

Número de repetições para avaliação de caracteres em genótipos de feijão-caupi

Francisco Eduardo Torres ⁽¹⁾; Edvaldo Sagrilo ⁽²⁾; Paulo Eduardo Teodoro ^(1*); Larissa Pereira Ribeiro ⁽³⁾; Alberto Cargnelutti Filho ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Departamento de Fitotecnia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Caixa Postal 25, 79200-000 Aquidauana (MS), Brasil.

⁽²⁾ Embrapa Meio-Norte, Avenida Duque de Caxias, 5650, 64006220 Teresina (PI) Brasil.

⁽³⁾ UEMS, Departamento de Nutrição de Plantas, Curso de Agronomia, 79200-000 Aquidauana (MS), Brasil.

⁽⁴⁾ Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Departamento de Fitotecnia, Avenida Roraima, 1000, 97105-900 Santa Maria (RS), Brasil.

(*) Autor correspondente: eduteodoro@hotmail.com

Recebido: 8/nov./2014; Aceito: 5/fev./2015

Resumo

O objetivo deste trabalho foi determinar o número de medições (repetições) necessário para avaliar caracteres de genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*). Vinte genótipos de feijão-caupi de porte ereto e vinte de porte semiprostrado foram avaliados no Estado do Mato Grosso do Sul, em seis e quatro ensaios, respectivamente. Os dez ensaios foram conduzidos no delineamento blocos ao acaso, com quatro repetições. Foram mensurados os caracteres comprimento de vagem, massa de vagem, massa de grãos por vagem, número de grãos por vagem, massa de cem grãos e produtividade de grãos. Foram verificados os pressupostos do modelo matemático, realizada a análise de variância, estimado o coeficiente de repetibilidade e calculado o número de repetições. Ensaios com quatro repetições identificam genótipos superiores de feijão-caupi em relação aos caracteres comprimento de vagem, massa de vagem, massa de grãos por vagem, número de grãos por vagem, massa de cem grãos e produtividade de grãos, com, respectivamente, 84,57, 75,62, 73,14, 75,25, 81,53 e 79,19% de exatidão no prognóstico de seu valor real.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata* L., repetibilidade, planejamento experimental.

Number of replicates for the evaluation of characters in cowpea genotypes

Abstract

The objective of this study was to determine the number of measurements (replicates) necessary to predict the performance of cowpea (*Vigna unguiculata*) genotypes. Twenty genotypes of cowpea to growth habit erect and twenty semi-prostrate were carried out in Mato Grosso do Sul State, Brazil, in six and four trials, respectively. It was conducted ten trials in randomized complete blocks design with four replicates. The character length of pod, weight of pod, weight of grains per pod, number of seeds per pod, weight of hundred grains and grain yield were measured. Assumptions of the mathematical model were examined, analysis of variance was performed, the repeatability coefficient was estimated and the number of replicates was calculated. Trials with four replicates identify superior cowpea genotypes in relation to length of pod, weight of pod, weight of grains per pod, number of seeds per pod, weight of hundred grains and grain yield characters, with, respectively, 84.57, 75.62, 73.14, 75.25, 81.53 and 79.19% accuracy of the true prognostic value.

Key words: *Vigna unguiculata* L., repeatability, experimental planning.

1. INTRODUÇÃO

O feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] é uma das fontes alimentares mais importantes e estratégicas para as regiões tropicais e subtropicais do planeta. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial dessa cultura, que é cultivada sobretudo nas regiões Norte e Nordeste,

constituindo-se no prato básico das classes de menor poder aquisitivo (Oliveira et al., 2013). Contudo, apesar da grande produção brasileira, segundo Almeida et al. (2014) há déficit permanente de oferta nessas regiões, uma vez que a produtividade média brasileira é extremamente

baixa (300 kg ha⁻¹). Santos et al. (2014a) enfatizam que o melhoramento genético dessa cultura é o principal modo de aumentar a produtividade, por meio da seleção de genótipos altamente produtivos e adaptados às condições edafoclimáticas brasileiras.

Em ensaios de genótipos de feijão-caupi, caracteres como o comprimento de vagem, massa de vagem, massa de grãos por vagem, número de grãos por vagem, massa de cem grãos e produtividade de grãos são comumente avaliados. Nesses ensaios, para a correta discriminação dos genótipos, é importante que esses caracteres sejam avaliados com melhor precisão (menor dispersão) e com exatidão ou acurácia (sem viés entre a estimativa e o parâmetro, ou seja, sem tendência), ou seja, de acordo com os conceitos de precisão e exatidão ou acurácia discutidos em Monico et al. (2009). Para alcançar a precisão desejada, é importante dimensionar adequadamente o tamanho e a forma de parcela, o tamanho de amostra e o número de repetições com base no caráter de interesse.

Com base em caracteres de genótipos de feijão-caupi, estudos sobre relações lineares entre caracteres (Silva & Neves, 2011; Correa et al., 2012; Oliveira et al., 2013; Almeida et al., 2014; Santos et al., 2014a), desempenho agrônomo e divergência genética (Santos et al., 2014b, c), estimativas de parâmetros genéticos (Matos et al., 2009; Andrade et al., 2010; Correa et al., 2012) e adaptabilidade e estabilidade (Barros et al., 2013) têm sido realizados. Nessas pesquisas tem-se utilizado o delineamento blocos ao acaso, com três e quatro repetições.

A investigação da necessidade de redimensionar o número de repetições é possível de ser realizada a partir de dados de ensaios de genótipos com base em estimativas de coeficiente de repetibilidade obtidas por meio da análise de variância (Cruz, 2006). Nesse cenário, o fato de serem necessários experimentos específicos para dimensionar o número de repetições, além de maximizar o aproveitamento de dados existentes, possibilitaria a economia de tempo, recursos humanos e financeiros.

A partir do coeficiente de repetibilidade, o dimensionamento do número de repetições foi realizado em ensaios de competição de genótipos de feijão (Cargnelutti et al., 2009), de soja (Storck et al., 2009), de milho (Cargnelutti et al., 2010) e de arroz irrigado (Cargnelutti et al., 2012). Nesses estudos, os autores constataram que, para avaliar a produtividade de grãos dessas culturas, ensaios com quatro repetições possibilitam a identificação de genótipos superiores de feijão, de soja, de milho e de arroz irrigado com 85, 80, 81 e 79% de precisão, respectivamente.

Além da produtividade de grãos, o dimensionamento do número de repetições para avaliar outros caracteres de feijão (Cargnelutti & Ribeiro, 2010), de soja (Cargnelutti & Gonçalves, 2011) e de milho (Cargnelutti & Guadagnin, 2011) tem sido realizado a partir do coeficiente de repetibilidade. De maneira geral, nesses estudos foi evidenciado que, para a mesma precisão, há variabilidade do número de repetições

entre caracteres. No entanto, referências ao emprego da análise de repetibilidade para a estimativa do número de repetições de caracteres de feijão-caupi não foram encontradas na literatura. Assim, o objetivo deste trabalho foi determinar o número de medições (repetições) necessário para avaliar os caracteres comprimento de vagem, massa de vagem, massa de grãos por vagem, número de grãos por vagem, massa de cem grãos e produtividade de grãos de genótipos de feijão-caupi.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Genótipos de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.], de hábitos de crescimento ereto (15 linhagens: MNC99-537F-1, MNC99-537F-4, MNC99-541-F5, MNC99-541-F8, IT93K-93-10, MNC99-519D-1-1-5, MNC00-544D-10-1-2-2, MNC00-544D-14-1-2-2, MNC00-553D-8-1-2-2, MNC00-553D-8-1-2-3, MNC00-561G-6, EV X 63-10E, MNC99542F-5, EV X 91-2E-2 e MNC99-557F-2 e cinco cultivares: Pretinho, Fradinho-2, BRS Guariba, Patativa e Vita-7) e semiprostrado (18 linhagens: MNC99-505G-11, MNC99-507G-4, MNC99-507G-8, BRS Xiquexique, MNC99-510G-8, MNC99-510F-16, TE97-309G-18, TE97-304G-4, TE97-304G-12, TE97-309G-24, MNC99-508G-1, MNC99-541F-15, MNC99-541F-18, MNC99-541F-21, MNC99-542F-5, MNC99-542F-7, MNC99-547F-2 e CNC x 409-11F-P2 e duas cultivares: BRS Paraguaçu e BR 17-Gurgueia), oriundos do programa de melhoramento genético de feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte, foram avaliados em dez ensaios de valor de cultivo e uso conduzidos no Estado do Mato Grosso do Sul (Tabela 1).

Os dez ensaios foram realizados no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições (blocos). As unidades experimentais foram compostas de quatro fileiras de 5 m de comprimento com espaçamento de 0,5 m entre fileiras e 0,25 m entre plantas na fileira. As avaliações foram realizadas nas duas fileiras centrais (área útil = 5 m²). Em cada unidade experimental, de cada experimento, foram mensurados os caracteres: comprimento de vagem, (CV, em cm); massa de vagem (MV, em g); massa de grãos por vagem (MGV, em g); número de grãos por vagem (NGV); massa de cem grãos (MCG, em g) e produtividade de grãos a 13% de umidade (PROD, em t ha⁻¹). Em cada unidade experimental, os caracteres CV, MV, MGV e NGV foram obtidos pela média de medições feitas em cinco vagens, tomadas aleatoriamente nas duas fileiras centrais. A MCG foi obtida por MGV/NGV×100. A PROD foi obtida a partir de todas as plantas das duas fileiras centrais (área útil = 5 m²), corrigida para 13% de umidade, valor comumente utilizado para avaliar a PROD em feijão-caupi (Almeida et al., 2014; Santos et al., 2014a, b), sendo extrapolada para t ha⁻¹.

Tabela 1. Número do ensaio (NE), número de genótipos (NG), hábito de crescimento, ano agrícola, local, latitude, longitude, altitude, classificação climática de Köppen-Geiger e data de semeadura de genótipos de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.], avaliados no Estado do Mato Grosso do Sul

NE	NG	Hábito	Ano	Local	Latitude	Longitude	Altitude	Classificação de Köppen-Geiger	Semeadura
1	20	Ereto	2005	Aquidauana	22°01'S	54°05'W	430 m	Aw	21/3/2005
2	20	Ereto	2005	Chapadão do Sul	18°05'S	52°04'W	790 m	Aw	14/3/2005
3	20	Ereto	2005	Dourados	20°03'S	55°05'W	147 m	Cwa	7/4/2005
4	20	Ereto	2006	Aquidauana	22°01'S	54°05'W	430 m	Aw	2/3/2006
5	20	Ereto	2006	Dourados	20°03'S	55°05'W	147 m	Cwa	27/2/2006
6	20	Ereto	2006	Primavera	15°33'S	54°17'W	636 m	Aw	15/3/2006
7	20	Semiprostrado	2005	Aquidauana	22°01'S	54°05'W	430 m	Aw	5/6/2005
8	20	Semiprostrado	2005	Chapadão do Sul	18°05'S	52°04'W	790 m	Aw	10/6/2005
9	20	Semiprostrado	2006	Aquidauana	22°01'S	54°05'W	430 m	Aw	28/5/2006
10	20	Semiprostrado	2006	Dourados	20°03'S	55°05'W	147 m	Cwa	30/6/2006

Em cada um dos dez ensaios, os dados dos caracteres CV, MV, MGV, NGV, MCG e PROD seguiram um modelo estatístico de delineamento blocos ao acaso dado por: $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$, no qual Y_{ij} é o valor observado da variável resposta na parcela, ij , μ é a média geral, τ_i é o efeito do genótipo ($i = 1, 2, \dots, 20$), β_j é o efeito do bloco ($j = 1, 2, 3, 4$) e ε_{ij} é o efeito do erro experimental suposto normal e independentemente distribuído com média 0 e variância comum σ^2 (Storck et al., 2011). Os testes de *Kolmogorov-Smirnov*, *Bartlett* e aditividade de Tukey foram realizados para verificar o atendimento, respectivamente, das pressuposições de normalidade dos erros, homogeneidade de variâncias e aditividade do modelo matemático. Com base nos resultados da análise de variância, foram obtidas as estimativas do quadrado médio de bloco (QM_B), do quadrado médio de genótipo (QM_G), do quadrado médio do erro (QM_E) e do valor do teste F para genótipo ($F_c = QM_G/QM_E$). Após, foi estimada a acurácia seletiva (AS) (Resende & Duarte, 2007) por meio da expressão $AS = (1 - (1/F_c))^{0.5}$. Posteriormente, com base em AS, foi avaliada a precisão experimental de acordo com os limites de classes estabelecidos em Resende & Duarte (2007).

Foram consideradas as avaliações em cada bloco como medições realizadas no mesmo indivíduo (genótipo) e foi estimado o coeficiente de repetibilidade (r), em cada caráter e ensaio, por meio da análise de variância. Nesse estudo, o coeficiente de repetibilidade é o coeficiente de correlação intraclasse para genótipos e é estimado por meio da expressão $r = [(QM_G - QM_E)/J] / [(QM_G - QM_E)/J + QM_E]$, em que J é o número de medições ou repetições (Cruz & Regazzi, 1997; Cruz, 2006).

O número de medições ou repetições (J) necessário para prever o valor real dos indivíduos (genótipos), com base nos coeficientes de determinação genotípico (R^2) preestabelecidos (0,70, 0,75, 0,80, 0,85, 0,90 e 0,95), foi calculado por meio da expressão $J = [R^2(1 - r)] / [(1 - R^2)r]$ (Cruz & Regazzi,

1997). O coeficiente de determinação genotípico (R^2), que representa a certeza da predição do valor real dos genótipos selecionados, com base em J medições realizadas, foi obtido pela expressão $R^2 = [Jr] / [1 + r(J - 1)]$, em que J é o número de medições realizadas ($J = 4$ blocos neste estudo) e r é o coeficiente de repetibilidade (Cruz, 2006). Ainda, com base na média do coeficiente de repetibilidade (r) entre os dez ensaios, em cada um dos caracteres, foi calculado o coeficiente de determinação genotípico (R^2) em função do número de repetições (J variando de 0 até 50). Apesar de ensaios com zero repetição não ter sentido prático e com 50 repetições serem praticamente inviáveis de realização, optou-se por esses limites para demonstrar o comportamento da relação entre R^2 e J , com base em um valor fixo de r (r = média dos dez ensaios). As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa GENES (Cruz, 2013) e do aplicativo Microsoft Office Excel.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos 60 casos analisados (seis caracteres $\times$ dez ensaios), pelo teste de *Kolmogorov-Smirnov*, verificou-se que os erros ajustaram-se à distribuição normal ($p > 0,05$). Em 50 casos (90%), pelo teste de *Bartlett*, constatou-se que as variâncias residuais foram homogêneas ($p > 0,05$). Em apenas 57 casos (95%), o teste de aditividade de Tukey revelou aditividade do modelo matemático ($p > 0,05$). Portanto, os elevados percentuais de atendimento das pressuposições de normalidade dos erros, homogeneidade de variâncias e aditividade do modelo matemático do delineamento em blocos ao acaso conferem adequabilidade para a aplicação dos testes de hipóteses (teste F), para as fontes de variação (bloco e genótipo) da análise de variância (Storck et al., 2011). Entre os 60 casos (seis caracteres $\times$ dez ensaios), o teste F da análise de variância revelou efeito de bloco significativo

($p \leq 0,05$) em 35 casos (58,33%), o que evidencia que os blocos foram heterogêneos e que o uso do delineamento blocos ao acaso foi eficiente. Por outro lado, em 25 casos (41,67%), os blocos não foram heterogêneos e, nesses casos, o delineamento inteiramente casualizado poderia ter sido utilizado. Portanto, apesar de ser constatado que em 41,67% dos casos não houve significância do efeito de blocos, o uso de blocos deve continuar sendo utilizado nessas áreas experimentais como forma de garantir o controle dessa fonte de heterogeneidade, no caso de sua existência.

As médias dos caracteres comprimento de vagem, massa de vagem, massa de grãos por vagem, número de grãos por vagem, massa de cem grãos e produtividade de grãos (Tabela 2) foram similares às médias obtidas em outros ensaios de genótipos de feijão-caupi (Matos et al., 2009; Andrade et al., 2010; Silva & Neves, 2011; Correa et al., 2012; Barros et al., 2013; Oliveira et al., 2013; Almeida et al., 2014; Santos et al., 2014a, b), o que revela adequabilidade desse banco de dados para o estudo proposto, pelo fato destes representarem situações reais de ensaios de campo.

Em relação ao comprimento de vagem, à massa de cem grãos e à produtividade de grãos, houve efeito de genótipo significativo ($p \leq 0,05$) nos dez ensaios, o que evidencia que é possível identificar os genótipos superiores devido à variabilidade genética existente. Já quanto à massa de vagem, à massa de grãos por vagem e ao número de grãos por vagem, não houve efeito significativo de genótipo apenas no ensaio 8. Portanto, para os três caracteres desse ensaio, a não discriminação dos genótipos, por meio do teste F, pode não ser devido à não existência de variabilidade genética e sim, provavelmente, à menor precisão experimental (Resende & Duarte, 2007). Nos 57 casos (95%) com efeito significativo de genótipo, a média da acurácia seletiva (AS) e dos coeficientes de repetibilidade (r) e de determinação genotípico (R^2), com base nas quatro repetições, foi de 0,880, 0,494 e 0,778, respectivamente. Enquanto, entre os três caracteres do ensaio 8, em que não foram detectadas diferenças significativas, as médias de AS, r e R^2 foram, respectivamente, 0,649, 0,154 e 0,421, o que reforça a hipótese de que a não identificação de diferenças entre os genótipos está associada à menor precisão experimental.

Escore de acurácia seletiva (AS) superiores a 0,90, o que equivale ao coeficiente de determinação genotípico (R^2) de 81%, são almejados em experimentos, pois conferem precisão experimental muito alta na discriminação dos genótipos em avaliação (Resende & Duarte, 2007). Nesses dez ensaios de feijão-caupi, a AS oscilou entre 0,632 (massa de grãos por vagem no ensaio 8) e 0,962 (produtividade de grãos nos ensaios 3 e 10), com média de 0,868. De acordo com limites de classes estabelecidos em Resende & Duarte (2007), dos 60 casos, 26 apresentaram precisão experimental muito alta ($AS \geq 0,90$), 31 com precisão alta ($0,70 \leq AS < 0,90$) e três casos com precisão moderada ($0,50 \leq AS < 0,70$) (Tabela 2). Portanto, pode-se inferir que houve variabilidade

das precisões experimentais entre os caracteres e os ensaios e, de maneira geral, esses caracteres foram avaliados em condições experimentais satisfatórias. Variabilidade de precisões experimentais, com base em AS, entre caracteres e ensaios com genótipos de feijão (Cargnelutti & Ribeiro, 2010), de soja (Cargnelutti & Gonçalves, 2011) e de milho (Cargnelutti & Guadagnin, 2011) e arroz irrigado (Cargnelutti et al., 2012), foi verificada nesses estudos.

O coeficiente de repetibilidade variou entre 0,143 (massa de grãos por vagem no ensaio 8) e 0,759 (produtividade de grãos no ensaio 10), com média de 0,477 (Tabela 3). A variabilidade de r , entre os caracteres e ensaios, é particularmente importante neste estudo por representar distintas situações reais e, assim, possibilitar inferências em relação ao número de repetições (J), com aplicações gerais. Variabilidade de r e, consequentemente, na estimativa do número de repetições (J) entre caracteres e entre ensaios também foi verificada nas culturas de feijão (Cargnelutti et al., 2009; Cargnelutti & Ribeiro, 2010), de soja (Storck et al., 2009; Cargnelutti & Gonçalves, 2011), de milho (Cargnelutti et al., 2010; Cargnelutti & Guadagnin, 2011) e de arroz irrigado (Cargnelutti et al., 2012).

O coeficiente determinação genotípico (R^2), obtido a partir de quatro repetições, oscilou entre 39,93% (massa de grãos por vagem no ensaio 8) e 92,64% (produtividade de grãos no ensaio 10) (Tabela 3). Assim, com base nesses casos extremos, pode-se inferir que quatro repetições possibilitaram detectar diferenças genotípicas com 39,93% e 92,64% de certeza na predição do valor real do genótipo, em relação à massa de grãos por vagem no ensaio 8 e à produtividade de grãos no ensaio 10, respectivamente (Tabela 3). Para os demais caracteres e ensaios, a precisão foi entre 39,93% e 92,64%. Redimensionar o número de repetições para avaliar esses caracteres para precisão experimental muito alta, ou seja, $AS = 0,90$ ou $R^2 = 81\%$, a partir do menor valor de r ($r = 0,143$ para a massa de grãos por vagem no ensaio 8), por meio da expressão $J = [R^2(1-r)] / [(1-R^2)r]$, resultaria em $J = [0,81 \times (1-0,143)] / [(1-0,81) \times 0,143] = 26$ repetições. Esse número de repetições garantiria acurácia seletiva maior ou igual a 0,90 para todos os caracteres e ensaios. No entanto, realizar experimentos de campo com 26 repetições é difícil e/ou impraticável.

Para cada caráter, a média de r dos dez ensaios pode representar adequadamente os ensaios de feijão-caupi e, portanto, o redimensionamento do número de repetições a partir de r médio parece ser o procedimento adequado. Por esse raciocínio, para conseguir coeficiente de determinação genotípico (R^2) de 81% a partir das médias de r do comprimento de vagem (0,578), da massa de vagem (0,437), da massa de grãos por vagem (0,405), do número de grãos por vagem (0,432), da massa de cem grãos (0,525) e da produtividade de grãos (0,488) (Tabela 3), seriam necessárias, 3,1, 5,5, 6,3, 5,6, 3,9 e 4,5 repetições, respectivamente. No entanto, na prática, experimentos devem ser realizados com número

Tabela 2. Resumo da análise de variância [número de graus de liberdade (GL) e quadrado médio para as fontes de variação bloco, genótipo e erro], média, acurácia seletiva (AS), valor-p do teste de *Kolmogorov-Smirnov* para a normalidade dos erros, valor-p do teste de *Bartlett* para a homogeneidade de variâncias residuais e valor-p do teste de aditividade de Tukey, para seis caracteres de genótipos de feijão-caupi, avaliados em dez ensaios⁽¹⁾

Fonte de variação	GL	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5	Ensaio 6	Ensaio 7	Ensaio 8	Ensaio 9	Ensaio 10
Comprimento de vagem, em cm											
Bloco	3	5,4588*	1,7743 ^{ns}	0,8005 ^{ns}	3,5320 ^{ns}	8,4715*	1,7220 ^{ns}	0,8645 ^{ns}	5,6135*	6,1783*	0,2246 ^{ns}
Genótipo	19	11,9660*	14,3254*	10,7962*	14,0790*	11,0868*	3,4441*	5,7383*	8,1174*	6,7818*	6,4601*
Erro	57	1,1195	1,2107	1,1702	1,4362	1,1333	1,1211	1,3160	1,3442	1,5772	1,3406
Média	-	17,18	17,29	16,27	17,50	16,56	17,78	18,47	19,34	18,46	18,22
AS ⁽²⁾	-	0,952	0,957	0,944	0,948	0,948	0,821	0,878	0,913	0,876	0,890
Normalidade	-	0,988	0,973	0,977	0,417	0,908	0,301	0,877	0,949	0,610	0,537
Homogeneidade	-	0,322	0,887	0,572	0,936	0,713	0,133	0,830	0,726	0,595	0,111
Aditividade	-	0,099	0,806	0,413	0,278	0,337	0,205	0,146	0,047	0,780	0,271
Massa de vagem, em g											
Bloco	3	0,4970*	0,2476 ^{ns}	0,1086 ^{ns}	0,6386*	1,5559*	0,7104*	0,0923 ^{ns}	1,4043*	0,9360*	0,5904*
Genótipo	19	0,7576*	0,7910*	0,7173*	1,1911*	0,6378*	0,3273*	0,6695*	0,4615 ^{ns}	0,7767*	0,2744*
Erro	57	0,1088	0,1694	0,1140	0,1798	0,1050	0,1470	0,1565	0,2614	0,1560	0,1237
Média	-	2,79	2,47	2,10	2,86	1,83	2,66	3,05	2,84	3,51	2,32
AS ⁽²⁾	-	0,925	0,887	0,917	0,921	0,914	0,742	0,875	0,658	0,894	0,741
Normalidade	-	0,954	0,925	0,465	0,687	0,868	0,838	0,537	0,976	0,889	0,885
Homogeneidade	-	0,771	0,519	0,825	0,203	0,623	0,034	0,159	0,702	0,586	0,273
Aditividade	-	0,823	0,492	0,168	0,564	0,262	0,202	0,764	0,116	0,228	0,887
Massa de grãos por vagem, em g											
Bloco	3	0,3061*	0,1777 ^{ns}	0,1057 ^{ns}	0,4054*	1,1048*	0,7082*	0,1354 ^{ns}	0,8490*	0,4111*	0,5789*
Genótipo	19	0,4799*	0,4049*	0,4397*	0,7154*	0,4336*	0,2161*	0,4436*	0,3068 ^{ns}	0,4408*	0,1917*
Erro	57	0,0795	0,1232	0,0855	0,1048	0,0757	0,0967	0,1142	0,1843	0,0992	0,0887
Média	-	2,19	1,82	1,53	2,07	1,24	1,95	2,34	1,95	2,57	1,50
AS ⁽²⁾	-	0,913	0,834	0,898	0,924	0,909	0,743	0,862	0,632	0,880	0,733
Normalidade	-	0,934	0,973	0,921	0,754	0,739	0,986	0,707	0,977	0,963	0,982
Homogeneidade	-	0,932	0,083	0,700	0,338	0,650	0,354	0,016	0,714	0,971	0,470
Aditividade	-	0,771	0,576	0,321	0,567	0,263	0,215	0,619	0,185	0,631	0,585
Número de grãos por vagem											
Bloco	3	11,5298*	3,0273 ^{ns}	1,2493 ^{ns}	9,9013*	8,3098*	4,5405 ^{ns}	0,2992 ^{ns}	6,5340 ^{ns}	2,5165 ^{ns}	0,3592 ^{ns}
Genótipo	19	10,2936*	11,5146*	12,2088*	9,7126*	9,2426*	6,5283*	6,8331*	5,8357 ^{ns}	7,9911*	5,5010*
Erro	57	1,7042	2,4951	1,4269	2,0547	1,5505	1,8693	2,4150	3,3277	2,1243	1,8412
Média	-	10,19	9,65	9,43	11,50	9,28	11,26	12,05	12,15	12,81	11,22
AS ⁽²⁾	-	0,913	0,885	0,940	0,888	0,912	0,845	0,804	0,656	0,857	0,816
Normalidade	-	0,534	0,780	0,823	0,836	0,811	0,630	0,602	0,988	0,811	0,948
Homogeneidade	-	0,954	0,385	0,404	0,157	0,182	0,042	0,856	0,339	0,324	0,979
Aditividade	-	0,805	0,631	0,602	0,704	0,232	0,605	0,056	0,445	0,568	0,698
Massa de cem grãos, em g											
Bloco	3	6,7190 ^{ns}	4,1707 ^{ns}	17,6294*	1,7945 ^{ns}	65,7631*	27,6563*	12,3473*	24,8103*	7,3382 ^{ns}	43,6789*
Genótipo	19	19,3135*	21,4138*	18,5472*	29,7848*	26,9912*	21,8567*	26,8346*	12,1545*	11,9478*	10,9989*
Erro	57	4,5302	2,1780	3,2175	2,4788	4,6445	3,2877	3,4020	3,9925	3,1473	3,8499
Média	-	21,66	18,95	16,19	17,98	13,13	17,47	19,51	15,90	20,07	13,33
AS ⁽²⁾	-	0,875	0,948	0,909	0,957	0,910	0,922	0,934	0,819	0,858	0,806
Normalidade	-	0,870	0,417	0,871	0,960	0,986	0,988	0,661	0,645	0,749	0,393
Homogeneidade	-	0,023	0,926	0,587	0,148	0,137	0,188	0,025	0,775	0,085	0,069
Aditividade	-	0,267	0,646	0,335	0,906	0,204	0,328	0,254	0,042	0,799	0,634
Produtividade de grãos, em t ha ⁻¹											
Bloco	3	0,5850*	0,1608*	0,1711*	0,0073 ^{ns}	0,1332*	0,4014*	0,0231 ^{ns}	0,1288*	0,0506*	0,4768*
Genótipo	19	0,1812*	0,1415*	0,6037*	0,0448*	0,0395*	0,0702*	0,0743*	0,1098*	0,0420*	0,1922*
Erro	57	0,0665	0,0495	0,0456	0,0056	0,0051	0,0180	0,0364	0,0296	0,0098	0,0141
Média	-	1,155	0,911	0,925	0,219	0,211	0,555	1,154	0,394	0,343	0,477
AS ⁽²⁾	-	0,795	0,806	0,962	0,936	0,933	0,862	0,714	0,855	0,875	0,962
Normalidade	-	0,996	0,978	0,995	0,439	0,591	0,703	0,712	0,983	0,939	0,988
Homogeneidade	-	0,349	0,845	0,344	0,149	0,035	0,968	0,960	0,152	0,416	0,768
Aditividade	-	0,768	0,344	0,317	0,878	0,902	0,387	0,246	0,116	0,391	0,003

* Efeito significativo pelo teste F a 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo. ⁽¹⁾ Ensaios descritos na Tabela 1. ⁽²⁾ Limites de classes de precisão experimental estabelecidos por Resende & Duarte (2007): muito alta (AS ≥ 0,90), alta (0,70 ≤ AS < 0,90), moderada (0,50 ≤ AS < 0,70) e baixa (AS < 0,50).

Tabela 3. Estimativa dos coeficientes de repetibilidade (r), dos coeficientes de determinação genotípico (R^2) e do número de medições (repetições) (J)⁽¹⁾ associado a distintos R^2 , de seis caracteres de genótipos de feijão-caupi, avaliados em dez ensaios⁽²⁾

Estatística	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5	Ensaio 6	Ensaio 7	Ensaio 8	Ensaio 9	Ensaio 10	Média ⁽³⁾
Comprimento de vagem, em cm											
R	0,708	0,730	0,673	0,688	0,687	0,341	0,457	0,557	0,452	0,488	0,578
R^2 (%)	90,64	91,55	89,16	89,80	89,78	67,45	77,07	83,44	76,74	79,25	84,57
$J(R^2=0,70)$	1,0	0,9	1,1	1,1	1,1	4,5	2,8	1,9	2,8	2,4	1,7
$J(R^2=0,75)$	1,2	1,1	1,5	1,4	1,4	5,8	3,6	2,4	3,6	3,1	2,2
$J(R^2=0,80)$	1,7	1,5	1,9	1,8	1,8	7,7	4,8	3,2	4,8	4,2	2,9
$J(R^2=0,85)$	2,3	2,1	2,8	2,6	2,6	10,9	6,7	4,5	6,9	5,9	4,1
$J(R^2=0,90)$	3,7	3,3	4,4	4,1	4,1	17,4	10,7	7,1	10,9	9,4	6,6
$J(R^2=0,95)$	7,8	7,0	9,2	8,6	8,7	36,7	22,6	15,1	23,0	19,9	13,9
Massa de vagem, em g											
R	0,599	0,479	0,570	0,584	0,559	0,235	0,450	0,161	0,499	0,233	0,437
R^2 (%)	85,64	78,59	84,11	84,90	83,54	55,07	76,62	43,36	79,91	54,92	75,62
$J(R^2=0,70)$	1,6	2,5	1,8	1,7	1,8	7,6	2,8	12,2	2,3	7,7	3,0
$J(R^2=0,75)$	2,0	3,3	2,3	2,1	2,4	9,8	3,7	15,7	3,0	9,8	3,9
$J(R^2=0,80)$	2,7	4,4	3,0	2,8	3,2	13,1	4,9	20,9	4,0	13,1	5,2
$J(R^2=0,85)$	3,8	6,2	4,3	4,0	4,5	18,5	6,9	29,6	5,7	18,6	7,3
$J(R^2=0,90)$	6,0	9,8	6,8	6,4	7,1	29,4	11,0	47,0	9,0	29,5	11,6
$J(R^2=0,95)$	12,7	20,7	14,4	13,5	15,0	62,0	23,2	99,3	19,1	62,4	24,5
Massa de grãos por vagem, em g											
R	0,558	0,364	0,509	0,593	0,542	0,236	0,419	0,143	0,463	0,225	0,405
R^2 (%)	83,45	69,57	80,56	85,35	82,54	55,25	74,26	39,93	77,49	53,74	73,14
$J(R^2=0,70)$	1,9	4,1	2,3	1,6	2,0	7,6	3,2	14,0	2,7	8,0	3,4
$J(R^2=0,75)$	2,4	5,2	2,9	2,1	2,5	9,7	4,2	18,1	3,5	10,3	4,4
$J(R^2=0,80)$	3,2	7,0	3,9	2,7	3,4	13,0	5,5	24,1	4,6	13,8	5,9
$J(R^2=0,85)$	4,5	9,9	5,5	3,9	4,8	18,4	7,9	34,1	6,6	19,5	8,3
$J(R^2=0,90)$	7,1	15,7	8,7	6,2	7,6	29,2	12,5	54,2	10,5	31,0	13,2
$J(R^2=0,95)$	15,1	33,2	18,3	13,0	16,1	61,5	26,3	114,3	22,1	65,4	27,9
Número de grãos por vagem											
R	0,558	0,475	0,654	0,482	0,554	0,384	0,314	0,159	0,408	0,332	0,432
R^2 (%)	83,44	78,33	88,31	78,85	83,22	71,37	64,66	42,98	73,42	66,53	75,25
$J(R^2=0,70)$	1,9	2,6	1,2	2,5	1,9	3,7	5,1	12,4	3,4	4,7	3,1
$J(R^2=0,75)$	2,4	3,3	1,6	3,2	2,4	4,8	6,6	15,9	4,3	6,0	3,9
$J(R^2=0,80)$	3,2	4,4	2,1	4,3	3,2	6,4	8,7	21,2	5,8	8,0	5,3
$J(R^2=0,85)$	4,5	6,3	3,0	6,1	4,6	9,1	12,4	30,1	8,2	11,4	7,5
$J(R^2=0,90)$	7,1	10,0	4,8	9,7	7,3	14,4	19,7	47,8	13,0	18,1	11,8
$J(R^2=0,95)$	15,1	21,0	10,1	20,4	15,3	30,5	41,5	100,8	27,5	38,2	25,0
Massa de cem grãos, em g											
R	0,449	0,688	0,544	0,734	0,546	0,585	0,633	0,338	0,411	0,317	0,525
R^2 (%)	76,54	89,83	82,65	91,68	82,79	84,96	87,32	67,15	73,66	65,00	81,53
$J(R^2=0,70)$	2,9	1,1	2,0	0,8	1,9	1,7	1,4	4,6	3,3	5,0	2,1
$J(R^2=0,75)$	3,7	1,4	2,5	1,1	2,5	2,1	1,7	5,9	4,3	6,5	2,7
$J(R^2=0,80)$	4,9	1,8	3,4	1,5	3,3	2,8	2,3	7,8	5,7	8,6	3,6
$J(R^2=0,85)$	6,9	2,6	4,8	2,1	4,7	4,0	3,3	11,1	8,1	12,2	5,1
$J(R^2=0,90)$	11,0	4,1	7,6	3,3	7,5	6,4	5,2	17,6	12,9	19,4	8,2
$J(R^2=0,95)$	23,3	8,6	16,0	6,9	15,8	13,5	11,0	37,2	27,2	40,9	17,2
Produtividade de grãos, em t ha ⁻¹											
R	0,301	0,317	0,754	0,638	0,626	0,420	0,207	0,404	0,449	0,759	0,488
R^2 (%)	63,28	65,04	92,45	87,60	87,02	74,35	51,05	73,03	76,56	92,64	79,19
$J(R^2=0,70)$	5,4	5,0	0,8	1,3	1,4	3,2	9,0	3,4	2,9	0,7	2,5
$J(R^2=0,75)$	7,0	6,5	1,0	1,7	1,8	4,1	11,5	4,4	3,7	1,0	3,2
$J(R^2=0,80)$	9,3	8,6	1,3	2,3	2,4	5,5	15,3	5,9	4,9	1,3	4,2
$J(R^2=0,85)$	13,2	12,2	1,9	3,2	3,4	7,8	21,7	8,4	6,9	1,8	6,0
$J(R^2=0,90)$	20,9	19,4	2,9	5,1	5,4	12,4	34,5	13,3	11,0	2,9	9,5
$J(R^2=0,95)$	44,1	40,9	6,2	10,8	11,3	26,2	72,9	28,1	23,3	6,0	20,0

⁽¹⁾ Ensaios descritos na Tabela 1. ⁽²⁾ Estimativas menores que um devem ser interpretadas como um. ⁽³⁾ Média de r (R^2 e J associado a distintos R^2 , calculados com base na média de r).

inteiro de repetições e, conseqüentemente, a precisão será diferente de 81%.

O coeficiente de determinação genotípico (R^2) estimado pela expressão $R^2 = [Jr] / [1 + r(J - 1)]$, com base na média do coeficiente de repetibilidade (r) entre os dez ensaios e em número fixo de repetições ($J = 4$), foi de 0,8457, 0,7562, 0,7314, 0,7525, 0,8153 e 0,7919, respectivamente, para os caracteres comprimento de vagem, massa de vagem, massa de grãos por vagem, número de grãos por vagem, massa de cem grãos e produtividade de grãos (Tabela 3). Então, pode-se inferir que quatro repetições possibilitam detectar diferenças genotípicas com 84,57, 75,62, 73,14, 75,25, 81,53, 79,19% de certeza na predição do valor real do genótipo, respectivamente, em relação aos caracteres comprimento de vagem, massa de vagem, massa de grãos por vagem, número de grãos por vagem, massa de cem grãos e produtividade de grãos.

De maneira geral, para os seis caracteres, acréscimos expressivos do coeficiente de determinação genotípico (R^2) foram obtidos com até quatro repetições ($J = 4$). A partir de mais de quatro repetições, houve aumento insignificante do R^2 , o que

reflete em um ganho inexpressivo na predição do valor real do genótipo (Figura 1). Para a produtividade de grãos, caráter com destaque importante nos programas de melhoramento de plantas, constatou-se que ensaios com quatro repetições possibilitam a identificação de genótipos superiores de feijão-caupi em relação à produtividade de grãos com 79,19% de precisão (próximo à precisão almejada de 81%). Essa precisão de 79,19% é semelhante às obtidas em outras culturas, ou seja, pesquisas revelaram que, para avaliação da produtividade de grãos, ensaios com quatro repetições possibilitaram a identificação de genótipos superiores de feijão (Cargnelutti et al., 2009), de soja (Storck et al., 2009), de milho (Cargnelutti et al., 2010) e de arroz irrigado (Cargnelutti et al., 2012), com 85, 80, 81 e 79% de precisão, respectivamente. Portanto, pode-se inferir que metas de acurácia seletiva de 90% têm sido alcançadas em ensaios de feijão, soja, milho, arroz irrigado e feijão-caupi, com número de repetições relativamente menor que as seis recomendadas teoricamente por Resende & Duarte (2007). No entanto, o uso de maior número maior de repetições deve ser encorajado para maximizar a precisão experimental.

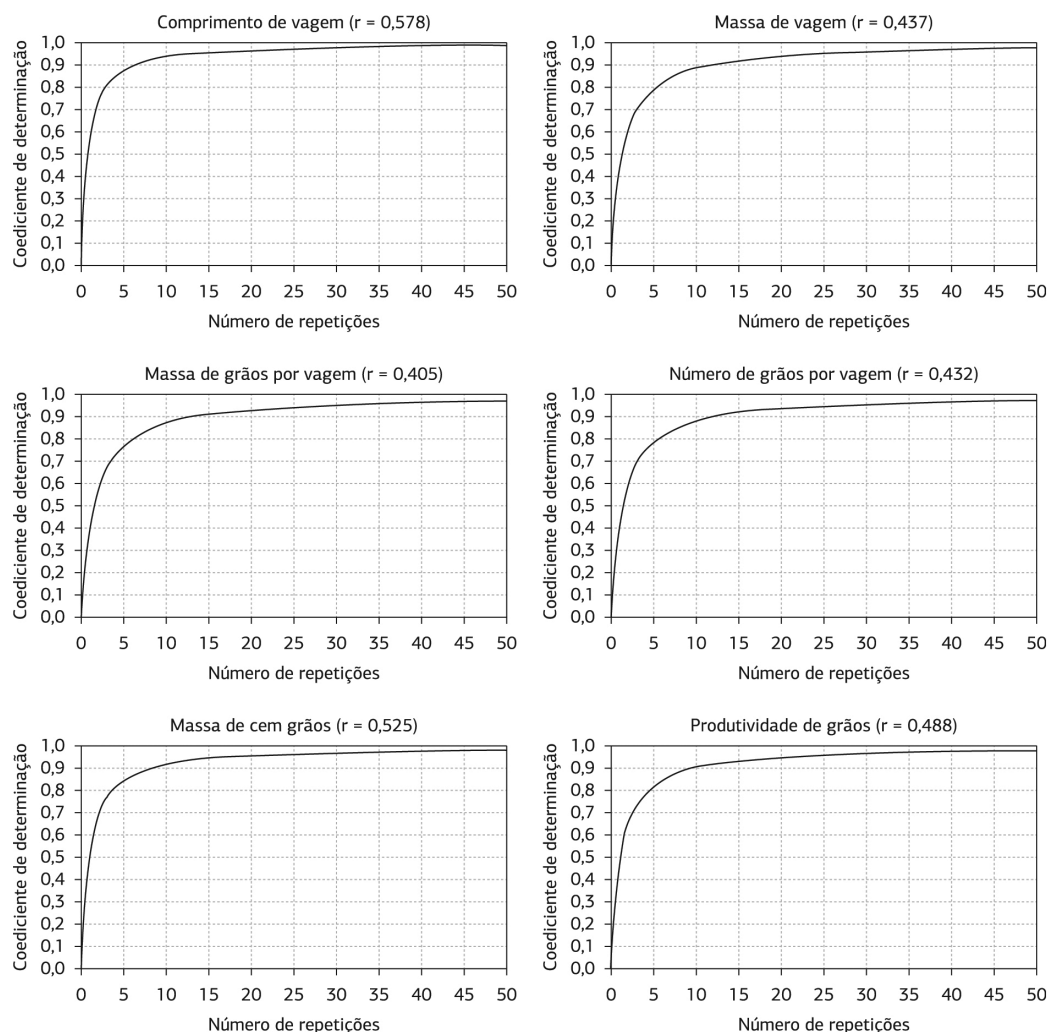


Figura 1. Coeficientes de determinação genotípico (R^2) em função do número de medições (repetições) (J), com base no coeficiente de repetibilidade (r) médio de dez ensaios de avaliação de caracteres de genótipos de feijão-caupi.

4. CONCLUSÃO

Ensaio com quatro repetições identificam genótipos superiores de feijão-caupi em relação aos caracteres comprimento de vagem, massa de vagem, massa de grãos por vagem, número de grãos por vagem, massa de cem grãos e produtividade de grãos com, respectivamente, 84,57, 75,62, 73,14, 75,25, 81,53 e 79,19% de exatidão no prognóstico de seu valor real.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de Produtividade em Pesquisa ao autor Alberto Cargnelutti Filho.

REFERÊNCIAS

- Almeida, W. S., Fernandes, F. R. B., Teófilo, E. M., & Bertini, C. H. C. M. (2014). Correlation and path analysis in components of grain yield of cowpea genotypes. *Revista Ciência Agronômica*, 45, 726-736. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902014000400010>.
- Andrade, F. N., Rocha, M. M., Gomes, R. L. F., Freire, F. R., Fo., & Ramos, S. R. R. (2010). Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão-caupi avaliados para feijão fresco. *Revista Ciência Agronômica*, 41, 253-258. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902010000200012>.
- Barros, M. A., Rocha, M. M., Gomes, R. L. F., Silva, K. J. D., & Neves, A. C. (2013). Adaptabilidade e estabilidade produtiva de feijão-caupi de porte semiprostrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48, 403-410. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2013000400008>.
- Cargnelutti, A., Fo., & Gonçalves, E. C. P. (2011). Estimativa do número de repetições para a avaliação de caracteres de produtividade e de morfologia em genótipos de soja. *Comunicata Scientiae*, 2, 25-33. Recuperado em 24 de novembro de 2015, de <http://comunicata.ufpi.br/index.php/comunicata/article/view/81/53>
- Cargnelutti, A., Fo., & Guadagnin, J. P. (2011). Planejamento experimental em milho. *Revista Ciência Agronômica*, 42, 1009-1016. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902011000400025>.
- Cargnelutti, A., Fo., Marchesan, E., Silva, L. S., & Toebe, M. (2012). Medidas de precisão experimental e número de repetições em ensaios de genótipos de arroz irrigado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47, 336-343. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000300004>.
- Cargnelutti, A., Fo., & Ribeiro, N. D. (2010). Número de repetições para avaliação de caracteres de produção, fenologia e morfologia de cultivares de feijão. *Ciência Rural*, 40, 2446-2453. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782010001200002>.
- Cargnelutti, A., Fo., Ribeiro, N. D., & Storck, L. (2009). Número de repetições para a comparação de cultivares de feijão. *Ciência Rural*, 39, 2419-2424. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009000900006>.
- Cargnelutti, A., Fo., Storck, L., & Guadagnin, J. P. (2010). Número de repetições para a comparação de cultivares de milho. *Ciência Rural*, 40, 1023-1030. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782010005000073>.
- Correa, A. M., Ceccon, G., Correa, C. M. A., & Delben, D. S. (2012). Estimativas de parâmetros genéticos e correlações entre caracteres fenológicos e morfoagronômicos em feijão-caupi. *Revista Ceres*, 59, 88-94. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2012000100013>.
- Cruz, C. D. (2006). Programa Genes: biometria. Viçosa: UFV. 382 p.
- Cruz, C. D. (2013). GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum Agronomy*, 35, 271-276. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>.
- Cruz, C. D., & Regazzi, A. J. (1997). Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético (2 ed.). Viçosa: UFV. 390 p.
- Matos, C. H. A., Fo., Gomes, R. L. F., Rocha, M. M., Freire, F. R., Fo., & Lopes, A. C. A. (2009). Potencial produtivo de progênies de feijão-caupi com arquitetura ereta de planta. *Ciência Rural*, 39, 348-354. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009000200006>.
- Monico, J. F. G., Póz, A. P. D., Galo, M., Santos, M. C., & Oliveira, L. C. (2009). Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 15, 469-483. Recuperado em 04 de novembro de 2014, de <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/bcg/article/view/15513/10363>
- Oliveira, O. M. S., Silva, J. F., Ferreira, F. M., Klehm, C. S., & Borges, C. V. (2013). Associações genotípicas entre componentes de produção e caracteres agrônômicos em feijão-caupi. *Revista Ciência Agronômica*, 44, 851-857. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902013000400023>.
- Resende, M. D. V., & Duarte, J. B. (2007). Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 37, 182-194. Recuperado em 25 de outubro de 2014, de <http://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/viewFile/1867/1773>
- Santos, A., Ceccon, G., Davide, L. M. C., Correa, A. M., & Alves, V. B. (2014a). Correlations and path analysis of yield components in cowpea. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 14, 82-87. <http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332014v14n2a15>.
- Santos, J. A. S., Teodoro, P. E., Correa, A. M., Soares, C. M. G., Ribeiro, L. P., & Abreu, H. K. A. (2014b). Desempenho agrônômico e divergência genética entre genótipos de feijão-caupi cultivados no ecótono Cerrado/Pantanal. *Bragantia*, 73, 377-382. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0250>.
- Santos, J. A. S., Soares, C. M. G., Corrêa, A. M., Teodoro, P. E., Ribeiro, L. P., & Abreu, H. K. A. (2014c). Agronomic performance and genetic dissimilarity among cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) genotypes. *Global Advanced Research Journal of Agricultural Science*, 3, 271-277. Recuperado em 25 de outubro de 2014, de <http://garj.org/garjas/pdf/2014/August/Santos%20et%20al.pdf>
- Silva, J. A., & Neves, J. A. (2011). Componentes de produção e suas correlações em genótipos de feijão-caupi em cultivo de sequeiro e irrigado. *Revista Ciência Agronômica*, 42, 702-713. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902011000300017>.
- Storck, L., Cargnelutti, A., Fo., Lúcio, A. D., & Lopes, S. J. (2009). Método de Papadakis e número de repetições em experimentos de soja. *Ciência Rural*, 39, 977-982. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009005000027>.
- Storck, L., Garcia, D. C., Lopes, S. J., & Estefanel, V. (2011). Experimentação vegetal (3 ed.). Santa Maria: UFSM. 200 p.