendo a primeira safra a mais produtiva, com 1,25 milhão de toneladas, a segunda safra com 1,17 milhão de toneladas e a terceira com 502,8 mil toneladas, somando um total de 2,93 milhões de toneladas estimadas para o ano (Sidra, 2019).

#### **FONTES DE VARIABILIDADE GENÉTICA EM *Phaseolus vulgaris* L.**

A existência de variação genética é importante para o sucesso de programas de melhoramento genético (Costa et al., 2004). Na espécie *Phaseolus vulgaris* L. a maior parte da variabilidade prontamente disponível é encontrada principalmente em dois centros de origem, sejam eles andinos e mesoamericanos (Singh et al., 1991). No entanto, a maior parte da variabilidade genética desta espécie no mundo vem sendo preservada e mantida *ex situ*, fora de seus centros de origem, em bancos de germoplasma, instituições públicas e empresas privadas (Cenargen, 2017). Outra proporção significativa da variabilidade genética presente na cultura está associada às sementes tradicionais de germoplasma, que são amplamente distribuídas entre os agricultores (Almeida e Schmitt, 2008).

Uma das características deste germoplasma tradicional está relacionada à sua alta diversidade genética e às práticas usadas por agricultores que utilizam muitas variedades para cada espécie cultivada, juntamente com o plantio consorciado com várias outras culturas. Isso propicia as sementes expressarem todo o seu potencial genético quando são acometidas por

limitações bióticas e abióticas (Santos, 2016). A existência dessa variabilidade inexplorada justifica os esforços na coleta, introdução e intercâmbio de germoplasma. A conservação *ex situ*, multiplicação e disponibilidade de bancos de dados é importante para o uso dessas fontes de genes, ampliando as opções de pesquisa e fontes de recursos genéticos disponíveis aos melhoristas (Cenargen, 2017).

Nesse sentido, pesquisas realizadas no Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT (2005) conseguiram identificar variedades tradicionais de feijão comum tolerantes à deficiência hídrica, baixo pH, solos de baixa fertilidade, baixo teor de fósforo, Manganês ( $Mn^{2+}$ ), toxicidade do alumínio ( $Al^{3+}$ ) e salinidade. Estudos com variedades derivadas desse germoplasma tradicional têm como principal razão a crescente necessidade de desenvolvimento de variedades melhoradas e que sejam compatíveis com os mais heterogêneos sistemas agrícolas brasileiros, buscando, em última instância, contribuir para o desenvolvimento socioeconômico dessas comunidades.

Um aspecto que é relevante para a variabilidade em bancos de germoplasma de feijão comum diz respeito não apenas ao uso, mas acima de tudo, à manutenção dessa variabilidade. Sabe-se que as duas causas principais para a redução da variabilidade genética em uma espécie são a seleção e a deriva genética durante o processo de domesticação (Gepts e Debouck, 1991; Gepts, 2004). Segundo Melo et al. (2011), a diversidade genética do pool gênico domesticado foi reduzida em comparação com o conjunto de genes de ancestrais selvagens, e a espécie *P. vulgaris* é um exemplo clássico deste fenômeno, uma vez que sofreu expressivas alterações nas suas propriedades durante a domesticação ou ainda com o processo de melhoramento. As mudanças podem ser observadas em características relacionadas à fertilidade das variedades atuais, devido ao menor número de flores, vagens e sementes em relação aos antepassados selvagens (Singh, 1999; Melo et al, 2011).

Além destas características, as cultivares modernas também apresentam outras diferenças em relação às formas selvagens, como por exemplo: um crescimento limitado e uma forma mais compacta nas plantas que as tornam mais baixas e eretas; folhas maiores; caule robusto; flores, sementes e vagens maiores; menor número de sementes por vagem; sementes com maior permeabilidade à água, permitindo germinação mais uniforme e menor tempo de cozimento; supressão do mecanismo de dispersão de sementes; variadas cores de sementes (Gepts e Debouck, 1991; Singh, 1999); redução do teor de fibra das vagens e insensibilidade ao fotoperíodo (Smartt, 1988, Melo et al., 2011).

### **IDEÓTIPO DE PLANTAS PARA O FEIJÃO COMUM**

O uso de germoplasma diversificado de feijão comum para melhorar a arquitetura da planta foi originalmente proposto por Adams (1973) durante uma conferência em Cali, Colômbia, que coincidiu com o estabelecimento do Programa de melhoramento de feijão no CIAT (Kelly, 2000).

A arquitetura da planta é um caráter complexo, depende da expressão de várias características, que juntas contribuem para que seja ereta ou prostrada (Kelly, 2000). Dessa forma, os programas de melhoramento que buscam um ideótipo para a arquitetura do feijão comum precisam levar em conta características como altura da planta, número e ângulo das ramificações na haste principal, número e comprimento de entrenós na haste principal, altura de inserção da primeira vagem, tamanho da folha, distribuição das vagens na planta, tamanho dos grãos e hábito de crescimento (Kelly, 2000).

Adams (1973) propôs um ideótipo para o feijão baseado em 11 características morfológicas envolvendo importantes mudanças arquitetônicas que visavam promover alta produtividade utilizando o menor espaçamento entre as linhas e com a densidade de plantas superiores. Das características propostas como relevantes, seis estavam ligadas a alterações morfológicas, sendo as demais fisiológicas.

Uma planta desta espécie idealizada por Adams (1973) deve ter as seguintes características: i) quanto ao eixo central da planta: o caule deve ser único ou com um número mínimo de ramos eretos, robusto e espesso, tendo vários nós e internódios de médio a longo comprimento; ii) em relação aos racemos: deve ser axilar e em cada nó, com muitas flores, comprimento total não muito longo e pedicelo curto; iii) no que diz respeito às folhas: devem ser numerosas, pequenas, possuírem muitas células mesofílicas, capazes de se orientar verticalmente e alto índice estomático; iv) quanto às vagens: devem ser longas e prolíferas, de paredes finas até a maturação.

Com relação às sementes: devem ser tão grandes quanto possível dentro dos limites aceitáveis da classe comercial a que a variedade pertence e quanto à forma de crescimento, deve ter um perfil determinado, estreito e ereto. Quanto à taxa de crescimento, a planta deve apresentar um rápido acúmulo de área foliar e estabelecimento inicial precoce e sequencial de unidades nutricionais e longos períodos desde a floração até a maturação. A absorção e transporte de minerais devem ser suficientes para todos os requisitos e a taxa fotossintética

deve ser elevada e duradoura para todas as folhas, apresentando taxa elevada de translocação de fotoassimilados das folhas para o dreno (Adams, 1973).

Posteriormente, com base em parâmetros fisiológicos, Adams (1982) definiu mais três características arquitetônicas que seriam fundamentais no rendimento de grãos em leguminosas: a planta deve ser capaz de construir um dossel eficiente para interceptar toda a luz incidente, absorver, espalhar e transmitir radiação fotossinteticamente ativa ao longo do perfil da planta; construir o dossel de modo que o perfil consista em tantas unidades fitoméricas (unidades fonte-dreno) quanto possível e viável e tornar cada planta tão funcionalmente eficiente quanto possível, com um ajuste da relação fonte-dreno, maximizando o tamanho do dreno em relação à fonte.

Com base em novas evidências científicas acumuladas, Adams (1982) propõe uma correção em relação ao ideótipo da arquitetura da planta para alta produção atual, onde: as plantas deveriam ser altas, com 12 a 15 nós na haste principal; apresentar número moderado de ramos na base da planta (3-5); apresentar desenvolvimento indeterminado moderado e grande tamanho geral da planta, com internódios superiores mais longos e mais numerosos que os internódios basais; haste com diâmetro de espessura maior, bem como perfil de planta estreita, valores altos dos componentes primários de produção e apresentar índice da área foliar próximo a 4 na floração.

O autor elenca mais algumas características necessárias para alta produtividade, tais como: folhas devem ser pequenas e capazes de orientação induzida pela luz; manutenção da área da foliar durante todo o ciclo, apresentando maior peso seco específico da folha, mobilizando novamente o amido armazenado nos caules e raízes durante o enchimento da vagem e das sementes; alta taxa de enchimento de sementes e duração maior da fase de enchimento de sementes.

Uma característica importante para os programas de melhoramento é a altura da inserção das vagens, dada a modernização do cultivo da cultura aliada à sua produção em larga escala. Esta forma de produção exige uma altura de inserção de vagens mais alta e mais uniforme visando à prática de colheita mecanizada. A planta ideal para colheita mecanizada possui altura aproximada de 50 cm, com hábito de crescimento tipo I ou II; ramificação compacta, com três ou quatro ramificações primárias, cujo ângulo de inserção é agudo; resistência ao acamamento; vagens concentradas no ramo principal e nos dois terços superiores da planta; vagens com comprimento entre 6 a 8 cm; maturação uniforme e boa desfolha natural no momento da colheita (Simone et al.,1992).

## MELHORAMENTO GENÉTICO DO FEIJOEIRO COMUM

Nas etapas de melhoramento, muitos caracteres de interesse devem ser levados em consideração para que seja possível a obtenção de genótipos de interesse, e que possam atender as exigências tanto dos produtores quanto dos consumidores (Arantes, 2009).

Cada etapa do melhoramento deve ser bem planejada, um passo de fundamental importância é a escolha do método a ser utilizado. Geralmente os melhoristas não optam por apenas um método de melhoramento, mas sim a combinação desses. De forma geral é feita a introdução das plantas, seleção massal, método genealógico, seleção recorrente, retrocruzamentos, descendente de uma única semente e hibridações (Tsutsumi et al., 2015). Segundo os mesmos autores, no Brasil, o que se tem buscado atualmente na cultura do feijoeiro são resistências a insetos e doenças, tolerância a temperaturas altas, tolerância à seca, melhorias nas condições de colheita mecanizada, características radiculares para melhorar a fixação biológica de nitrogênio, aumento na produtividade, e características de pós colheita, como tempo de cozimento e qualidade nutricional.

Em relação à resistência a doenças, a mais buscada no melhoramento do feijoeiro é a resistência à antracnose, causada pelo fungo *Colletotrichum lindemuthianum*. Devido à grande variabilidade do patógeno e sua constante evolução, a busca pela resistência é difícil, e um dos principais problemas é a obtenção de variedades que possuam uma resistência durável (Piero e Garda, 2008).

A variabilidade genética é de fundamental importância nos programas de melhoramento. Pode ser encontrada em bancos de germoplasma e também na agricultura familiar. Em tais condições podem ser encontrados muitos genótipos distintos, pois cada agricultor tem a sua preferência pela variedade que vem sendo repassada durante as gerações dentro de sua família e entre vizinhos, estando diretamente ligados à diversidade de preferência dos consumidores e agricultores (Gonçalves et al., 2014). Porém, essa variabilidade genética que era mantida pela agricultura familiar está se perdendo pela substituição das variedades locais por cultivares comerciais (Cabral et al., 2011).

## ESTRESSE HÍDRICO E SUAS IMPLICAÇÕES

A água tem papel fundamental no desenvolvimento das plantas, sendo essencial na dissolução dos nutrientes, participa nas reações químicas, na fotossíntese, possibilita o resfriamento evaporativo e manutenção da estrutura de turgescência interna. Com o

murchamento da planta, a turgescência se aproxima de zero, as células começam a entrar em colapso acarretando em danos às membranas, podendo até ocorrer a desnaturação de proteínas, entretanto, dependendo da situação as mesmas células podem se recuperar após o estresse hídrico (Omae et al., 2008).

A falta de água é um dos estresses abióticos que mais afeta a produção de feijão, ocorrendo em muitas regiões do mundo, inclusive no Brasil, principalmente na região Nordeste (Wortmann e Allen 1994; Singh, 1995).

O déficit hídrico afeta negativamente o aumento dos cultivos agrícolas, é considerado o principal fator redutor da produtividade (Flexas et al., 2006). Em condições de escassez hídrica as plantas tendem a fechar os estômatos para evitar a redução da água. As perdas podem chegar a 60% quando submetidas a condições de estresse hídrico durante o florescimento (Silva et al., 2006). E outra consequência da falta de água é a redução do ciclo da cultura (Carvalho, 2009).

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L), ao ser exposto ao estresse hídrico por curto prazo apresenta algumas estratégias de adaptação, por exemplo, alterações no sinal hidráulico ou ajuste dos estômatos (Tilahun et al., 2004). Quando exposto a condições de seca por alguns dias ou semanas, é estimulado a desenvolver estratégias fisiológicas, podendo ser alterações de área foliar e a longo prazo modificação de raiz, dispondo assim de uma variedade de características anatômicas, fisiológicas e morfológicas que permitem a sua sobrevivência em ambientes com limitação de água (Setegn, 2006).

A manutenção da deficiência hídrica na planta altera o equilíbrio entre a produção de assimilados, o que afeta o desenvolvimento dos órgãos, reduzindo a área foliar, conseqüentemente, reduzindo a taxa fotossintética da planta. Este fenômeno possui caráter quantitativo e pode ser observado medindo certas variáveis, como: comprimento, largura, diâmetro, acumulação de massa seca, número de nós ou entrenós, área foliar produzida, entre outras (Gerik et al., 1996).

A falta de água é um dos principais problemas relacionados à produção do feijão comum, afetando grande parte das plantações ao redor do mundo (Ramalho et al., 2009). Isso se deve ao fato de o feijão ser uma leguminosa de baixa tolerância ao estresse hídrico, e também porque 60% das áreas de cultivo do planeta estão susceptíveis a esse fator, tornando a seca o maior redutor da produção (Aguiar et al., 2008; Beebe et al., 2008). Segundo Soratto et al. (2003), a baixa disponibilidade de água no solo afeta a produção, principalmente quando ocorre nos estádios de germinação, florescimento e enchimento de grãos. Devido a esses

pontos é importante o modo como as plantas respondem ao estresse hídrico, essa resposta influi diretamente no rendimento de grãos (Custódio et al., 2009).

Algumas práticas relacionadas ao manejo contribuem para minimizar as perdas através de estresses abióticos, porém, através do melhoramento genético que foi obtido maior progresso (Singh, 1995). Isso é possível porque algumas plantas possuem tolerância e conseguem interpretar uma diversidade de sinais metabólicos e ambientais que são responsáveis por regular a expressão de determinados genes que auxiliam no período de estresse (Custódio et al., 2009). Uma das formas de remediar esse problema enfrentado pela cultura do feijão é utilizar esses genótipos tolerantes como parentais em programas de melhoramento, compondo os blocos de cruzamentos. Além disso, os genótipos contrastantes são importantes no estudo genético para identificação dos genes relacionados ao estresse hídrico (Vale et al., 2012).

As plantas possuem diversos mecanismos de adaptação que proporcionam maior estabilidade e produtividade em condições de deficiência hídrica. Entre elas podem ser destacadas a redução da perda de água por transpiração e a manutenção da absorção de água. A deficiência hídrica é gradual e afeta primeiro os processos mais sensíveis e depois os menos sensíveis, esses dois processos em conjunto são afetados, resultando em uma desordem metabólica em cadeia (Guimarães, 1996).

Segundo os autores Fernández et al. (1996), um dos processos mais sensíveis ao estresse hídrico é o crescimento celular, principalmente no momento da expansão celular. Durante o período de estresse hídrico ocorre um desequilíbrio entre a produção de assimilados e a formação dos órgãos reprodutivos que são severamente afetados, devido à diminuição da área fotossinteticamente ativa da planta (Gerik et al., 1996). Os danos devido ao estresse hídrico têm início quando a taxa de evapotranspiração é superior à taxa de absorção e transmissão da água para a parte aérea da planta. A deficiência hídrica está associada à falta de água no solo e à profundidade das raízes (Contin, 2008). Dessa forma, quanto menor o suprimento de água disponível para ser absorvida pelas raízes maior é o efeito causado à planta (Guimarães et al., 2006).

Grande parte das culturas possuem estádios de desenvolvimento que são mais susceptíveis ao estresse hídrico. Para a cultura do feijoeiro comum, os efeitos da deficiência hídrica em períodos vegetativos e reprodutivos já estão bem determinados (Moreira et al., 1996). Na fase vegetativa da planta o efeito é indireto, pois ocorre redução na área foliar e conseqüentemente redução na taxa fotossintética da planta (Carvalho, 2009). Os autores

Oliveira e Kluthcouski (2009) observaram que o estresse hídrico entre os estádios  $V_2$  a  $V_4$  resulta em tamanho e desenvolvimento menor da planta, do estágio  $V_1$  a  $R_5$  interfere de forma negativa no potencial produtivo. No período de pré-florescimento a deficiência hídrica causa o abortamento de flores e aumenta o ciclo da cultura (Oliveira; Kluthcouski, 2009). No estágio de florescimento a altura da planta é reduzida e também o número de sementes por vagem, assim como o número de vagens por planta (Silva; Ribeiro, 2009). De acordo com Zlatev e Stoyanov (2005), a falta de água no florescimento e enchimento de grãos reduz a produtividade, peso de sementes e também acelera a maturação do feijão.

No estágio de formação das vagens ( $R_7$ ) a deficiência hídrica causa o abortamento dos óvulos, resultando em vagens chochas. Quando ocorre no estágio de enchimento de vagens ( $R_8$ ), resulta em queda de vagens jovens, e tendo em vista que o enchimento das vagens ocorre da base para as pontas, ocorrem vagens com pontas chochas, além de diminuir o ciclo da cultura. No estágio de maturação fisiológica ( $R_9$ ) a massa de grãos é afetada (Oliveira; Kluthcouski, 2009). Plantas submetidas ao estresse hídrico reduzem a turgescência e isso acarreta em uma menor expansão celular, promovendo uma redução no alongamento das células das folhas e caules (Resende et al. 1981). Em condição de deficiência hídrica a translocação de fotoassimilados para as raízes é afetada, comprometendo o crescimento da planta (Babalola 1980). Leite et al. (1999) citam que as folhas são os centros de produção de fotoassimilados e o estresse hídrico compromete essa produção, afetando o crescimento e produção.

Além de diminuir a área foliar, o déficit hídrico pode causar a morte parcial de folhas, enrolamento e abscisão, diminuição da polinização, brotação, translocação e enchimento de grãos e abortamento de vagens (Ritchie, 1981). A água participa de inúmeras reações químicas responsáveis pela turgescência celular. Uma diminuição dos níveis ideais de água na célula compromete os processos fisiológicos e conseqüentemente afeta todos os componentes de crescimento (Páez et al., 1995). A resposta da planta à deficiência hídrica é controlada por vários genes, cada um com uma função específica, mas que em conjunto são essenciais para uma maior tolerância ao estresse hídrico. Assim, à medida que a água das células é perdida são iniciados os processos para ajustar o metabolismo da planta, adaptando a mesma às novas condições (Bray, 1993).

A deficiência hídrica induz o fechamento de estômatos, reduz a fotossíntese e o crescimento da planta. Alterações na habilidade fotossintética são indicativos de estresse hídrico, e nessas condições a planta passa a armazenar substâncias prejudiciais, assim como o

metabolismo e o transporte também são afetados (Guo et al., 2011). Quando a perda de água está acelerada a planta procede com o fechamento estomático, reduzindo as concentrações de CO<sub>2</sub> no mesófilo foliar, resultando no acúmulo de NADPH. O oxigênio passa a atuar como receptor alternativo de elétrons na cadeia de transporte, que ocorre nas membranas do tilacóide, formando radicais de superóxido (Zlatev et al., 2006).

Existem vários mecanismos responsáveis pela tolerância da planta à falta de água, a adaptação ao estresse hídrico é uma função poligênica, que depende de muitas características morfológicas e fisiológicas, onde os genótipos mais tolerantes apresentam mudanças tanto quantitativas quanto qualitativas na expressão de seus genes (Pimentel et al., 1990).

O destino das plantas submetidas ao estresse hídrico depende da tolerância da mesma e da duração do estresse. Em condições de estresse hídrico a planta toma algumas medidas para favorecer a sobrevivência, como: aumentar a produção de espécies reativas ao oxigênio (ROS) e de moléculas-alvo oxidadas; aumentar a expressão de genes com funções antioxidantes; aumentar os níveis dos sistemas antioxidantes; melhoria na capacidade de eliminação do ROS, aumentando a tolerância ao estresse hídrico (Mano, 2002).

#### **APLICAÇÕES DA MODELAGEM MISTA REML/BLUP NO MELHORAMENTO DE PLANTAS AUTÓGAMAS**

Entre os procedimentos de análise estatística, a análise de variância (ANAVA) é provavelmente o que possui maior repercussão na pesquisa científica (Resende, 2007). Esse método foi desenvolvido e proposto por R. A. Fisher no ano de 1919. Seu objetivo com esse novo método era aumentar a eficiência na seleção de linhagens em programas de melhoramento. Após a divulgação e ampla aceitação da ANAVA foram sendo criados inúmeros métodos de tratamentos de dados para superar novas dificuldades e tornar ainda mais aprimorada a técnica.

Entre esses métodos está a análise de modelos mistos, proposto por Henderson (1973). Esse modelo envolve a predição de valores genéticos pelo procedimento da melhor predição linear não viesada (BLUP) e também a estimação dos componentes de variância pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML) (Resende, 2002).

O método de modelos mistos permite realizar a análise em dados desbalanceados, e nessas condições as predições se tornam mais confiáveis se comparado ao Método dos Quadrados Mínimos (MQM), e também maximiza o uso dos dados, pois explora as informações entre indivíduos aparentados. Por outro lado, quando os dados não são

desbalanceados o método de modelos mistos e quadrados mínimos se equivalem. O BLUP é um método padrão para predição de efeitos aleatórios, sendo que seu uso só passou a ser rotineiro após a chegada de computadores e softwares estatísticos modernos (Resende, 2002).

Os modelos mistos são caracterizados pela presença de efeitos fixos e aleatórios no modelo adotado, isso gera uma dúvida, de quando os efeitos devem ser considerados fixos ou aleatórios (Bruzzi, 2008).

Segundo Resende (2002), quando a avaliação de genótipos em um único ambiente é feita através de amostragem de uma população, estamos diante de uma típica situação de modelos mistos, pois nesse experimento estão presentes efeitos fixos e aleatórios, são fixos com relação ao ambiente, e aleatórios com relação aos genótipos.

É comum para os melhoristas ao realizar os experimentos considerarem o modelo como fixo e a partir disso fazer as médias dos tratamentos e proceder com o ordenamento dessas médias. Segundo Duarte e Vencovsky (2001), quando se passa de uma análise assumindo genótipos como efeitos fixos para efeitos aleatórios, na ausência de desbalanceamento, é possível observar o efeito de “*shrinkage*”, esse efeito acarreta em um encolhimento da distribuição das médias ajustadas dos tratamentos em torno da média geral e isso tem como resultado uma maior acurácia seletiva. Porém, na avaliação e ordenamento genotípico a maior preocupação não recai sobre a natureza dos tratamentos, e sim na adoção precisa dos estimadores e preditores, que apresentem um mínimo de erro quadrático médio, sendo os estimadores “*shrinkage*” de fundamental importância no processo de melhoramento (Duarte e Vencovsky, 2001; Resende e Duarte, 2007).

No método de máxima verossimilhança restrita proposto por Patterson e Thompson (1971), cada observação é dividida em duas partes independentes, um referente a efeitos fixos e outro referente a efeitos aleatórios, de modo que a função de densidade de probabilidade das observações é dada pela soma das funções de densidade de probabilidade de cada parte.

Maximizar a função de densidade de probabilidade da parte relacionada a efeitos aleatórios com relação aos componentes da dispersão elimina o deslocamento devido à perda de graus de liberdade ao avaliar os efeitos fixos do modelo (Resende e Duarte, 2007). As equações REML com dados balanceados são idênticas aos estimadores da ANAVA, que são não viesados e com mínima variância. O estimador REML leva em consideração os graus de liberdade associados às estimativas de efeitos fixos, e no caso de dados desbalanceados, tal avaliador é considerado como viesado (Searle, 1987).

Nos programas de melhoramento, quando é realizada a avaliação em múltiplos ambientes e anos agrícolas, é visível o desbalanceamento dos dados. Isso se deve ao fato de que as progênies em estudo estão em constante modificação e as que não conseguem se adaptar são eliminadas, bem como novas informações podem ser adicionadas ao programa. Sendo assim, o uso do BLUP seria uma alternativa viável para diminuir os custos e o tempo necessários para avaliação dos híbridos (Bruzi, 2008).

De acordo com Resende (2007), o teste de verossimilhança (LRT) é mais adequado para analisar dados desbalanceados em vez do teste F tradicional utilizado no método de análise de variância. A tabela criada pela LRT, denominada análise de *deviance*/desvios (ANADEV), é semelhante à tabela gerada pela análise de variância. O desvio que mede a qualidade do ajuste entre os dados observados e os dados gerados pelo modelo é determinado pela diferença do logaritmo da função de verossimilhança do modelo superparametrizado em relação ao logaritmo da função de verossimilhança do modelo em estudo.

ANADEV é executada testando-se primeiramente os modelos para a presença e ausência do efeito de interesse por meio da obtenção do ponto máximo do logaritmo da função de verossimilhança residual (Log L) e com isso temos o desvio ( $D = -2 \log L$ ) para estes modelos. Para obter o coeficiente de verossimilhança (LR), o desvio é subtraído entre os modelos com e sem o efeito de interesse. Por meio do teste de qui-quadrado ( $\chi^2$ ), com 1 grau de liberdade, testa-se, assim, via LRT, a significância dessa diferença (Sturion e Resende, 2010).

Uma das características da utilização do BLUP é a possibilidade de realizar cruzamentos baseados na predição de valores genéticos associados a observações fenotípicas, bem como para uso em melhoramento genético para prever o desempenho genético de híbridos que não estão presentes ou foram perdidos, baseados em covariâncias genéticas entre genótipos a serem cruzados (Resende, 2007). Assim, a predição de valores genotípicos do BLUP pode ser uma alternativa para prever o desempenho dos descendentes deste cruzamento, o que é de grande importância para programas de melhoramento, pois permite aos melhoristas realizar combinações com maior potencial (Bruzi, 2008).

De acordo com Resende (2007), a metodologia REML/BLUP prevê a ordenação de genótipos, explorando todas as variações genotípicas entre e dentro da progênie, mas levando em consideração cada variável analisada separadamente. Ao analisar o efeito do tratamento, tomando-os aleatoriamente, testes de comparações múltiplas entre as médias do tratamento não devem ser utilizados, pois esses testes são derivados de uma suposição de efeitos fixos do

tratamento e, além disso, produzem inferências sobre médias fenotípicas e não sobre médias genotípicas (Resende, 2004).

O que se obtém da análise de modelos mistos é um ordenamento decrescente dos genótipos de acordo com seus valores genéticos, corrigidos e penalizados para a ocorrência de efeitos ambientais (Duarte e Venkowsky, 2001).

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do trabalho realizado foi possível obter as seguintes observações, que serão muito pertinentes em futuros trabalhos que visam à seleção de genótipos com tolerância e/ou resistência ao estresse hídrico: por meio da ANADEV foi observado que apenas a característica número de dias para preenchimento não apresentou diferença significativa. Por meio dos componentes de variância REML, foi possível observar potencial na seleção de genótipos promissores do cruzamento entre as cultivares IAPAR81× LP97-28.

Utilizando-se BLUP's e pressão de seleção de 15%, para ambos os experimentos, sem estresse hídrico e com estresse hídrico, para as características: produtividade, produtividade por dia, massa de 100 grãos, altura de plantas, número de vagens por plantas, número de dias para florescimento, número de dias para maturação foram identificadas progênies que apresentaram desempenho superior aos parentais e às testemunhas avaliadas.

Levando-se em consideração a análise conjunta entre as diversas características avaliadas, os genótipos 18; 19; 27; 57; 58; 91; 125; 130; 138; 156; 199; 219; 220; 248; 266; 284; 285; 306 foram os melhores em relação ao experimento sem estresse hídrico. Já os genótipos 27; 29; 102; 123; 130; 176; 199; 201; 219; 224; 244; 245; 257; 273; 279; 287; 290; 311; 312; 340; 344 apresentaram melhor desempenho no experimento com estresse hídrico.

No experimento com condições pluviométricas normais (sem estresse hídrico) o genótipo 19 foi 91,97 kg ha<sup>-1</sup> superior à melhor testemunha, cultivar comercial e parental tolerante IAPAR 81. No experimento com estresse hídrico o genótipo 130 foi 24,83 kg ha<sup>-1</sup> mais produtivo que a melhor testemunha, cultivar comercial Guará.

Combinando-se as características produtividade, massa de 100 grãos e altura de plantas as melhores progênies foram 19; 57 e 156 no experimento sem estresse hídrico. Entretanto, no experimento com estresse hídrico as progênies que se destacaram para essa mesma característica foram 344 e 27.

Quando combinadas as características produtividade, massa de 100 grãos e número de vagens por planta as melhores progênies foram 19; 266; 156; 58; 57, no experimento sem

estresse. No experimento com estresse hídrico as progênes 287; 312; 27 foram as que se destacaram.

Para as características analisadas conjuntamente: produtividade, massa de 100 grãos, altura de plantas e número de vagens por planta, as progênes 19; 156; 57 foram melhores no experimento sem estresse, e a progênie 27 foi a melhor no experimento com estresse hídrico.

### CONCLUSÃO

A utilização de modelos mistos propiciou a identificação de linhagens resistentes/tolerantes a seca, destacando-se a progênie 27.

### REFERÊNCIAS

ADAMS, M.W. Plant architecture and physiological efficiency in the field bean. In: **Potential of field beans and other food legumes in Latin America**. Colombia: Cali, 1973. p.226-278.

ADAMS, M.W. Plant architecture and yield breeding. **Iowa State Journal of Research**, v.56, p.225-254, 1982.

AGUIAR, R.S.; MODA-CIRINO, V.; FARIA, R.T.; VIDAL, L.H.I. Avaliação de linhagens promissoras de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes ao déficit hídrico. **Ciências Agrárias**, Londrina, v.29, n.1, p.1-14, 2008.

ALMEIDA, P.; SCHMITT, C. **Sementes e Soberania alimentar**. Texto preparatório ao Seminário Soberania Alimentar – Recife: Heifer Internacional, 2008. 35p.

ARANTES, L.O. **Oito ciclos de seleção recorrente visando a resistência a mancha-angular no feijoeiro**. 2009. 67p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

BABALOLA, O. Water relations of three cowpea cultivars *Vigna unguiculata* L. Walp. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.56, p.59-69, 1980.

BEEBE, S.E.; IDUPULAPATI, R.A.O.; MATTHEW, W.B.; BUTARE, L. Selection for drought resistance in common bean also improves yield in phosphorus limited and favorable environments. **Crop Science**, Madison, v.48, n.2, p.582-592, 2008.

BELLUCCI, E.; BITOCCHI, D.; RODRIGUEZ, M.; BIAGETTI, E.; GIARDINI, A.; ATTENE, G.; NANNI, L.; PAPA, R. Genomics of Origin, Domestication and Evolution of *Phaseolus vulgaris*. In: TUBEROSA R., GRANER A., FRISON E. (Ed.). **Genomics of Plant Genetic Resources**. Dordrecht: Springer, 2014. p.483-507.

BORÉM, A; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Viçosa: Editora UFV, 2011. 250p.

BRAY, E.A. Molecular responses to water deficit. **Plant Physiology**, Rockville, v.103, n.4, p. 1035-1040, 1993.

BRUZI, A.T. **Aplicações da análise de modelos mistos em programa de seleção recorrente do feijoeiro comum**. 2008. 71p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras-UFLA, Lavras, 2008.

CABRAL, P.D.S.; SOARES, T.C.B.; LIMA, A.B.P.; ALVES, D.S.; NUNES, J. A. Diversidade genética de acessos de feijão comum por caracteres agronômicos. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.42, n.4, p.898-905, 2011.

CARVALHO, J.J. **Comparação de métodos de manejo da irrigação no feijoeiro, nos sistemas plantio direto e convencional**. 2009. 76p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

CASTRO, S.A.L.; GONÇALVES-VIDIGAL, M.C.; GILIO, T.A.S.; LACANALLO, G.F.; VALENTINI, G.; MARTINS, V.S.R.; SONG, Q.; GALVÁN, M.Z.; HURTADO-GONZALES, O.P.; PASTOR-CORRALES, M.A. Genética e mapeamento de um novo locus de resistência a antracnose no feijoeiro andino Paloma. **BMC Genomics**, London, v.18, n.1, p.306, 2017.

CENARGEN - Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. **Banco Ativo de Germoplasma de Feijão (*Phaseolus vulgaris*)**. Disponível em: [plataformarg.cenargen.embrapa.br/.../pa4-banco-ativo-de-germoplasma-de-feijao-phaseolus-vulgaris](http://plataformarg.cenargen.embrapa.br/.../pa4-banco-ativo-de-germoplasma-de-feijao-phaseolus-vulgaris). Acesso em: 10 set. 2017.

CIAT. **Utilização da diversidade genética do feijão em África**. Série Destaques: CIAT em África. v.21, p.1-2, 2005.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Compêndio de Estudos Conab / Companhia Nacional de Abastecimento**. v.5, Brasília, 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Perspectivas para a agropecuária**. Brasília, v.6, p.1-112, 2018.

CONTIN, F.S. **Tecnologia do irrigâmetro aplicada no manejo da irrigação do feijoeiro**. 2008. 52p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

COSTA, M.M.; MAURO, A.O.D.; UNÊDA-TREVISOLI, S.H.; ARRIEL, N.H.C.; BÁRBARO, I.M.; MUNIZ, F.R.S. Ganho genético por diferentes critérios de seleção em populações segregantes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.11, p.1095-1102, 2004.

CUSTÓDIO, C.C.; VIVAN, M.R.; NUNES, R.C.A.; AGOSTIN, E.A.T. Tolerância cruzada induzida por choque térmico na germinação de semente de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v.31, n.1, p.131-143, 2009.

DUARTE, J.B.; VENCOVSKY, R. Estimação e predição por modelo linear misto com ênfase na ordenação de médias de tratamentos genéticos. **Scientia Agricola**, v.58, n.1, p.109-117, 2001.

FERNÁNDEZ, C.J.; McINNES, K.J.; COTHREN, J.T. Water status and leaf area production in water-and nitrogen-stressed cotton. **Crop Science**, Madison, v.36, n.1, p.1224-1233, 1996.

FLEXAS, J.; CARBÓ, M.R.; BOTA, J.; GALMÉS, J.; HEKLE, S. Decreased Rubisco activity during water stress is not induced by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO<sub>2</sub> concentration. **New Phytologist**, v.172, p.73-82, 2006.

GEPTS, P. Crop domestication as a long-term selection experiment. **Plant Breeding Reviews**, v.24, p.1-44, 2004

GEPTS, P.; DEBOUCK, D. Origin, domestication, and evolution of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). In: VAN SCHOONHOVEN, A.; VOYSEST, O. (Ed.). **Common beans: research for crop improvement**. Wallingford: CAB/CIAT. 1991. p.7-53.

GERIK, T.J.; FAVER, K.L.; THAXTON, P.M. et al. Late season water stress in cotton: I. Plant growth, water uses, and yield. **Crop Science**, Madison, v.36, p.914-921, 1996.

GONÇALVES, D.L.; AMBROZIO, V.C.; BARELLI, M.A.A; NEVES, L.G.; SOBRINHO, S.P.; LUZ, P.B.; SILVA, C.R. Divergência genética de acessos tradicionais de feijoeiros através de características da semente. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.30, n.6, p.1671-1681, 2014.

GUIMARÃES, C.M.; STONE, L.F.; BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.7, p.481-488, 1996.

GUIMARÃES, C.M.; STONE, L.F.; BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.1, p.70-75, 2006.

GUO, L.; WANG, D.; MA, H.; YIN, W.; XIA, X. Complementary DNA-amplified fragment length polymorphism (AFLP-cDNA) analysis of differential gene expression from the xerophytes *Ammopiptanthus mongolicus* in response to cold, drought and cold together with drought. **African Journal of Biotechnology**, Victoria Island, Lagos, v.10, n.19, p.3715-3725, 2011.

HENDERSON, C.R. Sire evaluation and genetics trends. In: **Animal breeding and genetic symposium in honor of Dr. Jay L. Lush**. Champaign, Illinois, 1973. p.10-41. Híbridação artificial de plantas. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. p.269-294.

KELLY, J.D.; Remaking bean plant architecture for efficient production. **Advances in Agronomy**, v.71, p.109-143, 2000.

LEITE, M. L. Efeitos do déficit hídrico sobre a cultura do caupi *Vigna unguiculata* L. Walp, cv. EMAPA-821. II - Análise de crescimento. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.74, n.3, p.351-370, 1999.

MANO, J. Early events in environmental stresses in plants – induction mechanisms of oxidative stress. In: INZE, D.; MONTAGO, M.V. (Ed.). **Oxidative stress in plants**. New York: Taylor and Francis, 2002. p.217-245.

MELO, L.C.; DEL PELOSO, M.J.; SARTORATO, A.; PEREIRA, P.A.A. Pré-melhoramento do feijão comum. In: **Pré-melhoramento de plantas: estado da arte e experiências de sucesso**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2011. p.441-485.

MOREIRA, J.A.A.; SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. Irrigação. In: ARAUJO, R. S. (Ed.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p.465-522.

OLIVEIRA, P.; KLUTHCOUSKI, J. Práticas indutoras do crescimento radicular das principais culturas anuais, com ênfase na cultura do feijoeiro. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H (Ed.). **Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA, 2009. p.185-223.

OMAE, H., KUMAR, A., EGAWA, Y., KASHIWABA, K. SHONO, M. **Water consumption in different heat tolerant cultivars of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.)**. In: 5<sup>th</sup> International Crop Science Congress, Jeju, Setembro, 2008, 10-15p.

PÁEZ, A.; GONZÁLEZ, M.E.; YRAUSQUÍN, O.X. Water stress and clipping management effects on guinea grass: I. Growth and biomass allocation. **Agronomy Journal**, Madison, v.87, p.698-706, 1995.

PATTERSON, H.D.; THOMPSON, R. Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. **Biometrika**, v.58, p.545-554, 1971.

PETERNELLI, L.A.; BORÉM, A. Hibridação artificial em feijão. In: BORÉM, A. (Ed.). PIERO, R.M.; GARDA, M.V. Quitosana reduz a severidade da antracnose e aumenta a atividade de glucanase em feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.9, p.1121-1128, 2008.

PIMENTEL, C.; JACOB, J.; GOI, S.R.; PESSANHA, G.G. Estresse hídrico em cultivares de *Phaseolus vulgaris* L. em simbiose com o *Rhizobium leguminosarum* biovar phaseoli. **Turrialba**, Costa Rica, v.40, n.4, p.520-526, 1990.

PINHEIRO, L.R. **Correlações entre os caracteres estruturais determinantes dos hábitos de crescimentos das cultivares de feijão**. 2015. 152p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

RAMALHO, M.A.P.; SILVA, G.S.; DIAS, L.A.S. Genetic plant improvement and climate changes. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v.9, n.2, p.189-195, 2009.

RESENDE, M.D.V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2002. 975p.

RESENDE, M.D.V. **Novas abordagens estatísticas na análise de experimentos de campo**. Colombo, Documentos Embrapa Florestas. 2004. 60p.

RESENDE, M.D.V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 561p.

RESENDE, M.D.V.; DUARTE, J.B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.37, n.3, p.182-194, 2007.

RESENDE, M.D.V.; HENDERSON, D.W.; FERERES, E. Frequência de irrigação e produção de feijão Kidney. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.16, n.3, p.363-370, 1981.

RITCHIE, J.T. Water dynamics in the soil-plant atmosphere system. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.58, p.81-96, 1981.

SANTOS, E.E. **Produção e qualidade da variedade local de feijão Gurgutuba em resposta a diferentes adubações**. 2016. 98p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Agroalimentar) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Agroalimentar, Bananeiras, 2016.

SANTOS, J.B.; GAVILANES, M.L. Botânica. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T.J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão**. Viçosa: 2011. p.41-65.

SCHMUTZ, J.; MCCLEAN, P.E.; MAMIDI, S.; WU, G.A.; CANNON, S.B.; GRIMWOOD, J.; JENKINS, J.; SHU, S.; SONG, Q.; CHAVARRO, C.; TORRES, T.T.; GEFFROY, V.; MOGHADDAM, M.F.; GAO, D.; ABERNATHY B.; BARRY, K.; BLAIR, M.; BRICK, M.A.; CHOVIATIA, M.; GEPTS, P.; GOODSTEIN, D.M.; GONZALES, M.; HELLSTEN, U.; HYTEN, D.L.; JIA, G.; KELLY, J.D.; KUDRNA, D.; LEE, R.; RICHARD, M.M.S.; MIKLAS, P.N.; OSORNO, J.M.; RODRIGUES, J.; THAREAU, V.; URREA, C.A.; WANG, M.; YU, M.; ZHANG, M.; WING, R.A.; CREGAN, P.B.; ROKHSAR, D.S.; JACKSON, S.A. A reference genome for common bean and genome-wide analysis of dual domestications. **Nature Genetics**, v.46, n.7, p.707-713, 2014.

SCHNEIDER, K.A.; BROTHERS, M.E.; KELLY, J.D. Marker assisted selection to improve drought resistance in common bean. **Crop Science**, v.37, p.51-60, 1997.

SEARLE, S.R. **Linear models for unbalanced data**. New York: John Wiley e Sons, 1987. 536p.

SETEGN, G. **Physiological response to drought stress of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2006. PhD Dissertation, Justus-Liebig-University of Giessen, Germany, 2006.

SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola - fevereiro 2019.** Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>. Acessado: 23 de março de 2019.

SILVA, M.G. Rendimento do feijoeiro irrigado cultivado no inverno em sucessão de culturas, sob diferentes preparos do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.28, n.3, p.433-439, 2006.

SILVA, B.B.; MENDES, F.B.G.; KAGEYAMA, P.Y. **Desenvolvimento econômico, social e ambiental da agricultura familiar pelo conhecimento agroecológico.** 2005. 4p. Espinheira-Santa. Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2009.

SIMONE, M.; FAILDE, V.; GARCIA, S.; PANADERO, P.C. **Adaptación de variedades y líneas de judías secas (*Phaseolus vulgaris* L.) a lare colección mecânica directa.** Salta: INTA, 1992. 5p.

SINGH, S.P. Selection for water-stress tolerance in interracial populations of common bean. **Crop Science**, Madison, v.35, n.1, p.118-124, 1995.

SINGH, S.P. Production and Utilization. In: SINGH, S.P. (Ed.). **Developments in plant breeding: common bean improvement in the twenty-first century.** Dordrecht: Springer Science and Business Media, 1999. 405p.

SINGH, S.P.; GEPTS, P.; DEBOUCK, D. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). **Economic Botany**, v.45, p.379-396, 1991.

SORATTO, R.P.; ORIVALDO, A.R.F.; RODRIGUES, R.A.F.; BUZETTI, S.; SILVA, T.R.B. Resposta do feijoeiro ao preparo do solo, manejo de água e parcelamento do nitrogênio. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.25, n.1, p.89-96, 2003.

SOUZA, W.J.O.; SANTOS, I.Z. Cultivo de feijoeiro em diferentes sistemas de preparo do solo no noroeste paulista. **Nucleus**, v.5, n.2, p.243-254, 2008.

STURION, J.A.; RESENDE, M.D.V. Avaliação genética e análise de *Deviance* em um teste desbalanceado de procedência e progênie de *Ilex paraguariensis*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.30, p.157-160, 2010.

TILAHUN, A., KIMANI, P., RONNO, W., LUNZE, L., MBIKAYI, N. **Coping with drought prone regions of Africa.** CIAT Occational Publication series 38. 2004.

TSUTSUMI, C.Y.; BULEGON, L.G.; PIANO, J.T. Melhoramento genético do feijoeiro: avanços, perspectivas e novos estudos, no âmbito nacional. **Nativa**, Sinop, v.03, n.03, p.1-7, 2015.

VALE, N.M.; BARILI, L.D.; ROZZETO, D.S.; STINGHIN, J.C.; COIMBRA, J.L.M.; GUIDOLIN, A.F.; KÖOP, M.M. Avaliação para tolerância ao estresse hídrico em feijão. **Revista Biotemas**. UFSC, Florianópolis, SC, Brasil, 25 (3), 135-144, 2012.

WORTMANN, C.W.; ALLEN, D.J. **African bean production environments: Their definitions, characteristics and constraints.** Network on Bean Research in Africa. Occasional Paper Series No.11 Tanzania: CIAT, 47pp. 1994.

ZAGAR, S.M.; MAHAJAN, R.; NAZIR, M.; NAGAR, P.; KIM, S.T.; RAI, V.; SYED, A.M.; SHAH, R.A.; GANAI, N.A.; AGRAWAL, G.K.; RAKWAJ, R. Common bean proteomics: Present status and future strategies. **Journal of Proteomics**, v.169, p.239-248, 2017.

ZLATEV, Z.; STOYANOV, Z. Effects of water stress on leaf water relations of young bean plants. **Journal Central European Agriculture**, Zagreb, v.6, p.5-14, 2005.

ZLATEV, Z.S.; LIDON, F.C.; RAMALHO, J.C.; YORDANOV, I.T. Comparison of resistance to drought of three bean cultivars. **Biologia Plantarum**, Praha, v.50, n.3, p.389-394, 2006.