



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

RUBENS RANGEL ROLIM

**ESTUDOS GENÉTICOS E SELEÇÃO DE ACESSOS TRADICIONAIS DE FEIJÃO
DE CORDA NO SEMIÁRIDO**

**AREIA
2022**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

R748e Rolim, Rubens Rangel.

Estudos genéticos e seleção de acessos tradicionais
de feijão de corda no Semiárido / Rubens Rangel Rolim.
- Areia:UFPB/CCA, 2022.

74 f.

Orientação: Manoel Bandeira de Albuquerque.
Tese (Doutorado) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Vigna unguiculata. 3. Seleção
fenotípica. I. Albuquerque, Manoel Bandeira de. II.
Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635(043.2)

RUBENS RANGEL ROLIM

**ESTUDOS GENÉTICOS E SELEÇÃO DE ACESSOS TRADICIONAIS DE FEIJÃO
DE CORDA NO SEMIÁRIDO**

Trabalho de Tese apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia

Orientador: Prof. Dr. Manoel Bandeira de Albuquerque

**AREIA
2022**

Rubens Rangel Rolim

Estudos genéticos e seleção de acessos tradicionais de feijão de corda no Semiárido

Trabalho de Tese apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia

Aprovado em: 28/02/2022.

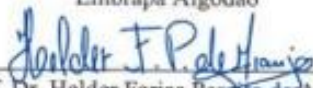
Banca Examinadora



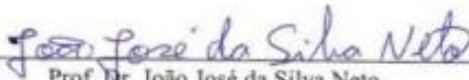
Prof. Dr. Manoel Bandeira de Albuquerque (Orientador)
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Profa. Dra. Roseane Cavalcanti dos Santos
Embrapa Algodão



Prof. Dr. Helder Farias Pereira de Araújo
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Prof. Dr. João José da Silva Neto
Instituto Federal do Mato Grosso do Sul (IFMS)



Prof. Dr. José Jaime Vasconcelos Cavalcanti
Embrapa Algodão

*A meus pais que tanto amo: Maria Ieda
Gomes Rangel e José Renato Rangel, aos
meus irmãos Renato Franklin Rangel e Igor
Gomes Rangel e a minha amada esposa Naysa
Flávia Ferreira do Nascimento e ao meu filho
Ravi Lima Rolim, DEDICO.*

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida, pela graça alcançada, discernimento e benções concedidas para que os obstáculos fossem superados e os objetivos alcançados. Agradeço a Ti, oh pai, pelo apoio de cada um dos envolvidos nesta etapa da minha vida.

Ao Professor Dr. Manoel Bandeira de Albuquerque, pela orientação, ensinamentos passados e acima de tudo pelo apoio.

À banca examinadora composta pelos professores (as) Dra. Roseane Cavalcanti dos Santos, Dr. João José da Silva Neto e Dr. José Jaime Vasconcelos Cavalcanti, que se propuseram a participar e contribuir com a avaliação deste trabalho.

Ao Professor Dr. Helder Farias Pereira de Araújo, que por meio do Projeto Nexus – Caatinga, de sua autoria, possibilitou o desenvolvimento da pesquisa e produção do presente estudo.

Aos professores do PPGA-CCA-UFPB e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia e à Universidade Federal da Paraíba.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudo e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro a pesquisa.

ROLIM, R. R. ESTUDOS GENÉTICOS E SELEÇÃO DE ACESSOS TRADICIONAIS DE FEIJÃO DE CORDA NO SEMIÁRIDO. Orientador: Prof. Dr. Manoel Bandeira de Albuquerque. 2022. 77f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2022.

RESUMO GERAL

O feijão de corda é considerado uma das principais fontes de proteína na alimentação humana, podendo ser utilizado também na alimentação animal e como adubo verde. Devido sua versatilidade produtiva e ampla variabilidade genética, possui alta capacidade adaptativa com baixa exigência de água e nutrientes para seu cultivo, sendo uma excelente alternativa alimentar especialmente para populações sediadas nas regiões áridas e semiáridas do mundo. O objetivo desse trabalho foi avaliar a interação genótipo ambiente e a diversidade genética em variedades tradicionais de feijão de corda, visando a seleção de genitores que apresentem boa adaptabilidade e estabilidade, com alto desempenho agrônomo para uso em trabalhos de melhoramento no ambiente semiárido. Adicionalmente, alguns descritores agrônômicos foram discriminados como critério para uso na seleção de plantas, em trabalhos de melhoramento. O experimento foi conduzido em regime de sequeiro em um LUVISSOLO, localizado na região do Cariri Paraibano. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com três repetições, sendo a parcela constituída por quatro linhas de quatro metros, com espaçamento de 0,4 m entre plantas e 0,7 m entre fileiras. Neste local, doze genótipos cedidos por agricultores locais e comprados em feiras livres, estes foram avaliados com base em características agrônômicas descritas por Freire Filho. Quinze descritores foram adotados para avaliação dos genótipos, cujas médias foram submetidas a análise de variância e estimativa dos parâmetros genéticos. Posteriormente, foi procedida análise multivariada com agrupamentos baseados na distância generalizada de Mahalanobis. Também foram estimadas correlações simples, correlações canônicas e análise de trilha estimativa das causas/efeitos entre os descritores adotados. Foi verificada interação do tipo simples, para todos os descritores avaliados, indicando que um mesmo genótipo pode ser recomendado para os diferentes ambientes estudados. Embora os padrões de desempenho entre os genótipos tenham sido semelhantes nos dois ambientes, os maiores valores de produção foram obtidos na Fazenda Almas, em função da conservação ambiental e maior precipitação pluvial. Constatou-se variabilidade genética entre os genótipos analisados, bem como superioridade das variedades tradicionais em relação as testemunhas para características de produtividade. As variáveis número de grãos por vagem, dias para maturação e peso de 100 grãos e comprimento da vagem foram as que mais contribuíram para divergência. A associação entre os parâmetros genéticos, os métodos de agrupamento, o desempenho morfoagronômico e as distâncias estimadas, permitiu a seleção dos genitores mais promissores, que envolvem as variedades Cariri, Roxinho, Rabo de Tatu, Corujinha e IPA 207, para serem utilizadas como genitores em programas de melhoramento de feijão de corda. Foi possível também identificar caracteres que maximizam a resposta correlacionada como número de vagens por planta, comprimento da vagem e peso de 100 grãos. O uso destas características para a composição de índices de seleção e/ou seleção simultânea e caracteres pode auxiliar na obtenção de genótipos com maior produção de biomassa. Pode-se afirmar que, é possível aumentar o rendimento e investir em pesquisas com feijão de corda utilizando variedades crioulas, em condições semiáridas e em locais com diferentes condições edafoclimáticas.

Palavras-chave: *vigna unguiculata*; seleção fenotípica; variabilidade genética; análise de trilha.

ROLIM, R. R. **GENETIC STUDIES AND SELECTION OF TRADITIONAL ACCESSIONS OF COWPEA IN THE SEMIARID REGION**. Orientador: Prof. Dr. Manoel Bandeira de Albuquerque. 2022. 77f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2022.

ABSTRACT

Cowpea is an important source of protein for human consumption, in addition is often used in animal feed and organic fertilization. Due to its productive versatility and wide genetic variability, cowpea plant has broad adaptive capacity and low requirements of water and nutrients during management, representing an excellent food alternative especially for populations located at arid and semiarid regions of worldwide. This work aimed to evaluate the genotype x environment interaction and genetic diversity in traditional cowpea varieties, for further selection of parents with broad adaptability and stability, and high agronomic performance for recommendation in breeding works focused on semiarid environment. Additionally, some agronomic traits were discriminated as criteria for use in selection procedures. The assay was carried out in two environments, under rainfed conditions in a Luvisoil, located at “Cariri” region, in Paraíba State, Brazil. Twelve genotypes obtained from local farmers and acquired in street markets were evaluated based on fifteen agronomic traits. The plot consisted of 4 m-four rows spaced of 0.7 m between rows. Plants were spaced in 0.4 m. A randomized blocks was adopted as experimental, with three replications. Data were used to analysis of variance and estimation of genetic parameters. Subsequently, a multivariate analysis was performed with clusters based on the generalized Mahalanobis distance. Simple, canonical and path coefficient were estimated based on means of statistically different traits. Simple interactions were detected for all traits evaluated, indicating that the same genotype may be recommended for both environments studied. Although the performance patterns between the genotypes were similar in both environments, the highest production was found from Fazenda Almas place, due to environmental conservation and greater rainfall. Genetic variability was found among genotypes, as well as superiority of traditional varieties in relation to the controls for yield traits. The more contributive traits for divergence were number of grains per pod, days to maturation, weight of 100 grains and pod length. Based on results obtained via genetic parameters, cluster analysis, morphoagronomic performance and estimated distances, the follows genotypes were identified as the most promising: Cariri, Roxinho, Rabo de Tatu, Corujinha and IPA 207. They are, therefore, recommended for parents in studies of cowpea breeding. The traits number of pods per plant, pod length and weight of 100 grains maximized the correlated response; the adoption of them for composition of selection indices and/or simultaneous selection and traits can contribute to increase the biomass production of genotypes. It is possible to increase the yield and invest in research with cowpea using land race varieties in semiarid environment.

Keywords: *vigna unguiculata*; phenotypic selection; genetic variability; path coefficient.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I:

Figura 1. Location of the area under study. The black dots represent the locations of the farms where the experiment was conducted (Adapted, (Velloso et al. 2002)). 19

Figura 2. Performance in 10 genotypes of cowpea, for production and precocity traits evaluated in two locations (SJC and ALMAS) in the Cariri Paraibano – PB. The bean genotypes highlighted according to trait performance are cited and positioned in the respective graph.. 27

Capítulo II:

Figura 1 - Sementes de variedades tradicionais de *Vigna unguiculata* utilizadas nesse estudo. 37

Figura 2. Contribuição relativa dos caracteres quantitativos para divergência genética entre 15 genótipos de feijão de corda, com o cálculo das distâncias de Mahalanobis, de acordo com o método de Singh..... 42

Figura 3. Dispersão gráfica bidimensional dos escores (médias) das duas primeiras variáveis canônicas relativos a 12 caracteres avaliados em 15 genótipos de feijão de corda. 44

Figura 4. Dispersão gráfica bidimensional dos escores (médias) das duas primeiras variáveis canônicas relativos a 12 caracteres avaliados em 15 genótipos de feijão de corda, após a exclusão da característica que menos contribuiu para a divergência genética..... 45

Figura 5. Dendrograma obtido pelo método UPGMA com base na distância generalizada de Mahalanobis (D^2) para agrupamento de 15 genótipos de feijão de corda. 48

Figura 6. Representação gráfica do Escalonamento multidimensional analisadas em 12 características para 15 genótipos de feijão de corda. 49

Capítulo III:

Figura 1. Germoplasma de feijão de corda (*Vigna unguiculata*) utilizado nesse estudo. 60

LISTA DE TABELAS

Capítulo I:

Tabela 1. Passport data of cowpea accessions collected from different sites in Paraíba and Ceará States, Brazil..... 20

Tabela 2. Summary of the analysis of conjoint variance for 13 traits observed in 10 genotypes of cowpea, evaluated in two regions in Cariri Paraibano – PB, 2019..... 23

Tabela 3. Estimation of the quadratic, genotypic (σ^2G) and genotype x environment (σ^2GE) interaction components; genotypic determination (h^2) and genetic (CVg) and environmental (CVe) coefficients; intraclass (r), phenotypic (r_F) and genotypic (r_G) correlation between environments, percentages of the simple (% S) and complex part of the interaction (% C) in cowpea, in two regions in the Cariri Paraibano – PB, 2019..... 25

Tabela 4. Adaptability and stability estimates parameters according to the Plaisted and Peterson methodology, and ranking by the Genotype-Ideotype distance non-parametric selection index, obtained in analysis with 10 string bean genotypes, in two locations in the Cariri Paraibano – PB. 28

Capítulo II:

Tabela 1. Discriminação do germosplama de feijão de corda (*Vigna unguiculata*) usado nesse estudo. 37

Tabela 2. Resumo da análise de variância para 12 características avaliadas em feijão de corda no município de São João do Cariri – PB, 2019. 40

Tabela 3. Comparação de características entre doze variedades tradicionais e três cultivares comerciais de feijão de corda de acordo com o teste de Skott Knott a 5% de probabilidade. . 41

Tabela 4. Escores de autovalores e autovetores associadas às variáveis canônicas relativos a 12 caracteres avaliados em feijão de corda. 43

Tabela 5. Estimativas da distância genética de Mahalanobis, com base em 12 características quantitativas entre os 15 pares de genótipos analisados de feijão de corda. 46

Tabela 6. Agrupamento conforme método de otimização de Tocher baseado na dissimilaridade expressa pela distância de Mahalanobis. 47

Capítulo III:

Tabela 1. Discriminação do germosplama de feijão de corda (<i>Vigna unguiculata</i>) usado nesse	60
Tabela 2. Resumo da análise de variância para 12 características avaliadas em feijão de corda na RPPN, Fazenda Almas – PB, 2019.	62
Tabela 3. Estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica (rf), genotípica (rg) e de ambiente (ra) entre caracteres de feijão de corda, avaliados em 10 genótipos cultivados em regime de sequeiro no Cariri Paraibano..	65
Tabela 4. Estimativa dos efeitos diretos e indiretos de seis características sobre a produtividade, em feijão de corda.	65
Tabela 5. Estimativa dos efeitos diretos e indiretos de seis características sobre a biomassa da parte aérea, em feijão de corda.	66
Tabela 6. Estimativas das correlações e pares canônicos entre os fatores de produtividade e biomassa de parte aérea sobre características morfoagronômicas em feijão de corda.	67

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	12
REFERÊNCIAS	14
CAPÍTULO I	16
GENOTYPE X ENVIRONMENT INTERACTION AND STABILITY IN LANDRACES OF COWPEA UNDER DRYLAND CONDITIONS	16
Abstract	16
Resumo	16
Introduction	17
Materials And Methods	18
Area of the experiment.....	18
Plant material and preparation of the experimental area.....	20
Characterization	21
Statistical Genetic Analysis	21
Genetic Parameter Estimates	21
Adaptability and stability	22
Results And Discussion	23
Genetic Parameters	24
Adaptability and stability	28
Conclusions	29
References	29
CAPÍTULO 2.....	34
POTENCIAL GENÉTICO DE VARIEDADES TRADICIONAIS DE FEIJÃO DE CORDA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO	34
Abstract	34
Resumo	34
Introdução.....	35
Material e Métodos.....	36
Resultados	39
Discussão	49
Conclusão	51
Referências	52
CAPÍTULO 3.....	56

COMPONENTES AGRONÔMICOS E SUAS CORRELAÇÕES QUE INFLUENCIAM A PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E BIOMASSA EM FEIJÃO DE CORDA.....	56
Resumo.	56
Abstract.....	57
Introdução.....	58
Material E Métodos.....	59
Resultados	62
Discussão	68
Conclusão	71
Referências.....	71
CONCLUSÃO GERAL	74

INTRODUÇÃO GERAL

O modelo agrícola convencional adotado no semiárido brasileiro, possui uma forte questão histórica, cultural e política relacionada com o sistema de desenvolvimento ainda presente na região, a exemplo da retirada da cobertura original do solo, queimadas e exploração extrativista. Consequentemente e associado a práticas históricas inadequadas de exploração, as terras secas avançam rapidamente para um processo de degradação e consequente desertificação, que muitas vezes se torna difícil e caro de reverter (Araújo et al., 2021). Os resultados atuais indicam que a extensão do Semiárido apresenta 85% com moderado índice de desertificação e 9% com alto índice de desertificação (Marin et al., 2020).

O feijão de corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), representa uma excelente opção de lavoura para ambiente semiárido por possuir boa capacidade adaptativa, baixa exigência de água e nutrientes, além de importante componente econômico e alimentar em mais de 100 países, incluindo o Brasil (Silva et al., 2018). Por ser originário da África, com maior centro de diversidade na África Ocidental, a espécie apresenta grande importância agrícola e social em regiões tropicais e subtropicais do planeta (Gomes et al., 2020).

A produção mundial do feijão de corda na safra 2020 foi de 8.900 mil t em 1.4500 mil ha, com produtividade de 616,26 kg.ha⁻¹ (FAO, 2020). No Brasil a safra 2021/2022 foi de 724,1 mil t, em 1.365,4 mil ha, com produtividade média de 530 kg.ha⁻¹, sendo o Nordeste a região de maior consumo e responsável por cerca de 61,4% da produção nacional (CONAB, 2022). No semiárido nordestino, a cultura caracteriza-se como a principal fonte de renda e subsistência dos produtores de base familiar (Silva et al., 2018; Souza et al., 2018). Entretanto, as maiores produtividades são registradas no Centro - Oeste e no Norte, com médias maiores que as nacionais < 1.000 kg.ha⁻¹.

Embora a espécie possua rusticidade bastante elevada, adaptando-se bem às condições de menor disponibilidade de água, no semiárido existe uma distribuição irregular das chuvas, implicando, na maioria das vezes, na inviabilidade da exploração agrícola (Freitas et al., 2017). O déficit hídrico, a ausência de genótipos altamente produtivos e adaptados à realidade da região, a baixa qualidade genética das sementes e a falta de tecnificação dos produtores com utilização de técnicas agrícolas obsoletas, são os principais fatores para a baixa produtividade das lavouras (Rodrigues et al., 2018; Silva et al., 2018; Gomes et al., 2020).

Portanto, investigação de variedades tradicionais nos programas de melhoramento pode contribuir para o aumento efetivo da produção, desde que estas, sejam caracterizadas e

avaliadas para conhecimento da variabilidade genética existente. As variedades tradicionais são valiosos recursos genéticos por possuírem um pool gênico praticamente natural, de grande utilidade para serem transferidos para cultivares comerciais (Gomes et al., 2020). É necessário a utilização bem como a valorização dessas sementes em programas de melhoramento, garantindo a conservação da biodiversidade local e o fortalecimento da agricultura familiar no semiárido. Uma vez que, constituem a identidade e o patrimônio genético, história e cultura desses povos, passadas de geração a geração (Araújo et al., 2013).

Os programas de melhoramento de espécies autógamas, como o feijão de corda, são baseados, principalmente, na seleção de parentais seguida de hibridação para formação de uma população base para avanço de gerações, com seleção simultânea para maior segurança e resposta a seleção. Os estudos de diversidade genética são de grande importância nesse segmento por que auxiliam na identificação de materiais promissores, com chances de gerar combinações superiores para atender as várias demandas do programa de melhoramento (Cruz et al., 2012; Rodrigues, et al., 2018).

O ideótipo almejado nos programas de melhoramento para o feijão de corda incluem, alto rendimento de grãos, larga adaptabilidade e estabilidade, resistência a viroses, seca e altas temperaturas, precocidade e ausência de acamamento (Oliveira et al., 2019). A maioria dessas características são consideradas de alta complexidade, com natureza quantitativa, estando sobre o controle de vários genes susceptíveis às interações genótipo x ambiente, dificultando a seleção de boas combinações.

Para obtenção desse ideótipo é necessário investir em cruzamentos com parentais robustos e analisar suas progênies com ferramentas estatísticas capazes de prever o comportamento de genótipos frente às variações ambientais. Adicionalmente, é necessário estimar as interrelações genéticas entre os descritores de interesse uma vez que esses podem ser contributivos nos procedimentos de seleção, dependendo do sentido e magnitude das correlações (Silva e Neves, 2011; Mendonça et al., 2018). O conhecimento das correlações é essencial quando se pretende fazer uma seleção simultânea com maior possibilidade de obter ganhos indiretos por seleção em características correlacionadas e de fácil mensuração (Cruz et al., 2012; Freitas et al., 2019; Oliveira et al., 2019).

Considerando a importância socioeconômica da espécie, a alta produção associada a baixas produtividades no semiárido brasileiro, e ainda para o avanço do melhoramento genético, o objetivo desse trabalho foi avaliar a interação genótipo ambiente e a diversidade genética em variedades tradicionais de feijão de corda, visando a seleção de genitores que apresentem boa adaptabilidade e estabilidade, com alto desempenho agrônomo para uso em

trabalhos de melhoramento no ambiente semiárido. Adicionalmente, determinar descritores que possam ser adotados como critério nessa população para posterior seleção de plantas para maior produção de grãos e de biomassa.

REFERÊNCIAS

Araújo, H. F. P. et al. A sustainable agricultural landscape model for tropical drylands. *Land use policy*, v. 100, p. 104913, 2021.

Araújo, S. L. et al. Guardiões e guardiãs da agrobiodiversidade nas regiões do Cariri, Curimataú e Seridó Paraibano. *Caderno Agroecológico*, v. 8, n. 2 p. 1-5, 2013.

Conab (Companhia Nacional de Abastecimento) 2022. Acompanhamento da safra brasileira, V. 9 – Safra 2021/2022 - Sexto levantamento. 88p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 18 março. 2022.

Cruz, C. D.; Regazzi, A. J.; Carneiro, P. C. S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento. **UFV, Viçosa**, 2012.

Food and Agriculture Organization (FAO). 2020. FAOSTat, World Production. Disponível em: < <http://www.fao.org/>>. Acesso em: 11 jan. 2022.

Freitas, R. et al. Physiological responses of cowpea under water stress and rewatering in no-tillage and conventional tillage systems. *Revista Caatinga*, v. 30, n. 3, p. 559-567, 2017.

Freitas, T. G. G. et al. Grain yield and path analysis in the evaluation of cowpea landraces. *Revista Caatinga*, v. 32, p. 302-311, 2019.

Gomes, A. M. F., et al. Genetic diversity among cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) landraces suggests central Mozambique as an important hotspot of variation. *Agronomy*, V. 10, n 12, p 1893, 2020.

Mendonça, M.S. de et al. Importância e correlações de caracteres para diversidade do feijão-caupi em variedades tradicionais. *Revista Ciência Agronômica*, v. 49, p. 267-274, 2018.

Oliveira, T. R. A. et al. GYT biplot analysis: a new approach for cowpea line selection. *Embrapa Meio-Norte-Artigo em periódico indexado (ALICE)*, 2019.

Rodrigues, E. V. et al. Diallel analysis of tolerance to drought in cowpea genotypes. *Revista Caatinga*, 31: 40-47, 2018.

Silva, J. A. L.D. e Neves, J. A. Componentes de produção e suas correlações em genótipos de feijão-caupi em cultivo de sequeiro e irrigado. *Rev. Ciên. Agron.* 42: 702-713, 2011.

Silva, M. B. O. et al. Desempenho agronômico de genótipos de feijão-caupi. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 41, n. 4, p. 1056-66, 2018.

Souza, V. B. D. et al. Agronomic performance of cowpea elite lines in the states of Minas Gerais and Mato Grosso, Brazil. *Revista Caatinga*, v. 31, n. 1, p. 90-98, 2018.

CAPÍTULO I

Submetido a Revista Caatinga

GENOTYPE X ENVIRONMENT INTERACTION AND STABILITY IN LANDRACES OF COWPEA UNDER DRYLAND CONDITIONS

ABSTRACT. The cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) ‘Walp’) is an excellent cultivar for research in semiarid regions, due to its tolerance to high temperatures and low precipitation, with satisfactory yields in rain-fed cultivation. We evaluated the genotype X environment interaction and the stability of landrace varieties of cowpea used in the Brazilian semiarid region. The experiment was carried out under rain-fed conditions in two locations of the Cariri Paraibano region, considered one of the driest regions in Brazil. For all traits evaluated, the interaction was simple, which means that the same genotype can be recommended for the different environments studied. Our results also suggest that phenotypic selection can be efficient to enhance the yield of landrace varieties and this selection can be practiced by the farmers themselves. We rank the most advantageous genotypes with good stability ($\theta_i < 5\%$). Although the performance standards between the varieties were similar in the different environments, the best values were obtained on the farm with the best environmental conservation history and with higher precipitation. Therefore, the integration between string bean yield, environmental conservation in agricultural landscapes, and strategic planning that considers possible variations in local precipitation is essential in models of sustainable agricultural development in semiarid regions.

Keywords: Semiarid. Landrace varieties. Simple interaction. Phenotypic selection. Sustainability.

INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE E ESTABILIDADE EM VARIEDADES CRIOULAS DE FEIJÃO DE CORDA EM TERRAS SECAS

RESUMO. O feijão de corda (*Vigna unguiculata* (L.) ‘Walp’) é uma excelente cultivar para pesquisas em regiões semiáridas, devido à sua tolerância a altas temperaturas e baixa precipitação, com rendimentos satisfatórios no cultivo de sequeiro. Avaliamos a interação genótipo X ambiente e a estabilidade de variedades crioulas de feijão de corda utilizadas no semiárido brasileiro. O experimento foi conduzido em regime de sequeiro em duas localidades

da região do Cariri Paraibano, considerada uma das regiões mais secas do Brasil. Para todas as características avaliadas, a interação foi simples, o que significa que o mesmo genótipo pode ser recomendado para os diferentes ambientes estudados. Nossos resultados também sugerem que a seleção fenotípica pode ser eficiente para aumentar o rendimento de variedades crioulas e esta seleção pode ser praticada pelos próprios agricultores. Classificamos os genótipos mais vantajosos com boa estabilidade ($\theta_i < 5\%$). Embora os padrões de desempenho entre as variedades tenham sido semelhantes nos diferentes ambientes, os melhores valores foram obtidos na fazenda com melhor histórico de conservação ambiental e com maior precipitação. Portanto, a integração entre a produtividade do feijão de corda, a conservação ambiental nas paisagens agrícolas e um planejamento estratégico que considere possíveis variações nas precipitações locais é fundamental em modelos de desenvolvimento agrícola sustentável em regiões semiáridas.

Palavras-chave: Semiárido. Variedades Landrace. Interação simples. Seleção fenotípica. Sustentabilidade.

INTRODUCTION

Dryland regions correspond to approximately 41.5 % of the continent, are classified as arid, semiarid (SAR'S), or dry sub-humid regions, with more than 38 % of the world population living in these areas (Huang et al., 2016; Bastin et al., 2017). With a history and continuous inadequate agricultural use, several areas of these regions have become susceptible to desertification with consequences on climate change, loss of biodiversity, soil degradation, cyclical reduction of agricultural areas, decrease in agricultural production, increase in economic losses, and poverty (Sá et al., 2010; Dantas et al., 2019). Although the history of inappropriate land use for agriculture has been one of the main threats to sustainability in these regions, agriculture also plays an essential role in economic development in dry regions around the world (Stewart et al., 2016).

The success of SAR'S agriculture relies on the water stored in the soil, the efficient use of precipitation, the prevention of soil degradation, and the use of cultivars tolerant to semiarid conditions (Stewart et al., 2016). Therefore, the selection of cultivars that profitably meets the universal objective of environmental resources protection is exacerbated in SAR'S.

Cowpea are one of the main food sources in arid, semi-arid, and tropical regions of the world (Dias et al., 2016; Gerrano et al., 2020). This crop is considered an excellent example in

SAR'S research due to its tolerance to abiotic factors, such as high temperatures and low precipitation, with a minimum precipitation requirement of 300 mm for satisfactory yield in rainfed cultivation (Silva et al., 2018; Dantas et al., 2019).

Brazil is the third largest world producer of cowpea, with a yield of 533 kg ha⁻¹ in 20/21, the northeast region yield of 409 kg ha⁻¹, with most of this area located in SAR'S. Despite its great socioeconomic importance in the country, this crop is cultivated in a rudimentary way and the average yield in the semiarid region is still low, 374 kg.ha⁻¹ (Conab, 2021). Some factors limit this production, such as the occurrence of biotic and abiotic stresses, low technology use by farmers, and the cultivation of landrace with low yield potential (Rodrigues et al., 2018; Owusu et al., 2018; Sousa et al., 2019). However, landrace can maintain a diversity of genotypes that respond favorably to local environmental variations and can contribute to increased productivity, if varieties that are properly fit to the environment and production system are selected.

In the selection process for an appropriate genotype for a given environment, it is necessary to understand that the phenotype is the result of the response of the genotype under the influence of the environment. However, environmental variations can promote different interactions between the environment and the genotype (Owusu et al., 2020). An interaction can be complex when it generates different responses in the performance of genotypes in different environments, influencing the selection progress and the recommendation of cultivars with wide adaptability (Torres et al., 2015). A simple interaction is observed when a genotype shows the same pattern of responses although it is influenced by the environment (Cruz et al., 2012; Sousa et al., 2018). This type of interaction does not interfere in breeding programs or in the recommendation of cultivars.

Here, we show the results of the genotypeXenvironment interaction of landraces of cowpea on the cultivation of land under different conditions of land use and precipitation in one of the driest sub-regions of the Caatinga, the largest dry region in South America (Silva et al., 2017). We also recorded the performance for each genotype under the studied variations through its adaptability and stability.

MATERIALS AND METHODS

Area of the experiment

Planting was carried out in a semiarid region of the Brazilian semiarid, in the Cariri Paraibano region (Figure 1). The region occupies an area of 11.233 km², composed of 30

municipalities, with an estimated population of 199.728, a demographic density of 17.78 habitants / km², and a GDP per capita/year per municipality of R\$ 8,022.8181 (IBGE, 2017). The regional climate is classified as "Bsh" Semi-arid hot with summer rains, characterized by high temperatures (annual averages around 26°C) and annual precipitation of approximately 400 mm.

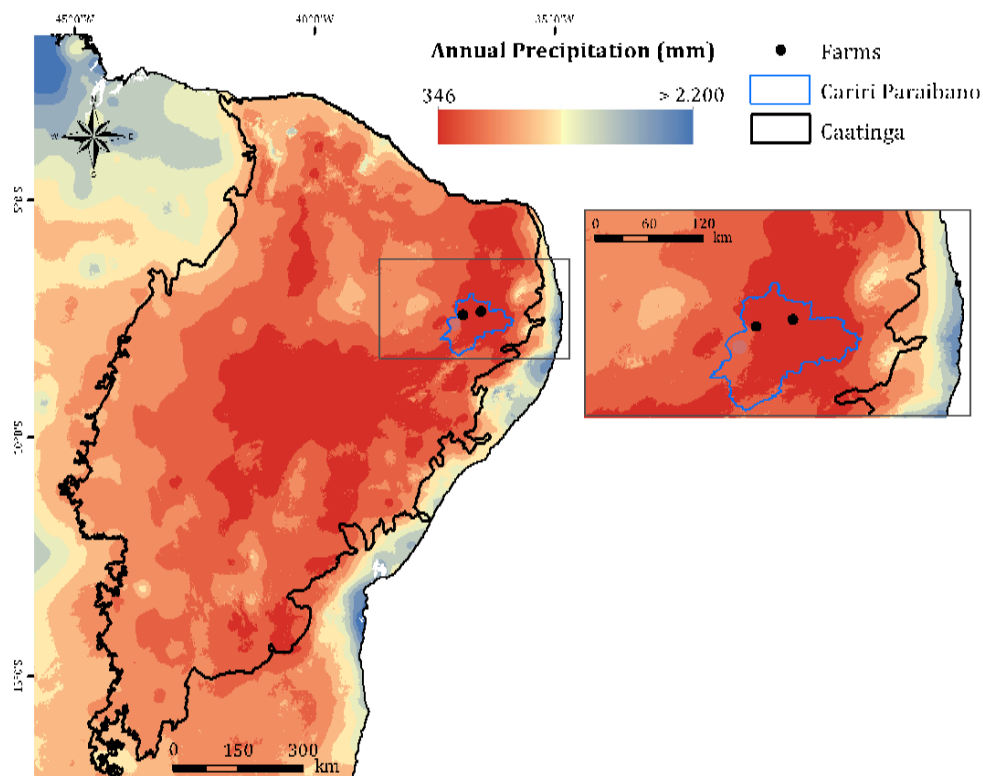


Figure 1. Location of the area under study. The black dots represent the locations of the farms where the experiment was conducted (Adapted, (Velloso et al. 2002)).

The experiment was carried out in two areas of different municipalities to show productive indicators under the influence of different environmental conservation and local precipitation conditions: 1) São João do Cariri (SJC) at the following geographic coordinates: 7° 23' 27" south latitude, 36° 32' 2" west longitude, at an altitude of 449 m, where the vegetation is characterized by a long period of selective or shallow cutting for the production of firewood and native pasture for goats, this region is one of the desertification nuclei of the Brazilian Semiarid Region (Perez et al., 2012; Travassos and Souza 2014); 2) São José dos Cordeiros precisely at Almas Farm (Fz. ALMAS) at the following geographic coordinates: 7° 28' 15" south latitude, 36° 53' 51" west longitude, at an altitude of 580 m, where there is a private preserved environment, with conservation initiatives practiced for over forty years. The planting occurred in February of 2019 and the harvest was carried out in May of the same year

under total precipitation of 231 mm in São João do Cariri and 426 mm in São José dos Cordeiros (Climate Monitoring Program in Real Time of the Northeast Region-PROCLIMA and pluviometer).

Plant material and preparation of the experimental area

Ten string bean genotypes were pre-selected based on characteristics such as water stress tolerance, productivity, market value, and use in the region under study (Table 1). They were collected from communities and open markets in the semiarid of the states of Paraíba and Ceará.

The preparation for planting was carried out conventionally, with plowing harrow two weeks before sowing in a LUVISOL soil, on both locations. Chemical, physical and mineralogical analyzes of the soils were made. Mineral fertilization consisted of the application of 350 kg ha⁻¹ of ammonium sulfate 30 days after sowing.

Tabela 1. Passport data of cowpea accessions collected from different sites in Paraíba and Ceará States, Brazil.

Genotype	City	State	Geographic coordinates	Class	Subclass	Form
Canapu	Aurora	CE	6° 56' 4"S	Colors	Canapu	Rounded
Cariri	Remígio	PB	38° 57' 51"W 6° 53' 30"S	White	Fradinho	Oval
Corujinha	Prata	PB	35° 49' 51"W 7° 42' 4" S	Colors	Owl	Rounded
Macaíba	Alagoa	PB	37° 6' 33"W 7° 4' 56"S	White	Fradinho	Oval
Manteguinha	Grande Pocinhos	PB	35° 35' 57"W 7° 4' 26"S	White	Butter	Oval
Quebra Cadeira	Areia	PB	36° 3' 40"W 6° 57' 42"S	White	Fradinho	Reniform
Pata De Vaca	Areia	PB	35° 41' 43"W 6° 57' 42"S	White	Brown Eye	Reniform
Rabo De Tatu	Pocinhos	PB	35° 41' 43"W 7° 4' 26"S	Colors	Straight	Losangular
Roxinho	Prata	PB	36° 3' 40"W 7° 42' 4" S	Colors	Mulatto Straight	Oval
Sempre Verde	Alagoa Grande	PB	37° 6' 33"W 7° 4' 56"S 35° 35' 57"W	Colors	Mulatto Always green	Losangular

Sowing was made manually with three seeds per pit, and after 15 days thinning was performed. The harvest was carried out approximately 65 days after planting. A randomized block experimental design with three replications was used in the two locations. The experimental plot consisted of four lines of four meters, with a typical spacing of 0.4 m between plants and 0.7 m between rows, with ten plants per experimental unit to be analyzed.

Characterization

The varieties were evaluated for growth, flowering, productivity, and environmental adaptation. The quantitative traits evaluated were: -Number of days for flowering and maturation: days after sowing taken until more than 50% of the plot present inflorescence and green pods, respectively; - Plant height (cm): measured from the plant collar to the apical bud of the highest branch or higher distance from the plant collar; - Stem diameter (cm): measured two centimeters above the plant collar; - Number of leaves: count of all leaves with a minimum length of 3.0 cm; - Leaf water content (%): determined from the weight of fresh leaves (FW) and their weight after drying (DW) in an oven at 45°C until they reached a constant weight. With these values, the formula was applied:

$$LWC(\%) = \frac{FW-DW}{FW} \times 100.$$

- Number of pods per plant: counting all pods of an individual plant; - Number of grains per pod: counting the number of grains in three pods for each individual;- Pod length (cm): mean of three pods of each plant in the stage that allows manual threshing to obtain green grains;- Weight of 100 green grains (g): after manually threshing the pods, 100 grains were counted and weighed on a precision scale;- Green (approximately 60 to 70% moisture) and dry (moisture content around 13%) (kg ha⁻¹) grain yield: Determined from the production of grains per plant, per m² and estimated for ha, 8 replicates per plot were collected for each grain type;- Aerial part biomass (g): Plant samples were cut close to the soil surface, then weighed on a precision scale.

Statistical Genetic Analysis

Before the GxE interaction study, it is essential to perform the analysis of variance at each location to assess the existence of genetic variability between the cultivars under study. The relative prediction of each experiment and the homogeneity of the residual variances should also be investigated (Cruz et al., 2012). After conducting the individual analysis of variance for each location and the existence of the above-mentioned assumptions, the conjoint analysis was carried out. The conjoint analysis aimed to analyze the effects of genotypes, environments, and the GxE interaction, considering the two locations. The variation component of the GxE interaction was quantified considering genotypes and environments as fixed effects (Cruz et al., 2012).

Genetic Parameter Estimates

Based on the means and variances values, estimates of variance components were obtained to assess the potential of populations for breeding purposes, also, to establish effective

selection strategies. The mathematical formula proposed by Cruz et al., (2012) was used to estimate the phenotypic (r_f) and genotypic (r_g) correlation coefficients between environments.

⇒ Phenotypic correlation coefficient (r_f)

$$r_f = \frac{COV f(x, y)}{\sqrt{\sigma^2_{fx} \cdot \sigma^2_{fy}}}$$

⇒ Genotypic correlation coefficient (r_g)

$$r_g = \frac{COV g(x, y)}{\sqrt{\sigma^2_{gx} \cdot \sigma^2_{gy}}}$$

Where: COV f (X, Y) and COV g (X, Y) correspond to the estimates of phenotypic and genotypic covariance between environments, respectively;

σ^2_{fx} and σ^2_{gx} correspond to the estimates of phenotypic and genotypic variances in environment 1;

σ^2_{fy} and σ^2_{gy} correspond to the estimates of phenotypic and genotypic variances in environment 2;

The significance of the phenotypic, genotypic, and environment correlation coefficients was assessed by the t-test ($p < 0.05$).

When the significant GxE interaction was observed, the decomposition of the mean square of the interaction into simple parts (provided by the difference in variance between genotypes in the environments) and complex (generated by the low correlation between locations, due to the irregular performance of the genotypes) was estimated using the formula proposed by Cruz and Castoldi (1991):

$$C = \sqrt{(1 - r)^3 Q_1 Q_2}$$

Where r is the correlation between the means of genotypes in the two environments; and Q1 and Q2 are the mean squares between genotypes in environments 1 and 2 respectively.

Another relevant aspect, depending on the interaction, is the gain prediction to be obtained by a given improvement strategy. In this study, we perform the prediction of genetic gains for each environment: using, for the selection differential, an intensity of 30% of the individuals with the best performance and the coefficient of genotypic determination of the target trait.

Adaptability and stability

To obtain information on the performance of each genotype under the variations in both locations, adaptability and stability were estimated using the method proposed by Plaisted and

Perterson (1959). Subsequently, a ranking of genotypes was carried out based on the genotype-ideotype distance selection index proposed by Wricke and Weber (1986). All statistical analyzes were performed using the computer software GENES (Cruz 2013).

RESULTS AND DISCUSSION

It was possible to verify a significant effect of genotypes, environments, and also of the GxE interaction (Table 2). The estimates and the significance of the genotypes mean squares showed significant effects ($p < 0.01$) for the following traits: number of days for flowering, plant height, stem diameter, number of leaves, number of days to maturation, pod length, number of grains per pod, the weight of 100 grains, green and dry grain yield, and aerial part biomass. The coefficients of variation of the analyzed traits provided good data confidence.

The success in the development of high-yielding varieties is a consequence of the genetic variability level and diversity of the breeding population (Dias et al., 2015; Meena et al., 2017). String bean varieties exhibit a wide range of phenotypic variability, which has enabled its production under different climatic and soil conditions (Gerrano et al., 2020) attributed to inherent genetic properties and/or environmental influence, which can be exploited for improvement through selection and/or hybridization of individuals with desired traits (Aliyu et al., 2019).

Tabela 2. Summary of the analysis of conjoint variance for 13 traits observed in 10 genotypes of cowpea, evaluated in two regions in Cariri Paraibano – PB, 2019.

Means Square								
SV	GL	DF	PH	SD	NL	LWC	DM	NPP
Block	2	9.86	0.76	0.08	277.48	136.81	0.81	2.10
Genotype	9	59.97**	365.52**	0.08**	537.77**	207.55	124.65**	11.19
Environment	1	1075.23**	5192.19**	0.53**	8450.25**	218.30	160.06**	488.26**
G x E	9	36.22**	159.14**	0.02	273.98*	188.41	111.88**	12.83*
CV (%)		4.63	18.50	16.33	24.82	19.22	2.80	22.57
Error		0.78	1.82	0.02	2.42	0.78	0.82	0.51
Mean		50.06	38.35	0.89	43.75	83.58	65.46	10.50
	GL	PL	NGP	P100G	GGY	BAP	DGY	
Block	2	1.87	2.06	36.62	64.371.53	5051.15	38.648.40	
Genotype	9	11.08 **	33.16**	236.95**	247555.75**	24942.07**	65526.51**	
Environment	1	126.81**	201.41**	51.18	2982812.39**	514500.41**	3589108.77**	
G x E	9	4.90**	5.32*	67.88	75033.49*	6513.22	62.47.76**	
CV(%)		7.02	14.05	22.70	33.27	34.94	28.91	
Error		0.30	0.42	1.16	45.17	16.48	38.70	
Mean		16.81	10.57	31.16	536.47	182.26	388.83	

DF: number of days for flowering; PH(cm): plant height; SD (cm): stem diameter; NL: number of leaves; LWC (%): leaf water content; DM: number of days to maturity; NPP: number of pods per plant; PL (cm): pod length; NGP: number of grains per pod; P100G (g): weight of 100 grains; GGY (kg ha⁻¹): green grain yield; BAP (g): biomass of the aerial part; DGY (kg ha⁻¹): dry grain yield. * significant at 5% probability. ** significant at 1% probability

Considering the source of variation in the environments, a significant difference at 1% probability by the F test was observed, for most of the traits evaluated, which indicates the existence of variability between the locations. Except for the weight of 100 grains and the leaf water content, where no significant variation was observed (Table 2). The genotype x environment interaction also demonstrated significant differences in the number of days for flowering, plant height, number of leaves, dry leaf weight, number of days for maturation, number of pods per plant, pod length, number of grains per pod, green and dry grain yield (Table 2).

This interaction indicates that the performance of the genotypes was not consistent in the two locations evaluated, which reflects the different behavior of the genotypes in the environmental conditions that they were submitted (Guerra et al., 2017). In Brazil, there are many commercially improved cultivars that present good performance, however, there is no breeding program aiming at the evaluation of cultivation and for cultivation considering the peculiarities of each of the phoclimatic region (Teixeira et al., 2010). This problem occurs with several crops and is aggravated in situations where the cultivation is concentrated in small areas by family farmers and based on low technology use, as for eg. in cowpea cultivation.

Genetic Parameters

The magnitudes of the genotypic variability (σ^2_G) were higher than the estimates of the interaction quadratic component ($\sigma^2_{G \times E}$). The only traits that did not show similar results were precocity (days for flowering and maturation) and yield (number of pods per plant) (Table 3). The coefficient of genotypic determination for the traits evaluated in our study is considered of high magnitude (> 75 %), which indicates greater confidence when performing phenotypic selection based on these traits (Table 3). This estimate was below 75 % only for the number of pods per plant (49.81 %). High values of h^2 are extremely important for confidence in the selection of genotypes (Souza et al., 2018), but it should not be considered isolated when the objective is to verify the potential of genotypes.

Tabela 3. Estimation of the quadratic, genotypic (σ^2_G) and genotype x environment (σ^2_{GE}) interaction components; genotypic determination (h^2) and genetic (CVg) and environmental (CVe) coefficients; intraclass (r), phenotypic (r_F) and genotypic (r_G) correlation between environments, percentages of the simple (% S) and complex part of the interaction (% C) in cowpea, in two regions in the Cariri Paraibano – PB, 2019.

Traits	σ^2_G	σ^2_{GE}	r	h^2	GS(%) ¹	GS(%) ²	CVg/CVe	r_F	r_G	%S	%C
DF	9.09	10.27	62.77	91.00	-10.39	-3.7	1.29	0.31	0.40	57.45	42.54
PH	52.52	36.25	51.03	86.21	22.25	21	1.02	0.39	0.48	77.74	22.25
NL	69.96	51.99	37.22	78.06	39.57	10.04	0.77	0.32	0.47	82.02	17.97
DM	20.21	36.16	85.68	97.29	-8.09	-10.47	2.44	0.05	0.05	95.93	4.06
NPP	0.92	2.40	14.19	49.81	15.39	8.71	0.40	-0.07	-0.13	93.37	6.62
PL	1.61	1.17	53.66	87.42	7.71	6.95	1.07	0.38	0.46	78.02	21.97
NGP	5.15	1.03	70.01	93.33	24.4	13.72	1.52	0.72*	0.80	52.51	47.48
GGY	35948.79	14390.16	53.01	87.12	56.77	26.27	1.06	0.58	0.72	51.76	48.23
DGY	8813.75	16.734	41.07	80.70	61.37	23.4	0.83	0.02	0.03	79.06	20.93

DF: number of days for flowering; PH(cm): plant height; SD (cm): stem diameter; NL: number of leaves; DM: number of days to maturity; NPP: number of pods per plant; PL (cm): pod length; NGP: number of grains per pod; P100G (g): weight of 100 grains; PGV (kg ha⁻¹): green grain yield; BAP (g): biomass of the aerial part; DGY (kg ha⁻¹): dry grain yield. ¹ São João do Cariri; ²Almas Farm in São José dos Cordeiros.

Intraclass correlation coefficients above 50 % were observed for the number of days for flowering, number of days for maturation, plant height, pod length, number of grains per pod, and green grain yield (Table 3), which indicates the stability of the phenotypic superiority of the genotypes, in the different evaluated environments (Cruz et al., 2012).

These same traits also showed a ratio between the coefficients of genetic and environmental variation (CVg/CVe) above one, this confirms that the selection can be made based on the phenotype. In this study, the precocity and yield of green grains had the highest h^2 and CVg/CVe ratio above one, which indicates that the additive gene action was predominant (Rodrigues et al., 2018), and with experimental quality, as well as safety and reliability in the selection of superior genotypes (Sousa et al., 2019) for these traits. Therefore, the phenotypic selection is efficient to enhance the yield of landrace varieties of cowpea, and this can be practiced by farmers, under rainfed conditions. Aramendiz et al., (2019) highlight that the successful selection and development of new cultivars is associated with the participation of

farmers in breeding programs, helping to choose new genotypes that respond to their conditions, requirements, and needs.

The phenotypic correlation coefficient was evaluated. The number of grains per pod showed a significance the 0.72 (Table 3), which means that, for this trait, the performance of the superior genotypes did not change according to the evaluated environment. Although the grain yield trait is not suitable for phenotypic selection, as they are considered quantitative, controlled by several genes, with a strong influence of the environment on their expression, the results obtained here indicate genes with an additive effect and h^2 above 80%. In this case, phenotypic selection can be made, and we can advantageously indicate the use of the most productive genotypes with acceptable stability (Alves et al., 2019).

The estimates prediction of the interaction unfolding was of the simple type (Table 3), which confirms the influence of the environment on the phenotypic response of string bean genotypes. With no changes in the genotype performance pattern between environments, which does not imply major selection problems (Guerra et al., 2017). In this case, the same genotype can be recommended for different environments (Gerrano et al., 2020), with no need for regionalization of breeding programs and it reduces costs associated with breeding.

The gains of selection (GS) were satisfactory in both environments and ranged from - 10.39 to 61.37 % (Table 3). However, the largest GS was observed in the SJC environment. The expected gain from selection is related to the difference between the phenotypic means of a trait and expresses the advancement of the next generation in relation to the original population, resulting from the selection performed (Baldissera, 2014). In this location, the genotypes had the higher mean variation for the traits analyzed, where some genotypes had very good mean values and others very low, which leads to a greater selection differential and consequently, a high estimate in the GS.

When we compared the two environments, the genotypes developed better in Almas Farm (Figure 2), except for the number of days for maturation. In the SJC, the Manteiguinha and Roxinho genotypes did not reach dry grain productivity due to plant attack by ants.

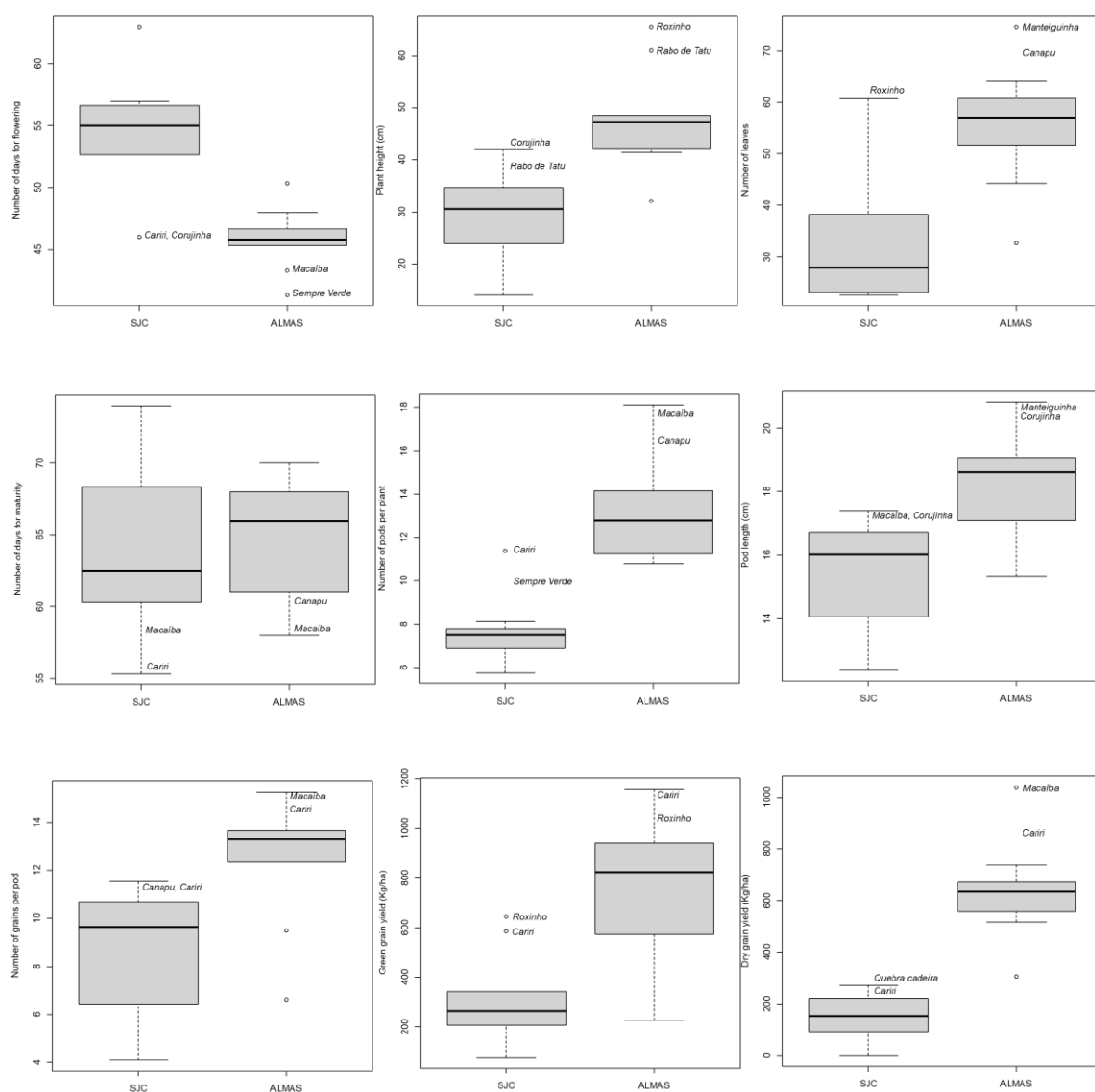


Figure 2. Performance in 10 genotypes of cowpea, for production and precocity traits evaluated in two locations (SJC and ALMAS) in the Cariri Paraibano – PB. The bean genotypes highlighted according to trait performance are cited and positioned in the respective graph.

The genotypes showed a better response pattern in the location with a better environmental history of land use and higher precipitation. Producers and plant breeders are interested in selecting genotypes that present an ideotype of interest (Silva et al., 2018), that is, highly productive, resilient to current climatic challenges (Owusu et al., 2020), precocious with good grain quality, resistance, and water deficit, in addition to stable productivity. According

to the traits analyzed, the genotypes Cariri, Canapu, Corujinha, Macaíba, and Roxinho have superiority for precocity, plant architecture, and productivity (Figure 2).

Adaptability and stability

The most stable genotypes were not the most precocious and productive, according to the lowest values for the estimate θ_i (%) (Table 4). Among the evaluated genotypes, with satisfactory stability (<5%) and high productivity, Cariri and Roxinho are indicated, these genotypes showed green grain yields above 800 kg ha⁻¹ and Cariri, Canapu, and Macaíba with dry grains yield above 420 kg ha⁻¹. These values are above the average dry grain yield recorded in the state of Paraíba (374 kg ha⁻¹) and throughout the Northeast region of Brazil (409 kg ha⁻¹) (Conab, 2021).

Tabela 4. Adaptability and stability estimates parameters according to the Plaisted and Peterson methodology, and ranking by the Genotype-Ideotype distance non-parametric selection index, obtained in analysis with 10 string bean genotypes, in two locations in the Cariri Paraibano – PB.

Genotypes	DF	PH	NL	DM	NPP	PL	NGP	PGY	DGY	Rank
	θ_i (%)	θ_i (%)	θ_i (%)	θ_i (%)	θ_i (%)	θ_i (%)	θ_i (%)	θ_i (%)	θ_i (%)	GI
Canapu	4.32	3.36	6.12	7.86	20.41	7.30	11.12	5.56	5.94	2°
Cariri	26.66	11.16	1.71	14.82	18.84	3.75	6.63	4.39	5.16	3°
Corujinha	22.00	16.07	1.55	17.29	6.94	3.46	1.50	9.25	3.85	6°
Macaíba	4.32	6.79	10.83	6.46	36.66	4.87	3.66	1.91	38.19	1°
Manteguinha	8.89	2.69	19.82	11.43	1.60	44.54	21.64	1.39	8.18	9°
Quebra Cadeira	4.70	2.70	4.78	5.28	1.81	9.25	2.38	8.69	13.85	7°
Pata De Vaca	6.34	5.67	4.30	19.04	2.09	3.44	4.95	4.04	7.49	10°
Rabo De Tatu	5.85	3.75	1.36	4.84	2.45	10.78	36.40	17.34	3.78	4°
Roxinho	5.43	43.31	38.38	7.99	3.78	4.36	9.97	4.86	9.38	5°
Sempre Verde	11.43	4.45	11.10	4.93	5.37	8.22	1.70	42.52	4.13	8°

DF: number of days for flowering; PH(cm): plant height; NL: number of leaves; DM: number of days to maturity; NPP: number of pods per plant; PL (cm): pod length; NGP: number of grains per pod; PGV (kg ha⁻¹): green grain yield; DGY (kg ha⁻¹): dry grain yield. Stability parameter proposed by Plaisted and Peterson (1959); GI- Genotype-Ideotype Index (Wricke and Weber, 1986).

Among the ten genotypes used in our study, the ranking through the selection index based on the distance between the genotype and the ideotype indicated the top five varieties: Canapu,

Cariri, Macaíba, Rabo de Tatu, and Roxinho (Table 4). For selection, it would be more advantageous to use the most productive genotypes in which stability is acceptable and is in a good position in the Rank (Alves et al., 2019). Thus, the selection of the genotypes Canapu, Cariri, and Macaíba are the most suitable, with the higher green and dry grains yield. Landrace varieties need to be valued and used to maintain local diversity, strengthen small farm agriculture in the Brazilian semiarid region and guarantee food sovereignty in this region (Fernandes, 2017). One way to increase productivity in landrace seed crops is through selection (Dias et al., 2016) and adaptation to environmental conditions. Based on our results, it is possible to invest in cowpea research with landrace varieties with a focus on yield and drought tolerance (Dantas et al., 2019).

CONCLUSIONS

Phenotypic selection can be efficient to enhance the yield of landrace and this selection can be practiced by the farmers themselves. To the genotypes Cariri, Canapu, Macaíba, and Roxinho for use and development in the production of dry or green grains, and the genotypes Canapu, Manteguinha, and Roxinho to produce aerial biomass, regardless of the conservation history or even the precipitation variation.

Although the performance standards between the varieties were similar in the different environments, the best values were obtained on the farm with the best environmental conservation history and with higher precipitation (426 mm) during the cultivation. Therefore, the integration among productivity, environment conservation in agricultural landscapes, and strategic planning that considers possible variations in local precipitation are essential in sustainable agricultural development models in semiarid regions, mainly to assist in the eradication of current and future desertification problems.

REFERENCES

- ALIYU, O. M. et al. Evaluation of Advanced Breeding Lines of Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) for High Seed Yield under Farmers' Field Conditions. **Plant Breeding and Biotechnology**, 7: 12-23, 2019.
- ALVES, G. F. et al. Stability of the hypocotyl length of soybean cultivars using neural networks and traditional methods. **Ciência Rural**, 49: 1-7, 2019.

ARAMENDIZ, T. H.; ESPITIA, C. M.; CARDONA A. C. Adaptation and stability of cowpea (*Vigna unguiculata*(L.) Walp) bean cultivars in the tropical dry forest of Colombia. **Australian Journal of Crop Science**, 13, 1009-1016, 2019.

BALDISSERA, J. N. C. et al. Fatores genéticos relacionados com a herança em populações de plantas autógamas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, 13: 181-189, 2014.

BASTIN, J. F. et al. The extent of forest in dryland biomes. **Science**, 356: 635-638, 2017.

CONAB - Companhia de safra brasileira de grãos. Acompanhamento da safra brasileira de grãos - Safra 2020/2021. Disponível em: < https://www.gov.br/fazenda/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes/conjuntura-economica/agricola/2021/2021-03-11_levantamento-de-safras_conab.pdf > . Acesso em: 01 agosto de 2021.

CRUZ, C. D. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, 35: 271-276, 2013.

CRUZ, C. D.; CASTOLDI, F. L. Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexa. **Ceres**, 38: 422-430, 1991.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa: Editora UFV, 2012. 514p.

DANTAS, A. P. J. et al. Evaluation of two cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) walp.) genotypes under rainfed farming with low rainfall. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, 7: 58-69, 2019.

DIAS, F. T. C. et al. Variabilidade genética de feijão-caupi de porte ereto e ciclo precoce analisada por marcadores RAPD e ISSR. **Revista Ciência Agronômica**, 46:563-572, 2015.

DIAS, F. T. C.,; BERTINI, C. H. D.; FREIRE FILHO, F. R. Genetic effects and potential parents in cowpea. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 16: 315-320, 2016.

FERNANDES, G. B. Sementes crioulas, varietais e orgânicas para a agricultura familiar: da exceção legal à política pública. In: Sambuichi, R.H.R. et al. (Eds). **A política nacional de agroecologia e produção orgânica no Brasil: uma trajetória de luta pelo desenvolvimento rural sustentável**, 2017, cap. 11, p. 327-357.

GERRANO, A. S. et al. Genotype and genotype $\times$ environment interaction effects on the grain yield performance of cowpea genotypes in dryland farming system in South Africa. **Euphytica**, 216: 1-11, 2020.

GUERRA, J. V. S. et al. Agronomic performance of erect and semi-erect cowpea genotypes in the north of Minas Gerais, Brazil. **Revista Caatinga**, 30: 679-686, 2017.

HUANG, J. Y. H. et al. Accelerated dryland expansion under climate change. **Nature Climate Change**, 6: 166-171, 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malha Digital 2017, Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 20 de janeiro de 2021.

MEENA, S. S. et al. Interpretation of genotype $\times$ environment interaction and grain yield stability in some advance lines of pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) grown at different altitudes. **Chemical Science Review and Letters**, 6: 1113-1119, 2017.

OWUSU, E. Y. et al. Inheritance of early maturity in some cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) genotypes under rain fed conditions in Northern Ghana. **Advances in agriculture**, 2018: 1-10, 2018.

OWUSU, E. Y. et al. Genotype $\times$ environment interactions of yield of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) inbred lines in the Guinea and Sudan savanna ecologies of Ghana. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, 23: 453-460, 2020.

PEREZ, A. ET al. Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: Ocorrência natural ou antrópica? **Parcerias Estratégicas**, 17: 87-106, 2012.

PLAISTED, R. L.; PETERSON, L. C. A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations or seasons. **American Potato Journal**, 36: 381-385, 1959.

RODRIGUES, E. V. et al. Diallel analysis of tolerance to drought in cowpea genotypes. **Revista Caatinga**, 31: 40-47, 2018.

SÁ, I. B. et al. Processos de desertificação no Semiárido brasileiro. In: Sá, I.; Silva, P.C.G. (Eds.). **Semiárido Brasileiro: Pesquisa Desenvolvimento e Inovação**, Petrolina-PE: Embrapa Semiárido, 2010. p. 125–158.

SILVA, J. D. L. D. et al. Selection for the development of black eye cowpea lines. **Revista Caatinga**, 31: 72-79, 2018.

SILVA, J. M. C. et al. The Caatinga: Understanding the Challenges, in: Caatinga. **Springer International Publishing**, Cham: 3–19, 2017.

SOUSA, M. B. E. ET AL. Genotype by environment interaction in cowpea lines using GGE biplot method. **Revista Caatinga**, 31: 64-71, 2018.

SOUSA, T. D. J. F. D. et al. Simultaneous selection for yield, adaptability, and genotypic stability in immature cowpea using REML/BLUP. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 54: 1-9, 2019.

SOUZA, V. B. D. et al. Agronomic performance of cowpea elite lines in the states of Minas Gerais and Mato Grosso, Brazil. **Revista Caatinga**, 31: 90-98, 2018.

STEWART, B. A. Dryland Farming. In: Reference Module in Food Science. Elsevier. 2016.

TEIXEIRA, I. R. et al. Desempenho agrônômico e qualidade de sementes de cultivares de feijão-caupi na região do cerrado. **Revista Ciência Agronômica**, 41: 300-307, 2010.

TORRES, F. E. et al. Interação genótipo x ambiente em genótipos de feijão-caupi semiprostrado via modelos mistos. **Bragantia**, 74: 255-260, 2015.

TRAVASSOS, I. S.; SOUZA, B. Desmatamento e Desertificação no Cariri Paraibano (In Portuguese, with English abstract.). **Revista Brasileira de Geografia Física**, 7: 103-116, 2014.

VELLOSO, A.L.; SAMPAIO, E.V.S.B.; PAREYN, F.G.C. Ecorregiões propostas para o bioma caatinga. **Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil**, 2002, 76p.

WRICKE, G.; WEBER, E. W. **Quantitative genetics and selection in plant breeding**. Berlin: Walter de Gruyter, 1986, 406 p.

CAPÍTULO 2

Para submissão na Genetic Resources and Crop Evolution

POTENCIAL GENÉTICO DE VARIEDADES TRADICIONAIS DE FEIJÃO DE CORDA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO

Abstract

Landraces are valuable genetic resources, being passed from generation to generation by farmers of various types, especially family-based ones. As they are accessions not yet used by conventional breeding techniques, they have a genetic background of unexplored alleles. The objective of this work was to study the phenotypic potential and genetic diversity of landraces cowpea varieties in order to indicate possible genitors in breeding works. The planting was carried out under rainfall agriculture in the municipality of São João do Cariri, in the semi-arid region of Paraíba. Twelve traditional varieties were agronomically tested and compared with commercial cultivars, which served as controls. The data were analyzed by multivariate methods, for the analysis of genetic divergence, the Mahalanobis distance was used for the relative contribution of the characters and for the clustering methods, Tocher, UPGMA and nMDS. Genetic variability was observed among the analyzed genotypes, as well as superiority of landraces varieties in relation to the controls for characteristics of precocity and productivity. The variables number of grains per pod, days to maturation and weight of 100 grains were the ones that most contributed to divergence. According to the grouping analyzes carried out, breeders are interested in those with superior average performance and high divergence, suggesting the combination of the Cariri, Roxinho, Rabo de Tatu, Corujinha and IPA 207 varieties to be used in cowpea breeding works.

Keywords: *Vigna unguiculata*; genetic variability; simultaneous selection; creole cultivars; semiarid.

Resumo

As variedades tradicionais são valiosos recursos genéticos, sendo passadas de geração a geração por agricultores de várias tipologias, especialmente os de base familiar. Por se constituírem de acessos ainda não usados pelas técnicas de melhoramento convencional, possuem um background genético de alelos inexplorados. O objetivo desse trabalho foi estudar

o potencial fenotípico e a diversidade genética de variedades tradicionais de feijão de corda com fins de indicar possíveis parentais em trabalhos de melhoramento. O plantio foi realizado em regime de sequeiro no Município de São João do Cariri, no semiárido Paraibano. Doze variedades tradicionais foram testadas no aspecto agrônomo e comparadas com cultivares comerciais, que serviram de testemunhas. Os dados foram analisados por métodos multivariados, para análise de divergência genética foi utilizado a distância de Mahalanobis para contribuição relativa dos caracteres e para os métodos de agrupamento, Tocher, UPGMA e nMDS. Constatou-se variabilidade genética entre os genótipos analisados, bem como superioridade das variedades tradicionais em relação as testemunhas para características de precocidade e produtividade. As variáveis número de grãos por vagem, dias para maturação e peso de 100 grãos foram as que mais contribuíram para divergência. De acordo com as análises de agrupamento realizadas, interessam aos melhoristas aquelas com desempenho médio superior e com alta divergência, sugerindo-se a combinação das variedades Cariri, Roxinho, Rabo de Tatu, Corujinha e IPA 207 para serem utilizadas em trabalhos de melhoramento de feijão de corda.

Palavras chave: *Vigna unguiculata*; variabilidade genética; seleção simultânea; cultivares crioulas; semiárido.

Introdução

As variedades tradicionais são valiosos recursos genéticos, sendo passadas de geração a geração por agricultores de várias tipologias, especialmente os de base familiar (Araújo et al. 2013). Por se constituírem de acessos ainda não usados pelas técnicas de melhoramento convencional, preservam altos níveis de variabilidade genética quanto a caracteres de tolerância ou resistência a fatores bióticos e abióticos, possuindo um background genético de alelos inexplorados (Gomes et al. 2020).

No semiárido nordestino, o cultivo de variedades tradicionais de feijão de corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), caracteriza-se como a principal fonte de renda e subsistência dos produtores de base familiar (Silva et al. 2018; Souza et al. 2018). Os altos índices de cultivo no Semiárido, estão relacionados, ao baixo custo de produção, bom desenvolvimento adequado em ambientes secos, tolerância a altas temperaturas, baixa exigência em fertilidade de solos (Silva et al. 2018).

O feijão de corda é uma leguminosa de elevada importância social e econômica para muitas regiões áridas e semiáridas do mundo, principalmente para as populações da América Latina, Ásia e África (Dias et al. 2016; Chen et al. 2017). Pesquisas recentes o indicam como cultura estratégica para as intempéries climáticas atuais como aumento da temperatura e baixa disponibilidade hídrica (Carvalho et al. 2017; Dantas et al. 2019).

Apesar da importância socioeconômica e ocupar larga área de cultivo, a média de produtividade é considerada baixa na região Nordeste devido a ocorrência frequente de secas extremas, falta de tecnificação dos produtores e baixa adoção de tecnologias agrícolas apropriadas, tais como controle de pragas e doenças e cultivares melhoradas (Dias et al. 2016; Rodrigues et al. 2018; Araújo et al. 2019). A utilização de variedades crioulas em trabalhos de melhoramento pode ser de grande contribuição para ampliar a base genética de variedades comerciais, desde que o conhecimento fenotípico dos acessos seja previamente estabelecido.

A diversidade incorporada nessa base irá refletir na qualidade dos genótipos disponíveis para atender as várias demandas do programa de melhoramento (Gomes et al. 2020), para o feijão de corda estas incluem, alto rendimento de grãos, larga adaptabilidade e estabilidade, resistência a viroses, seca e altas temperaturas, precocidade e ausência de acamamento (Oliveira et al. 2019). Os estudos de divergência são de grande importância, tanto para, avaliar a natureza da variação disponível com o intuito de preservar e manter o germoplasma em coleções nucleares, como para, estabelecer grupos heteróticos com a intenção de direcionar cruzamentos que potencialmente poderiam gerar populações segregantes superiores (Filho et al. 2018)

Para estudos de variabilidade genética, tem se utilizado a caracterização morfoagronômica que proporciona a descrição das características estruturais e fisiológicas dos genótipos de forma menos onerosa e exigindo equipamentos simples (Bezerra et al. 2017; Horn e Shimelis 2018). Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi identificar variedades tradicionais que apresentem potencial fenotípico superior e avaliar a diversidade genética das mesmas para utilização como genitores em programas de melhoramento.

Material e Métodos

Doze variedades tradicionais de feijão de corda, foram coletadas com base em informações adquiridas em comunidades e feiras livres no semiárido da Paraíba, Ceará e Pernambuco. Adicionalmente, três cultivares comerciais foram usadas como testemunhas, formando a base de germoplasma adotada nesse estudo (Tabela 1, Figura 1).

Tabela 5. Discriminação do germosplama de feijão de corda (*Vigna unguiculata*) usado nesse estudo.

Genótipos	Local de coleta	Base Genética	Classe ¹	Subclasse ²
Canapu	Aurora/CE	Crioula	Cores	Canapu
Cariri	Remígio/PB	Crioula	Branca	Fradinho
Corujinha	Prata/PB	Crioula	Cores	Corujinha
Macaíba	Alagoa Grande/PB	Crioula	Branca	Fradinho
Manteiguinha	Pocinhos/PB	Crioula	Branca	Manteiga
Quebra Cadeira	Areia/PB	Crioula	Branca	Fradinho
Pata De Vaca	Areia/PB	Crioula	Branca	Olho-Marrom
Rabo De Tatu	Pocinhos/PB	Crioula	Cores	Mulato Liso
Roxinho	Prata/PB	Crioula	Cores	Mulato Liso
Sempre Verde	Alagoa Grande/PB	Crioula	Cores	Sempre verde
Paulistinha	Lagoa Seca/PB	Crioula	Cores	Canapu
Fígado de galinha	Aurora/CE	Crioula	Preto	Azulão
Ipa206	Petrolina/PE	Cultivar	Cores	Mulato Liso
Miranda Ipa207	Petrolina/PE	Cultivar	Cores	Mulato Liso
Brs pujante	Petrolina/PE	Cultivar	Cores	Mulato Liso

¹Regulamento Técnico do Feijão, Instrução Normativa Nº 12, de 28/03/2008, MAPA (BRASIL, 2008); ² Subdivisão das classes comerciais por Freire Filho et al. (2005).



Figura 1. Sementes de variedades tradicionais de *Vigna unguiculata* utilizadas nesse estudo.

O plantio das variedades foi realizado em regime de sequeiro no Município de São João do Cariri (7° 23' 27" S e 36° 32' 2" W), no semiárido Paraibano, com índices pluviométricos em torno de 381 mm. O clima regional é classificado como “Bsh” Semiárido quente com chuvas

de verão, caracteriza-se por elevadas temperaturas, médias anuais em torno de 26°C com uma distribuição espacial da temperatura altamente dependente do relevo (AESAs 2022). Durante o ensaio no ano de 2019, o volume pluviométrico registrado foi 231 mm.

O plantio foi realizado em solo classificado como LUVISOLO, preparado de forma convencional, com grade aradora duas semanas antes da semeadura. A semeadura foi realizada de forma manual com a utilização de três sementes por cova, após 21 dias foi realizado o desbaste. Uma adubação de cobertura foi realizada aos 30 dias após o plantio, com 50 kg ha⁻¹ de N (sulfato de amônio). A parcela experimental foi constituída por quatro linhas de quatro metros, com espaçamento de 0,4 m entre plantas e 0,7 m entre fileiras, sendo analisadas dez plantas por unidade experimental.

A colheita foi realizada cerca de 65 dias após a emergência das plantas. O manejo realizado na área consistiu basicamente no controle das ervas espontâneas, cuja limpeza foi realizada através de capina manual. Para o controle fitossanitário das principais pragas que acometeram a cultura, como pulgão (*Aphis craccivora*), mosca branca (*Bemisia tabaci*) e formiga cortadeira (*Atta* e *Acromyrmex*), foram aplicados com pulverizador costal, óleo de Neem na concentração de 10%, detergente com óleo mineral na concentração de 2% e de forma manual foi espalhado formicida isca granulada na proporção de 10g /m².

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso, com três repetições. Os descritores avaliados foram definidos com base em características agrônômicas descritas por Freire Filho (2011): dias para o florescimento, altura da planta (cm), diâmetro da haste principal (cm), número de folhas, teor de água na folha (%), dias para maturação, número de vargens por planta, número de grãos por vagem, comprimento da vagem (cm), peso de 100 grãos verdes (g), produtividade de grão verdes (kg ha⁻¹) e biomassa fresca da parte aérea (g).

Os dados foram submetidos a testes de normalidade e homoscedasticidade das variâncias residuais, e subsequentemente foi realizada à análise de variância (ANOVA), com posterior agrupamento de média pelo método de Scott Knott a 5% probabilidade.

Para a análise de diversidade genética, foi utilizada a medida de dissimilaridade baseada na distância generalizada de Mahalanobis (D²) (Mahalanobis 1936). Com base nessa distância foi utilizado o critério proposto por Singh (1981) para quantificar a contribuição relativa dos caracteres para variabilidade. Em seguida, foram construídas variáveis discriminantes canônicas, para redução da dimensionalidade de dados, cujos escores médios para cada família foram apresentados no plano bidimensional por meio da técnica biplot (Gabriel 1972).

Com base na mesma distância, para descrever a divergência genética existente e auxiliar a identificação dos genótipos superiores com maiores possibilidades de ganhos genéticos,

foram realizadas análises de agrupamento. No método de Tocher usufrui-se de uma matriz de dissimilaridade, sobre a qual identifica-se os pares de genótipos mais correlatos, os quais formarão o grupo inicial e poderão dar continuidade a introdução de novos genótipos (Cruz et al. 2012). O dendrograma usando o método hierárquico de ligação média entre grupos não ponderado (UPGMA), permite o estabelecimento dos grupos de forma que haja heterogeneidade e homogeneidade entre e dentro grupos, os dendrogramas são construídos por meio de modelos ajustados de menor dissimilaridade (Cruz et al. 2012). A determinação do ponto de corte do dendrograma gerado, bem como a definição do número de grupos, foram estimados com base no método de Mojena (1977) baseado no tamanho relativo dos níveis de fusões (distâncias) no dendrograma. Por fim, o escalonamento multidimensional não métrico (nMDS) foi utilizado para representação gráfica no espaço bidimensional das matrizes de distâncias, então quanto mais próximos os pontos, mais semelhantes são os genótipos. O nível de ajuste do mapeamento nMDS foi calculado por meio do Stress de Kuskal.

Após a aplicação de cada método de agrupamento hierárquico para a estimativa do ajuste entre a matriz de dissimilaridade e o dendrograma gerado, foi calculado o coeficiente de correlação cofenética (CCC) (Sokal e Rohlf 1962), de acordo com a expressão proposta por Bussab et al. (1990).

As análises estatísticas foram realizadas através do software Genes (Cruz 2013) e R versão 3.0.3 (R Core Team, 2014).

Resultados

As estimativas e as significâncias dos quadrados médios dos genótipos e das variedades tradicionais apresentaram efeitos significativos a 5% de probabilidade de acordo com o teste F, para todas as variáveis analisadas exceto para altura da planta e diâmetro do caule (Tabela 2). Indicando a presença de variabilidade genética entre os genótipos de feijão de corda analisados, possibilitando a inclusão destes nos estudos de divergência genética.

Considerando a fonte de variação testemunhas, houve diferença significativa ($p < 0.05$), apenas para as características comprimento da vagem e peso de 100 grãos (Tabela 2). A interação variedades tradicionais e testemunhas só demonstrou diferenças significativas nos caracteres dias para maturação e número de vagens por planta (Tabela 2). Essa interação indica que apenas para esses caracteres houve diferença no desempenho entre as variedades tradicionais que em média foram, mais tardias e apresentaram maior número de vagens por planta, em relação as testemunhas analisadas (Tabela 2).

Os coeficientes de variação e o erro padrão da média das características analisadas proporcionaram boa confiabilidade aos dados (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da análise de variância para 12 características avaliadas em feijão de corda no município de São João do Cariri – PB, 2019.

FV	GL	DF	AT	DMC	NF	TAF	DM
Genótipos	14	59.38**	182.45	0.02	332.20**	49.46*	61.86**
Var. tradicionais	11	65.71**	211.30	0.02	407.99**	54.65*	73.21**
Testemunha	2	49.77	19.03	0.02	81.43	6.24	9.33
V. Tradicionais X Testemunha	1	8.88	191.89	0.00	0.00	78.75	42.05*
CV%		5.64	33.13	14.80	23.91	5.13	4.21
Erro		0.75	1.65	0.01	1.79	0.80	0.73
Médias das var. tradicionais		49.11	28.62	0.77	30.61	85.35	63.41
Média das testemunhas		51.22	33.78	0.78	30.61	88.66	61.00
FV	GL	NVP	CV	NGV	P100G	PGV	BPA
Genótipos	14	5.96**	9.48**	13.51**	153.23**	65105.81**	4707.39*
Var. Tradicionais	11	6.16**	7.15**	16.13**	122.69**	78318.60**	5700.19**
Testemunha	2	2.72	26.50**	4.60	336.03**	24302.86	732.27
V. Tradicionais X Testemunha	1	10.26*	1.04	2.49	123.48	1370.93	1736.75
CV%		17.47	7.65	16.19	18.54	38.83	32.04
Erro		0.26	0.29	0.36	1.28	26.31	6.91
Médias das var. tradicionais		7.79	15.43	8.74	30.56	321.43	91.38
Média das testemunhas		6.60	15.81	9.33	34.71	307.63	106.91

DF: dias para floração; AT (cm): altura da planta; DMC (cm): diâmetro do caule; NF: número de folhas; TAF (%): teor de água na folha; DM: dias para maturação; NVP: número de vagens por planta; CV (cm): comprimento vagem; NGV: número de grãos por vagem; P100G (g): peso de 100 grãos; PGV (kg ha⁻¹): produtividade de grão verde; BPA (g): biomassa da parte aérea.

* e ** = significativo a 5% de probabilidade e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Na comparação média entre os genótipos de acordo com o teste de Skott Knott a 5% de probabilidade, os genótipos foram agrupados entre duas a quatro classes variando conforme a característica analisada (Tabela 3). Observa-se que, as variedades tradicionais de feijão de corda foram superiores as testemunhas para as características dias para floração, número de folhas, número de vagens por planta e produtividade de grãos verdes (Tabela 3). Para as demais características analisadas as variedades tradicionais apresentaram o mesmo comportamento de pelo menos uma das testemunhas avaliadas (Tabela 3).

Tabela 3. Comparação de características entre doze variedades tradicionais e três cultivares comerciais de feijão de corda de acordo com o teste de Skott Knott a 5% de probabilidade.

Variedades	DF	AT	DMC	NF	TAF	DM
Canapu	50.00b	26.45a	0.73a	30.91b	86.40a	64.00b
Cariri	41.00d	34.15a	0.73a	24.89c	89.02a	57.33b
Corujinha	41.00d	42.01a	0.78a	23.02c	89.28a	62.00b
Macaíba	47.66c	32.88a	0.83a	22.98c	82.45a	60.33b
Manteguinha	58.00a	28.28a	0.96a	32.30b	83.84a	73.00a
Quebra	50.00b	14.03a	0.72a	38.26b	86.23a	60.00b
Pata De Vaca	51.66b	16.55a	0.71a	24.43c	87.61a	71.33a
Rabo De Tatu	52.00b	38.61a	0.80a	38.73b	85.91a	63.00b
Roxinho	51.66b	23.90a	0.96a	60.74a	84.12a	68.33a
Sempre Verde	50.00b	34.63a	0.72a	22.56c	73.57b	60.66b
Paulistinha	47.00c	24.20a	0.66a	16.25c	87.68a	59.00b
Fígado de	49.33b	28.80a	0.72a	32.31b	88.14a	62.00b
Testemunha						
IPA 206	54.66a	31.61a	0.68a	24.69c	88.50a	62.33b
IPA 207	49.66c	33.20a	0.84a	32.70b	87.30a	59.00b
BRS Pujante	49.33b	36.55a	0.80a	34.46b	90.18a	61.66b
Variedades	NVP	CV	NGV	P100g	PGV	BPA
Canapu	6.71b	16.72a	11.53a	22.63b	344.00b	131.10a
Cariri	11.38a	16.71a	11.46a	24.22b	586.72a	63.20b
Corujinha	7.81b	16.81a	9.77a	27.77b	331.32b	46.00b
Macaíba	6.88b	17.04a	10.70a	35.78a	259.12b	46.00b
Manteguinha	5.75b	13.74b	7.04b	37.46a	77.66b	131.73a
Quebra	7.66b	14.04b	6.43a	32.03b	270.40b	68.00b
Pata De Vaca	7.33b	14.04b	4.10c	37.89a	172.03b	69.86b
Rabo De Tatu	7.77b	12.37b	6.38b	38.39a	206.81b	87.42b
Roxinho	7.00b	15.33a	10.48a	19.40b	645.48a	178.62a
Sempre Verde	8.18b	16.72a	9.52a	26.80b	241.54b	74.65b
Paulistinha	7.71b	16.27a	8.93a	30.99b	373.03b	56.86b
Fígado de	9.39a	15.41a	8.62a	33.44a	349.00b	143.10a
Testemunha						
IPA 206	5.50b	12.39b	8.00b	46.81a	224.23b	94.33b
IPA 207	7.22b	17.30a	10.44a	30.15b	403.03b	124.40a
BRS Pujante	7.09b	17.75a	9.57a	27.17b	295.63b	102.00b

DF: dias para floração; AT (cm): altura da planta; DMC (cm): diâmetro do caule; NF: número de folhas; TAF (%): teor de água na folha; DM: dias para maturação; NVP: número de vagens por planta; CV (cm): comprimento vagem; NGV: número de grãos por vagem; P100G (g): peso de 100 grãos; PGV (kg/ha): produtividade de grão verde; BPA (g): biomassa da parte aérea.

A característica que apresentou a maior variabilidade foi dias para floração, formando quatro classes, sendo as variedades tradicionais Cariri e Corujinha as mais precoces florescendo aos 41 dias. Três classes foram formadas para a característica número de folhas, a variedade

tradicional Roxinho foi a que apresentou o maior número de folhas (60.7). Em relação a característica número de vagens por plantas, as variedades tradicionais Cariri (11.38) e Fígado de galinha (9.38), apresentaram as maiores médias. As variedades tradicionais Cariri e Roxinha apresentaram as maiores médias em relação a característica produtividade de grãos 586.72 Kg ha⁻¹ e 645.48 kg ha⁻¹, respectivamente. Em relação a característica biomassa da parte aérea, as maiores médias foram obtidas pelas variedades tradicionais Roxinho (178.62 kg ha⁻¹), Fígado de galinha (143.10 kg ha⁻¹), Manteiguinha (131.73 kg ha⁻¹), Canapu (131.10 kg ha⁻¹) e a variedade commercial Ipa 207 (124.40 kg ha⁻¹) (Tabela 3).

As estimativas da contribuição relativa dos caracteres para diversidade e seus valores percentuais, que são a medida genética entre as variedades tradicionais e comerciais de feijão de corda, segundo critérios estabelecidos por Singh, são apresentadas na Figura 2. As variáveis que mais contribuíram com a divergência foram, número de grãos por vagem com 11.1%, dias para maturação com 10.5%, comprimento da vagem com 10.4%, dias para floração com 10.1%, e biomassa da parte aérea com 9.6%. Estas cinco variáveis de um total de doze avaliadas, demonstraram uma contribuição superior a 50% da variação existente entre as variedades analisadas, indicando que essas características precisam ser consideradas nos estudos de diversidade. Os demais caracteres obtiveram contribuição significativa, porém de menor magnitude. A variável que menos contribuiu para a divergência foi diâmetro do caule com 4.6%.

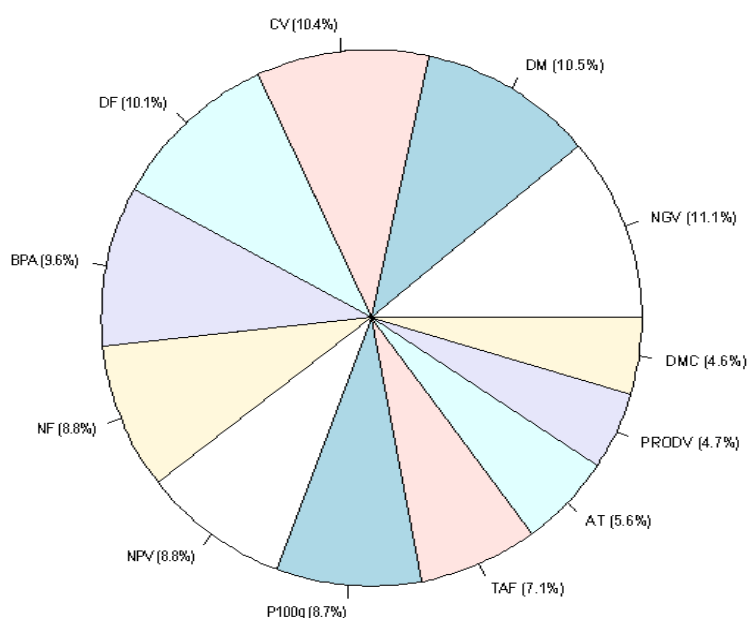


Figura 2. Contribuição relativa dos caracteres quantitativos para divergência genética entre 15 genótipos de feijão de corda, com o cálculo das distâncias de Mahalanobis, de acordo com o método de Singh.

[DF: dias para floração; AT (cm): altura da planta; DMC (cm): diâmetro do caule; NF: número de folhas; TAF (%): teor de água na folha; DM: dias para maturação; NVP: número de vagens por planta; CV (cm): comprimento vagem; NGV: número de grãos por vagem; P100G (g): peso de 100 grãos; PGV (kg/ha): produtividade de grão verde; BPA (g): biomassa da parte aérea].

Na análise de variáveis canônicas os dois primeiros pares canônicos apresentaram autovalores maiores que um. Estes explicaram cumulativamente 97.87% da variação total entre as variedades, considerando todas as características analisadas (Tabela 4). A primeira variável canônica explicou 87.29% da variação total, principalmente devido à variação no peso de 100 grãos e no comprimento da vagem. A característica peso de 100 grãos juntamente com o diâmetro do caule foram as que apresentaram maior contribuição na variável canônica 2 responsável por explicar 10.58% da variação total observada. De acordo com os coeficientes de ponderação a variável canônica que menos contribuiu com a divergência genética foi o número de folhas (dados não mostrados), essa foi a característica que apresentou o maior coeficiente de ponderação de maior magnitude em valor absoluto nas últimas variáveis canônicas.

Tabela 4. Escores de autovalores e autovetores associadas às variáveis canônicas relativos a 12 caracteres avaliados em feijão de corda.

	Variáveis canônicas	
	C1	C2
Autovalor	3.23	1.12
Proporção	87.29	10.58
Acumulativo	87.29	97.87
Dias para floração	0.013	-0.01
Altura da planta	-0.04	0.03
Diâmetro do caule	-0.13	0.94
Número de folhas	0.08	0.29
Teor de água na folha	0.07	-0.02
Dias para maturação	0.34	0.00
Número de vagens por planta	0.39	0.11
Comprimento vagem	0.80	0.07
Número de grãos por vagem	-0.10	0.02
Peso de 100 grãos	1.11	-8.51
Produtividade de grão verde	-0.11	-0.01
Biomassa da parte aérea.	0.003	0.00

As duas primeiras variáveis canônicas explicam mais de 80% da variação total, indicando que o gráfico bidimensional é o mais adequado para representação das relações entre os grupos. Na dispersão gráfica dos genótipos, utilizando-se os escores em relação às variáveis canônicas observou-se a formação de cinco grupos (Figura 3).

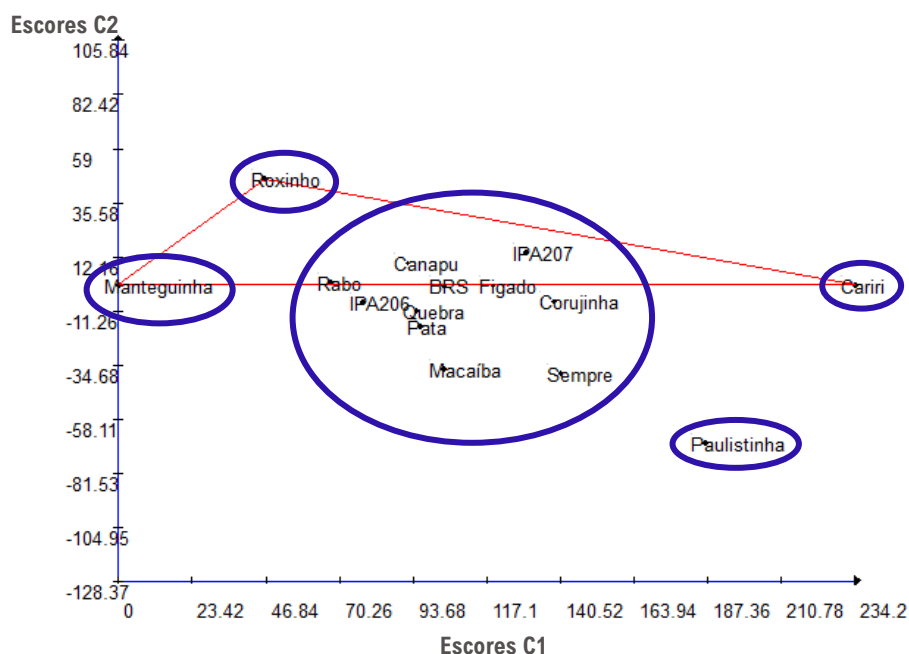


Figura 3. Dispersão gráfica bidimensional dos escores (médias) das duas primeiras variáveis canônicas relativos a 12 caracteres avaliados em 15 genótipos de feijão de corda.

O maior grupo abrangeu todas as testemunhas e 66% das variedades tradicionais, os demais grupos foram formados pelas variedades tradicionais, Manteiguinha, Roxinho, Cariri e Paulistinha respectivamente. O agrupamento bidimensional foi refeito após a exclusão da característica número de folhas, a dispersão gráfica dos genótipos foi alterada (Figura 4), entretanto, o número de grupos, os genótipos que os compõe se manteve. Assim sendo, a característica número de folhas deve ser descartada em futuros estudos, gerando economia de tempo, mão-de-obra e recursos financeiros.

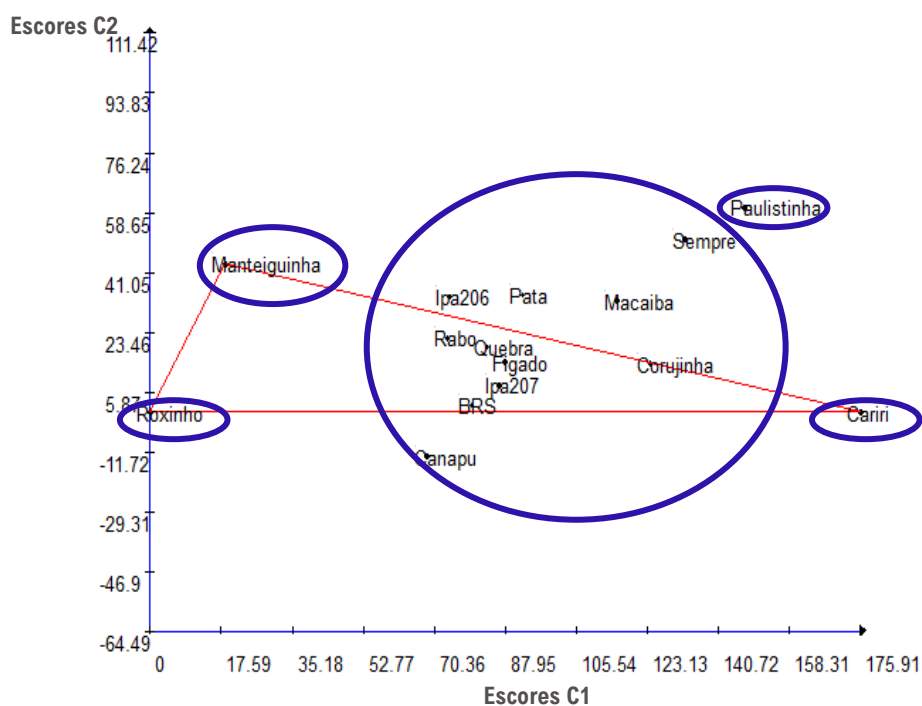


Figura 4. Dispersão gráfica bidimensional dos escores (médias) das duas primeiras variáveis canônicas relativos a 12 caracteres avaliados em 15 genótipos de feijão de corda, após a exclusão da característica que menos contribuiu para a divergência genética.

As estimativas de distâncias genéticas obtidas utilizando a distância generalizada de Mahalanobis, baseadas em caracteres fenotípicos para todas as combinações entre os quinze genótipos de feijão de corda analisados, indicam as distâncias máximas D^2 ocorreram entre as testemunhas com a variedade tradicional Cariri (Tabela 5): BRS Pujante x Cariri ($D^2 = 28.35$), IPA 207 x Cariri ($D^2 = 24.63$) e IPA 206 x Cariri ($D^2 = 24.05$). O menor valor de divergência foi atribuído ao par de testemunhas BRS Pujante x IPA 207 ($D^2=4.41$), indicando grande similaridade entre as duas variedades para os caracteres estudados.

Baseado também na dissimilaridade, expressa pelas distâncias de Mahalanobis, a análise de agrupamento das variedades pelo método de otimização de Tocher, possibilitou a distribuição dos genótipos estudados em cinco grupos (Tabela 6). O Grupo I foi composto por duas testemunhas, IPA 207 e BRS Pujante, além das variedades comerciais Fígado de galinha e Paulista. Esses genótipos apresentaram-se bastante semelhantes (Tabela 3) para as características de precocidade, embora não sejam os mais precoces. O Grupo II foi integrado pelas variedades tradicionais Quebra Cadeira, Rabo de Tatu, Macaíba Branca e Sempre Verde, estas apresentaram dias para maturação em cerca de 60 dias e produtividades em torno de 210 Kg/ha.

Tabela 5. Estimativas da distância genética de Mahalanobis, com base em 12 características quantitativas entre os 15 pares de genótipos analisados de feijão de corda.

Nº - Genótipo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1. Canapu	1.00														
2. Cariri	12.36	1.00													
3. Corujinha	9.46	9.32	1.00												
4. Macaíba	9.79	13.88	9.09	1.00											
5. Manteguinha	11.36	21.01	15.36	10.37	1.00										
6. Quebra Cadeira	13.66	17.05	17.01	9.78	16.90	1.00									
7. Pata De Vaca	17.52	21.24	15.42	14.67	13.85	12.48	1.00								
8. Rabo De Tatu	13.53	16.03	12.87	10.59	10.51	8.25	16.62	1.00							
9. Roxinho	10.22	20.88	19.76	17.55	16.59	14.23	18.65	16.34	1.00						
10. Sempre Verde	13.14	18.90	16.93	8.39	17.04	12.96	16.84	12.54	20.61	1.00					
11. Paulistinha	10.87	13.33	13.69	7.421	18.04	8.91	9.21	14.58	17.05	10.98	1.00				
12. Fígado de Galinha	12.57	17.36	20.73	14.68	17.79	12.60	13.43	12.24	16.76	13.18	8.53	1.00			
13. IPA 206	15.01	24.63	21.97	12.52	16.62	15.61	19.03	9.95	20.27	19.45	9.65	11.76	1.00		
14. IPA 207	13.75	24.05	20.08	10.23	20.26	12.79	17.14	15.97	15.44	14.21	6.68	5.57	11.37	1.00	
15. BRS Pujante	13.57	28.35	19.43	12.79	19.96	14.79	17.86	15.35	17.85	15.65	10.39	9.67	14.89	4.41	1.00

As variedades tradicionais Cariri, Corujinha e Canapu constituíram o grupo III, apresentando valores semelhantes para teor de água na folha e comprimento da vargem. O grupo IV foi formado pelas variedades Manteiguinha e Pata de Vaca, essas possuem maior proximidade, devido aos dias para maturação, comprimento da vargem e peso de 100 grãos. Por fim a variedade tradicional Roxinha e a testemunha IPA 206 integraram o grupo V apresentando valores semelhantes nas características de precocidade e teor de água na folha.

Tabela 6. Agrupamento conforme método de otimização de Tocher baseado na dissimilaridade expressa pela distância de Mahalanobis.

GRUPO	Variedades
I	Ipa 207, BRS Pujante, Fígado de galinha, Paulistinha
II	Quebra Cadeira, Rabo de Tatu, Macaíba Branca, Sempre Verde
III	Cariri, Corujinha, Canapu
IV	Manteiguinha, Pata de Vaca
V	Roxinho, Ipa 206

Diferente do agrupamento de Tocher, a utilização do método hierárquico UPGMA possibilitou a distribuição dos genótipos em três grupos (Figura 5), os quais podem ser visualizados no dendrograma o ponto de corte, pelo critério de Mojena, a 15.84%. O Grupo I foi constituído pelas variedades tradicionais Cariri e Corujinha, consideradas as mais precoces. Seu florescimento foi em média aos 41 dias, além disso, possuíram maiores teores de água na folha, 89%, e vargens em torno de 16.7 cm. O grupo II foi constituído pelos mesmos genótipos do grupo IV obtido pelo método de Tocher. Todas as testemunhas e as demais variedades comerciais integraram o terceiro e último grupo.

O Coeficiente de Correlação Cofenética obtido através da Distância generalizada de Mahalanobis foi de 0.64, o que revela variabilidade na consistência do padrão de agrupamento, indicando boa representação das distâncias no dendrograma. Esse valor foi significativo pelo teste t ($p < 0,05$).

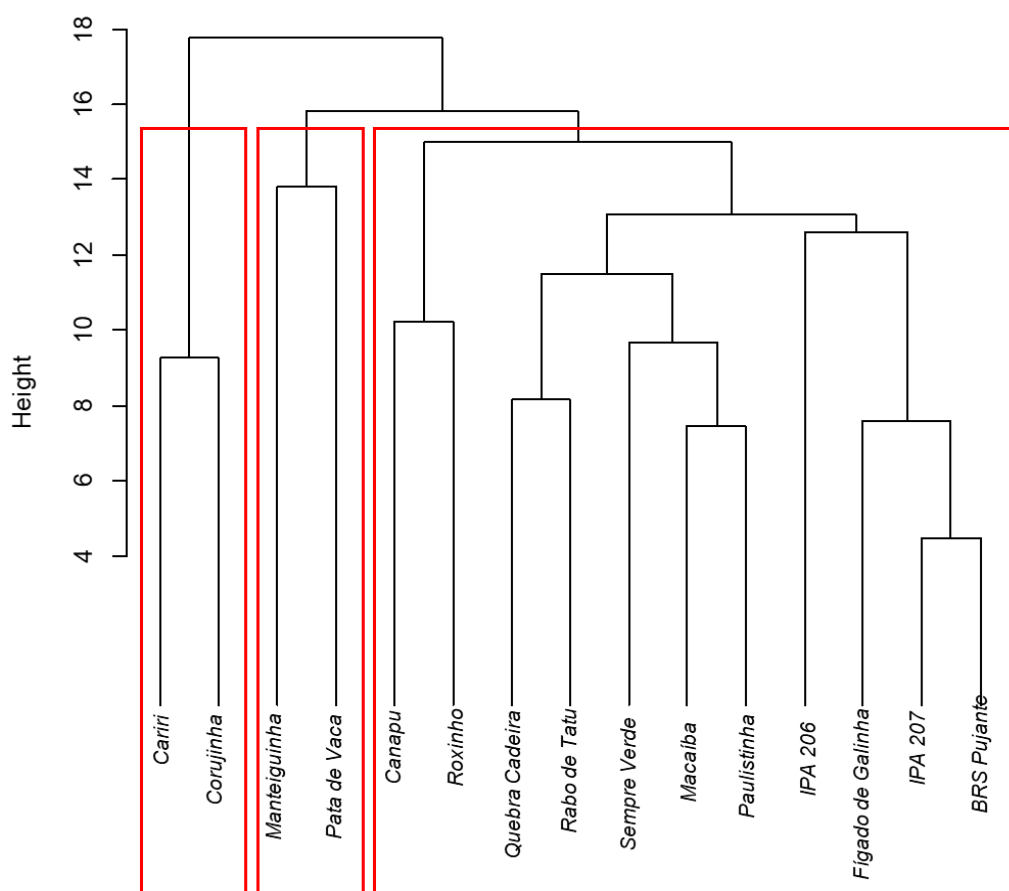


Figura 5. Dendrograma obtido pelo método UPGMA com base na distância generalizada de Mahalanobis (D^2) para agrupamento de 15 genótipos de feijão de corda.

A técnica de escalonamento multidimensional não métrico (nMDS) representou a distância entre as variedades de feijão de corda na forma gráfica (Figura 5), com valor de *Stress* de 20.86%, para os caracteres avaliados. Observou-se que os genótipos permaneceram muito dispersos, este fato ocorreu devido a grande formação de grupos apresentados, visualmente 12 grupos, confirmando a existência de variabilidade genética para os caracteres analisados.

De acordo com a análise gráfica (Figura 6), observa-se que em relação aos demais genótipos avaliados, a variedade tradicional Roxinho foi a mais distante da variedade Cariri e da testemunha BRS Pujante. Estes genótipos se distanciaram por apresentarem diferenças em características como número de folhas, peso de 100 grãos e biomassa da parte aérea (Tabela 3).

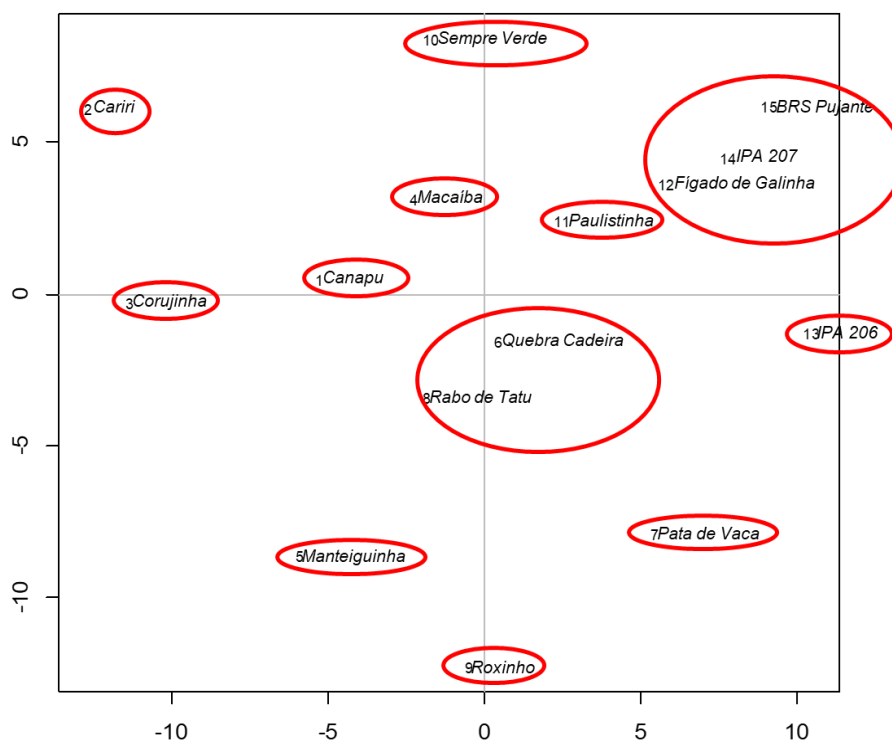


Figura 6. Representação gráfica do Escalonamento multidimensional analisadas em 12 características para 15 genótipos de feijão de corda.

Discussão

De acordo com os resultados, existe alta variabilidade genética entre as variedades analisadas, diversidade necessária para garantir a perpetuação da espécie em condições adversas (Toledo e Bassols 2015). Além da conservação, a quantidade de diversidade incorporada em fases iniciais de programas de melhoramento, irá refletir na qualidade dos genótipos disponíveis para atender os objetivos do programa de melhoramento (Gerrano et al. 2015). A importância da manutenção da diversidade de uma espécie é ainda mais acentuada quando seu cultivo se dá em regiões que sofrem com alguma intempérie frequente, como a baixa disponibilidade de água no Semiárido nordestino.

A região de São João do Cariri encontra-se um dos Núcleos de desertificação do semiárido brasileiro (Perez-Marin et al. 2012; Travassos e Sousa 2014). Sua paisagem é majoritariamente representada por áreas altamente impactadas, onde a vegetação é caracterizada por uma cobertura que sofreu longo período de corte seletivo ou raso para produção de lenha e pastagem nativa para caprinos, restando atualmente a predominância de vegetação arbustiva (Barbosa 2007).

Na convivência com o semiárido, o produtor que cultivar sementes de qualidade, adaptadas e com variabilidade superior às convencionais, tem mais chances de garantir o sucesso da lavoura (Stoilova e Berova 2014). Afirmção válida para esse estudo, uma vez que, constatou-se superioridade das variedades tradicionais em relação as testemunhas para características de dias para floração, número de folhas, número de vagens por planta e produtividade de grãos verdes. Esse resultado pode estar relacionado a seleção e ao manejo que estas variedades tradicionais são submetidas pelos agricultores familiares ao longo do tempo, o que contribui para sua evolução (Cunha 2013). Embora a pressão de seleção seja muito menos intensa quando comparada à realizada nos programas de melhoramento, ela é baseada em um ideótipo para altas produtividades, precocidade e resistência a fatores abióticos e bióticos, tornando-as mais adaptadas ao ambiente de cultivo.

As variedades tradicionais Cariri e Roxinha se adaptaram bem as condições do Cariri Paraibano, apresentando as maiores médias de produtividade entre os genótipos avaliados respectivamente, 586.72 kg ha⁻¹ e 645.48 kg ha⁻¹. Entre as variedades comerciais a mais produtiva foi a IPA 207 com produtividade em torno de 403 kg ha⁻¹. Na literatura, as médias de produtividade para dos genótipos IPA 206, IPA 207, BRS Pujante e Canapu são superiores 1.000 kg ha⁻¹ (Freire Filho et al. 1997; Santos, 2011; Costa et al. 2013). Durante a condução do experimento em São João do Cariri o volume pluviométrico registrado foi 231 mm. Sabe-se que, a exigência mínima para uma produção satisfatória em feijão de corda é 300 mm. Embora uma cultura rústica e que apresente resistência a seca, intempéries climáticas em alguns estádios de desenvolvimento, ocasionam uma perda do turgor celular que provoca alterações fisiológicas, restringindo o alongamento e divisão celular, que causam distúrbios na fotossíntese e afetam o desenvolvimento e a produtividade das plantas (Freitas et al., 2017). Ainda nessas condições, a produtividade observada nas variedades tradicionais mencionadas foi superior a produtividade média nacional, nordestina e paraibana, respectivamente 530 kg.ha⁻¹, 409 kg.ha⁻¹ e 289 kg.ha⁻¹ (CONAB, safra 2021/2022).

Considerando a importância das variedades tradicionais para segurança alimentar, subsistência e renda de agricultores familiares no semiárido, bem como a utilização em programas de melhoramento genético, tem se buscado cada vez mais preservar e caracterizar esses recursos genéticos (Chacko 2019). A caracterização morfoagronômica realizada neste estudo identificou que as variáveis número de grãos por vagem e dias para maturação foram as que mais contribuíram para a divergência (Singh 1981). Com base nas variáveis canônicas, os caracteres peso de 100 grãos e comprimento da vagem foram os que apresentaram maior

contribuição. As informações obtidas a partir da análise de importância auxilia os melhoristas na identificação de características que mais contribuem para a variabilidade genética (Gerrano et al. 2015). Auxiliando na seleção de genitores em potencial para hibridação com o ideótipo de interesse (Mendonça et al. 2018).

A seleção dos genitores é uma das etapas mais importantes nos programas de melhoramento, uma vez que o sucesso destes está relacionado ao potencial segregante das populações geradas pelos cruzamentos (Kurek et al. 2001; Rodrigues et al. 2018). A utilização de genitores divergentes, além de maximizar as chances de ocorrência de segregantes superiores, amplia a base genética (Santos et al. 2015). Neste estudo as maiores distâncias observadas envolveram a variedade tradicional Cariri, sugere-se sua utilização como genitor em programas de melhoramento com a cultura.

Com bases nas distâncias genéticas obtidas os genótipos foram também agrupados, possibilitando alternativas de cruzamento entre as variedades dos diferentes grupos, visando à complementação da característica na descendência (Resende et al. 2014). Grupos com pares com o mesmo padrão de similaridade devem ser evitados, para que a variabilidade genética necessária em qualquer programa de melhoramento não seja restrita, de modo a impedir os ganhos a serem obtidos por seleção (Santos et al. 2014). Nos agrupamentos realizados, a testemunha IPA 207, os genótipos Cariri, Rabo de Tatu, Pata de Vaca e Roxinho se encontram em grupos distintos. Os métodos de agrupamento, são de grande importância para os programas de melhoramento, auxiliando a identificação dos genótipos superiores com maiores possibilidades de ganhos genéticos (Cruz et al. 2012).

Dentre as variedades analisadas, interessam aos melhoristas apenas as superiores em relação às características mais importantes e com divergência suficiente para gerar variabilidade nas populações segregantes (Grigolo et al. 2018). Dessa forma, indica-se a combinação das variedades Cariri, Roxinho, Rabo de Tatu, Corujinha e IPA 207 para serem utilizadas como genitores em programa de melhoramento por hibridação em feijão de corda.

O conhecimento e caracterização da variabilidade genética existente em feijão de corda devem ser o principal pilar da manutenção da sustentabilidade da cultura nos sistemas de agricultura familiar do semiárido nordestino.

Conclusão

Os resultados obtidos, mostraram que existe variabilidade entre os genótipos de feijão corda analisados. Sendo os caracteres número de grãos por vargem, dias para maturação, peso

de 100 grãos e comprimento da vagem os de maior contribuição para diversidade genética, estes são indicados para utilização como critério de seleção em programas de hibridação.

As distâncias genéticas encontrada entre as variedades estudadas variou de 4.41 a 28.35, valores considerados altos e que sugerem uma ampla base genética entre os genótipos avaliados.

A associação entre os métodos de agrupamento e as distâncias genéticas permitiu a seleção dos genitores mais promissores, que envolvem as variedades Cariri, Roxinho, Rabo de Tatu e Corujinha e IPA 207. Esse resultado, confirma a importância das sementes tradicionais como insumo agrícola, para os agricultores familiares, e para utilização em programas de melhoramento, uma vez que estas sementes apresentaram produtividade de grãos superior às cultivares comerciais para os ambientes avaliados, que indica um alto potencial agrônomo e uma grande adaptação ambiental.

Referências

- Aesa – Agência executiva da gestão das águas (2022) Climatologia. <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/climatologia/>. Acessado em 30 de março de 2022.
- Araújo, S. L.; Moraes, R. C.; Moraiz, R.; Nunes, F. R.; Costa, C.; Santos, A. S. (2013) Guardiões e guardiãs da agrobiodiversidade nas regiões do Cariri, Curimataú e Seridó Paraibano. *Cad Agroec* 8(2): 1-5.
- Araújo, L. B. R.; Pinheiro, M. D. S.; Fiege, L. B. D. C.; Bertini, C. H. D. C.; Do Vale, J. C. (2019) Agronomic potential and genetic diversity of landraces of cowpea of the state of Ceará. *Rev Caat* 32: 698-708. <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n314rc>
- Barbosa, M. R. V. (2007) Vegetação e flora no Cariri Paraibano. *Oecol brasiliensis* 11: 313-322.
- Bezerra, J. M. M.; Freitas Júnior, S. D. P.; Santos, P. R. A.; Feitosa, E. O.; Silva, L. S. (2017) Desempenho agrônomo de cultivares crioulos do feijão caupi para a região do cariri cearense. *Rev Bras Agri Irrig* 11(7):2022-2030.
- Bussab, WO (1990) Introdução à análise de agrupamentos. ABE.
- Carvalho, M.; Lino Neto, T.; Rosa, E.; Carnide, V. (2017) Cowpea: a legume crop for a challenging environment. *J Sci Food Agric* 97(13): 4273-4284. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8250>
- Chacko, X. (2019) Seeds: Theorizing the contemporary. **Cultural Anthropology Journal. Fieldsights**. <https://culanth.org/fieldsights/1161-seeds>. Acessado em 30 Novembro 2021.

- Chen, H.; Hu, L.; Wang, L.; Wang, S.; Wang, M. L.; Cheng, X. (2017) Genetic diversity and a population structure analysis of accessions in the Chinese cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] germplasm collection. *The Crop J* 5(5): 363-372. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2017.04.002>
- Clarke, K. R.; Gorley, R. N.; Somerfield, P. J.; Warwick, R. M. (2014). Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation.
- Conab - Companhia de safra brasileira de grãos (2021) Acompanhamento da safra brasileira de grãos - Safra 2020/2021. https://www.gov.br/fazenda/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes/conjuntura-economica/agricola/2021/2021-03-11_levantamento-de-safras_conab.pdf. Acessado em 30 de setembro de 2021
- Costa, A. F.; Souza, M. D. C. M.; Canuto, V. T. B.; Coitinho, R. L. B.; Tavares, J. A.; Fonseca, M. A. C. (2013) Miranda IPA 207, nova cultivar de feijão-caupi para o nordeste brasileiro. *Pesq Agrop Per* 18(1): 39-43. <https://doi.org/10.12661/pap.2013.008>
- Cruz, C. D.; Regazzi, A. J.; Carneiro, P. C. S. (2012) Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: UFV.
- Cruz, C. D. (2013) Genes - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Sci Agro* 35(3): 271-276. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>
- Cunha, F. L. (2013) Sementes da Paixão e as Políticas Públicas de Distribuição de Sementes na Paraíba. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- Dantas, A. P. J.; Holanda, G. C.; Rolim, R. R.; Ferreira, L. T.; Nascimento, N. F. F.; Araújo, H. F. P. (2019) Evaluation of two cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) walp.) genotypes under rainfed farming with low rainfall. *Rev Bras Meio Amb* 7(3): 58-69. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3575407>
- Dias, F. T. C.; Bertini, C. H. C.; Freire, F. R. (2016) Genetic effects and potential parents in cowpea. *Crop Breed Appl Biot*, 16(4): 315-320. <https://doi.org/10.1590/1984-70332016v16n4a47>
- Faria, P. N.; Cecon, P. R.; Silva, A. R.; Finger, F. L.; Silva, F. F.; Cruz, C. D.; Sávio, F. L. (2012) Métodos de agrupamento em estudo de divergência genética de pimentas. *Hort Bras* 30: 428-432. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362012000300012>
- Filho, J. T.; Oliveira, C. N. G. D. S.; Silveira, G. H. D. S. N.; Pereira, C. C. A.; Da Silva, A. E. A. (2018) Genetic divergence among cowpea genotypes based on characters associated with the green pod and grain market. *Rev Caat* 31(1): 56-63.

- Freire Filho, F. R.; Ribeiro, V. Q.; Bandeira, L. M. R. (1997) Cultivares de feijão caupi recomendados para o plantio nas regiões Norte e Nordeste: ano agrícola 1996/97. Terezina: Centro de Pesquisa Agropecuária do Meio Norte – EMBRAPA.
- Gabriel, K. Ruben. (1972). Analysis of meteorological data by means of canonical decomposition and biplots. *J Appl Met Clim*, 11(7): 1071-1077.
- Gerrano, A. S.; Adebola, P. O.; Jansen van Rensburg, W. S.; Laurie, S. M. (2015) Genetic variability in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) genotypes. *Sout Afri J Plan Soil* 32(3): 165-174. <https://doi.org/10.1080/02571862.2015.1014435>
- Gomes, A. M. F.; Draper, D.; Talhinhos, P.; Santos, P. B.; Simões, F.; Nhantumbo, N.; Ribeiro-Barros, A. I. (2020) Genetic Diversity among Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) Landraces Suggests Central Mozambique as an Important Hotspot of Variation. *Agron* 10(12): 1893. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121893>
- Grigolo, S, Fioreze, A. C. L.; Denardi, S.; Vacari J. (2018) Implicações da análise univariada e multivariada na dissimilaridade de acessos de feijão comum. *Rev Ciênc Agrov* 17(3): 351-360. <https://doi.org/10.5965/223811711732018351>
- Horn, L. N.; Shimelis, Há. (2018) Importance of cowpea production, breeding and production constrains under dry areas in Africa. *Ruf Work Doc* 17(1): 499-514.
- Kurek, A. J.; Carvalho, F. I. F. D.; Assmann, I. C.; Cruz P. J. (2001) Capacidade combinatória como critério de eficiência na seleção de genitores em feijoeiro. *Pes Agrop Bras* 36(4): 645-651. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000400007>
- Mahalanobis, P. C. (1936) On the generalized distance in statistics. National Institute of Science of India.
- Mendonça, M. S. D.; Beber, P. M.; Nascimento, F. S. S. D.; Santos, V. B. D.; Marinho, J. T. (2018) Importance and correlations of characters for cowpea diversity in traditional varieties. *Rev Ciênc Agron* 49: 267-274. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20180030>
- Mojena, R. (1977) Hierarchical grouping methods and stopping rules: an evaluation. *Comp J* 20(4): 359-363.
- Perez-Marin, A.; Cavalcante, A. M. B.; Medeiros, S.; Tinôco, L.; Salcedo, I. H. (2012) Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: Ocorrência natural ou antrópica? *Par Estrat* 17(34): 87-106.
- Resende, M. A. V.; Freitas, J. A.; Lanza, M. A.; Resende, M. D. V.; Azevedo, C, F. (2014) Divergência genética e índice de seleção via BLUP em acessos de algodoeiro para

- características tecnológicas da fibra. *Pesq Agrop Trop* 44(3): 334-340.
<https://doi.org/10.1590/S1983-40632014000300006>
- Rodrigues, E. V.; Silva, K. J. D.; Rocha, M. D. M.; Bastos, E. A.; Santos, A. D. (2018) Diallel analysis of tolerance to drought in cowpea genotypes. *Rev Caat* 31: 40-47.
<http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252018v31n105rc>
- Santos, C. F. A.; Santos, I. C. N.; Rodrigues, M. A. (2007) BRS Pujante: nova cultivar de feijão-caupi para áreas irrigada e de sequeiro do vale do rio São Francisco. *Hort Bras* 25(1).
- Santos, J. A. D. S.; Teodoro, P. E.; Correa, A. M.; Soares, C. M. G.; Ribeiro, L. P.; Abreu, H. K. A. D. J. (2014) Desempenho agrônomo e divergência genética entre genótipos de feijão-caupi cultivados no ecótono Cerrado/Pantanal. *Brag* 73(4):377-382.
<https://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0250>
- Santos, A.; Braga, D. C.; Correa, A. M.; Melo, C. L. P.; Silva, J. A. S.; Lima, A. R. S.; Rodrigues E. V. (2015) Escolha de genitores de feijão-comum baseado na divergência genética. *Agrarian* 8(29): 235-245.
- Silva, A. R. D. (2016) Métodos de análise multivariada em R. Piracicaba: FEALQ.
- Silva, M. B. O.; Carvalho, A. J.; Rocha, M. M.; Batista, P. S. C.; Júnior, P. V. S.; Oliveira, S. M (2018) Desempenho agrônomo de genótipos de feijão-caupi. *Rev Ciênc Agra* 41(4): 1056-1066.
- Singh, D. (1981) The relative importance of characters affecting genetic divergence. *Ind J Gen Plant Breed* 41:237-245.
- Souza, V. B. D. et al. (2018). Agronomic performance of cowpea elite lines in the states of Minas Gerais and Mato Grosso, Brazil. *Revista Caatinga*, v. 31, n. 1, p. 90-98.
- Stoilova, T.; Berova, M. (2014) Morphological and Agrobiological Study on Local Germplasm of Common Beans (*Phaseolus Vulgaris* L.) and Cowpea (*V. Unguiculata* L.). *Biot Biotech Equi* 23: 385–388. <https://doi.org/10.1080/13102818.2009.10818445>
- Sokal, R. R.; Rohlf, F. J. (1962) The comparison of dendrograms by objective methods. *Tax* 11(2): 33-40. <https://doi.org/10.2307/1217208>
- Toledo, V. M.; Barrera-Bassols, N. (2015) A memória biocultural: a importância ecológica das sabedorias tradicionais. São Paulo: Expressão Popular.
- Travassos, I. S.; SOUZA, B. (2014) Desmatamento e Desertificação no Cariri Paraibano. *Rev Bras Geo Fís* 7(01): 103-116.

CAPÍTULO 3

Artigo nas normas da Revista Ciência Agronômica

Componentes agronômicos e suas correlações que influenciam a produtividade de grãos e biomassa em feijão de corda

Agronomic components and their correlations that influence grain yield and biomass in cowpea

RESUMO - A análise de trilha é uma ferramenta adotada por melhoristas para decompor a correlação existente em efeitos diretos e indiretos, através de uma variável principal e as explicativas. O objetivo deste trabalho foi utilizar a análise de trilha e a correlação canônica para determinar descritores que possam ser adotados como critério para posterior seleção de plantas com maiores produções de grãos e de biomassa. O experimento foi conduzido no município de São José dos Cordeiros, PB, na estação seca. Foram utilizados dez genótipos de feijão de corda, avaliados para características referente a porte, precocidade e produtividade de vagens. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com seis repetições. Foram calculadas correlações e posteriores desdobramentos via análise de trilha em crista. Foi utilizado dois diagramas, um considerando a variável básica produtividade de grãos e outro, a biomassa de parte aérea. Para avaliação das correlações canônicas foram realizadas análises entre as duas variáveis básicas e os caracteres de arquitetura, precocidade e rendimento. Com base nos resultados, observou-se maior contribuição dos fatores genéticos na expressão dos caracteres analisados. Foi possível identificar caracteres que podem maximizar a resposta correlacionada, sugere-se a seleção de genótipos com maior número de vagens por planta, vagens menores e grãos mais pesados. O uso destas características para a composição de índices

de seleção e/ou seleção simultânea resultará em plantas com maior produtividade grãos e de biomassa.

PALAVRAS-CHAVE: *Vigna unguiculata*; análise de trilha; correlação; produtividade; Semiárido

ABSTRACT - Path analysis is a method adopted by breeders to decompose the existing correlation into direct and indirect effects, through a main variable and the explanatory ones. The objective of this work was to use path analysis and canonical correlation to determine descriptors that can be adopted as criteria for later selection of plants with higher grain and biomass yields. The experiment was carried out in the municipality of São José dos Cordeiros, PB, in the dry season. Ten cowpea genotypes were used, evaluated for characteristics related to size, precocity and pod productivity. The experimental design used was in randomized blocks, with six replications. Correlations between traits were estimated and decomposed using path analysis. Two diagrams were used, one considering the basic variable grain yield and the other, the biomass. To evaluate the canonical correlations, analyzes were performed between the two basic variables and the characters of architecture, precocity and yield. Based on the results, there was a greater contribution of genetic factors in the expression of the analyzed characters. To identify characters that can maximize the correlated response, it is suggested the selection of genotypes with a greater number of pods per plant, smaller pods and heavier grains. The use of these characteristics for the composition of selection indices and/or simultaneous selection will result in plants with higher grain and biomass productivity.

KEYWORDS: *Vigna unguiculata*; path analysis; correlation; yield; semiarid.

INTRODUÇÃO

O feijão de corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), constitui-se como importante componente econômico e alimentar em mais de 100 países, dentre eles o Brasil (Silva et al., 2018). É um alimento básico de excelente valor nutricional, possuindo antioxidantes, fonte de ferro, proteínas, vitaminas, minerais e fibras (WENG *et al.*, 2017). Utilizado para o consumo humano sob as formas de grãos secos e verdes, suas folhas e hastes produzem grande quantidade de biomassa que podem ser aproveitadas na alimentação animal (SILVA *et al.*, 2015).

Devido sua versatilidade produtiva, é a leguminosa mais consumida no Norte e Nordeste do Brasil. No Nordeste, especificamente no semiárido Paraibano, constitui-se como a principal fonte de renda e subsistência dos produtores rurais de base familiar (SOUZA *et al.*, 2018). Nessa região, os desafios encontrados para uma produção satisfatória, incluem desde a falta de tecnificação dos produtores até a disponibilidade hídrica, uma vez que maior parte do manejo ocorre na estação de sequeiro (SILVA *et al.*, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2019).

Embora o feijão de corda, seja uma cultura considerada adaptada às condições edafoclimáticas do semiárido nordestino (CÂMARA *et al.*, 2018), os longos períodos de estiagem, juntamente com altas temperaturas, reduzem seu rendimento, especialmente quando, o déficit hídrico ocorre durante as fases de floração e enchimento de grãos (FREITAS *et al.*, 2017). Sabe-se, que nas regiões semiáridas, durante esses períodos de seca prolongada, existe uma carência de alternativas para suplementação animal, as pastagens utilizadas, possuem baixos valores nutritivos, não suportando a lotação animal que é imposta (SANTANA *et al.*, 2015). Nesse cenário, torna-se promissor investir em pesquisas para selecionar genótipos com maior produção de grãos e biomassa.

Uma ferramenta adequada para auxiliar nos procedimentos de seleção é a técnica de seleção indireta através de caracteres com alta herdabilidade e de fácil mensuração (FREITAS *et al.*, 2019). Quantificar as correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais, existentes

indicam como a seleção de uma característica influencia a expressão de outra, podendo ocorrer em direções e magnitudes distintas (SILVA; NEVES, 2011; MENDONÇA *et al.*, 2018).

Entretanto, a interpretação e a quantificação da magnitude de uma correlação podem resultar em equívocos, o que prejudicaria a seleção (CRUZ *et al.*, 2012, MOURA *et al.*, 2012). A correlação alta entre dois caracteres pode ser resultado do efeito sobre estes, de um terceiro ou de um grupo de caracteres (SILVA *et al.*, 2013). A análise de trilha é uma ferramenta adotada por melhoristas para decompor a correlação existente em efeitos diretos e indiretos, através de uma variável principal e as explicativas (CRUZ *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2013). Auxiliando o melhorista nos estudos que envolvam mais de uma variável dependente, recomenda-se as correlações canônicas (CREVELARI *et al.*, 2019).

Em feijão de corda essas metodologias já vêm sendo utilizadas com o intuito de avaliar as associações entre os caracteres de rendimento de grãos (KUMARI *et al.* 2011; MANGGOEL *et al.*, 2012; MOURA *et al.*, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2013; ALMEIDA *et al.*, 2014; SANTOS *et al.*, 2014; RIBEIRO *et al.*, 2016; LOPES *et al.*, 2017; FREITAS *et al.*, 2019). Contudo, trabalhos envolvendo correlação canônica e os efeitos diretos e indiretos entre os componentes de produção e a biomassa têm sido pouco explorados.

Nesse trabalho, utilizou-se a análise de trilha e a correlação canônica para determinar descritores que possam ser adotados como critério para posterior seleção de plantas com maiores produções de grãos e de biomassa.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em regime de sequeiro na Reserva particular do patrimônio natural (RPPN), Fazenda Almas. A RPPN está localizada nos municípios de Sumé e São José dos Cordeiros, (7°28'45"S e 36°54'18" W), no Cariri paraibano, sendo a quarta maior RPPN do bioma Caatinga e a maior do Estado da Paraíba. A fazenda possui vegetação caracterizada

como Caatinga arbustiva a arbórea, sobre solos de origem cristalina, o clima é classificado como semiárido quente, com temperaturas médias anuais elevadas entre 26 e 30 °C. A precipitação média anual é em torno de 500 a 800 mm, submetida à sazonalidade das secas, períodos em que acontecem precipitações pluviométricas mínimas ou não ocorrerem precipitações (BARBOSA *et al.*, 2015).

Dez variedades tradicionais de feijão de corda, foram coletadas com base em informações adquiridas em comunidades e feiras livres no semiárido da Paraíba e Ceará (Tabela 1, Figura 1).

Tabela 6. Discriminação do germoplasma de feijão de corda (*Vigna unguiculata*) usado nesse estudo.

Genótipos	Local de coleta	Base Genética	Classe ¹	Subclasse ²
Canapu	Aurora/CE	Crioula	Cores	Canapu
Cariri	Remígio/PB	Crioula	Branca	Fradinho
Corujinha	Prata/PB	Crioula	Cores	Corujinha
Macaíba	Alagoa Grande/PB	Crioula	Branca	Fradinho
Manteiguinha	Pocinhos/PB	Crioula	Branca	Manteiga
Quebra Cadeira	Areia/PB	Crioula	Branca	Fradinho
Pata De Vaca	Areia/PB	Crioula	Branca	Olho-Marrom
Rabo De Tatu	Pocinhos/PB	Crioula	Cores	Mulato Liso
Roxinho	Prata/PB	Crioula	Cores	Mulato Liso
Sempre Verde	Alagoa Grande/PB	Crioula	Cores	Sempre verde

¹Regulamento Técnico do Feijão, Instrução Normativa Nº 12, de 28/03/2008, MAPA (Brasil, 2008); ² Subdivisão das classes comerciais por Freire Filho *et al.* (2005).

Figura 1. Germoplasma de feijão de corda (*Vigna unguiculata*) utilizado nesse estudo.



O preparo do solo classificado como LUVISSOLO, foi feito com grade aradora duas semanas antes da semeadura, nos dois ambientes. A parcela experimental foi constituída por quatro linhas de 4 m, com espaçamento de 0,4 m entre plantas e 0,7 m entre fileiras, deixando-se duas plantas/cova. Uma aplicação de 50 kg/ha de sulfato de amônio foi realizada em cobertura aos 30 dias após a semeadura, baseando-se em recomendação da análise de solo. A colheita foi realizada cerca de 65 dias após a emergência.

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso, com dez repetições. Os descritores avaliados foram definidos com base em características agrônômicas descritas por Freire Filho (2011): dias para o florescimento, altura da planta (cm), diâmetro da haste principal (cm), teor de água na folha (%), dias para maturação, número de vargens por planta, número de grãos por vagem, comprimento da vagem (cm), peso de 100 grãos verdes (g), produtividade de grão verdes (kg ha⁻¹) e biomassa fresca da parte aérea (g).

Os dados foram submetidos a análise de multicolinearidade, baseando-se no número de condição (NC), onde valores compreendidos na faixa $100 \leq NC \leq 1000$ são considerados moderado a forte (CRUZ *et al.*, 2012). Adicionalmente, adotou-se os valores de inflação da variância (VIF), nos quais valores VIF acima de 10 podem indicar que os coeficientes de regressão associados a esses valores possuem estimativas fortemente influenciadas pela multicolinearidade (NETER *et al.*, 1989). Em ambas as situações, variáveis com tendências moderada a forte de colinearidade não foram excluídas das análises de variância, sendo utilizado a análise de trilha em crista. Nesse método, sugere-se a modificação do sistema de equações normais, pela introdução de uma constante K à diagonal da matriz $X'X$, sendo utilizado, o menor valor de K capaz de estabilizar a maioria dos estimadores dos coeficientes de trilha (CARVALHO, 1996).

A seguir, foram procedidas análises de variância e de correlações parciais, fenotípicas, genotípicas e ambientais entre os caracteres estudados. A significância dos coeficientes de

correlação foi avaliada pelo teste t. A análise de trilha foi adotada para o desdobramento dos efeitos diretos e indiretos das correlações (WRIGHT, 1923). Foram realizadas duas análises para avaliar os efeitos das características de arquitetura da planta, precocidade e componentes de rendimento, sobre a variável básica produtividade de grãos verdes e outra análise para avaliar os efeitos das mesmas características sobre a variável básica, biomassa de parte aérea.

Para avaliação das correlações canônicas foram realizadas análises entre as duas variáveis básicas: produtividade de grãos verdes e biomassa de parte aérea pertencentes ao grupo I e o grupo II foi constituído pelas demais variáveis analisadas. As análises foram estimadas como medida de associação conforme considerações gerais de Cruz e Carneiro (2003).

Todas as análises foram realizadas utilizando-se o programa computacional Genes (CRUZ, 2013).

RESULTADOS

Os quadrados médios para fonte de variação genótipos apresentaram efeitos significativos a 5% de probabilidade de acordo com o teste F, para todas as variáveis analisadas exceto para a característica, número de vagens por planta (Tabela 2). Constatando a existência de variabilidade fenotípica entre os genótipos avaliados.

Tabela 7. Resumo da análise de variância para 12 características avaliadas em feijão de corda na RPPN, Fazenda Almas – PB, 2019.

FV	GL	DF	AT	Quadrados Médios			
				DMC	TAF	DM	NVP
Bloco	2	0.93	48.05	0.09	2.60	0.70	3.76
Genótipos	9	17.50*	273.55**	0.08*	81.55**	136.96**	17.41
Média		45,83	47.66	0.99	82.32	67.10	13.35
CV%		5.16	8.43	17.09	4.32	1.74	24.10
Erro		0.54	1.80	0.04	1.05	1.20	0.63
FV	GL	CV	NGV	P100G	PGV	BPA	
Bloco	2	1.09	1.45	5.96	59451.62	4622.33	
Genótipos	9	7.49**	18.78**	158.04*	228217.57**	25786.97*	
Média		18.26	12.41	32.09	759.44	274.86	
CV%		5.35	8.30	22.24	29.51	31.21	
Erro		0.31	0.46	1.64	59.47	20.72	

DF: dias para floração; AT (cm): altura da planta; DMC (cm): diâmetro do caule; NF: número de folhas; TAF (%): teor de água na folha; DM: dias para maturação; NVP: número de vagens por planta; CV (cm): comprimento vagem; NGV: número de grãos por vagem; P100G (g): peso de 100 grãos; PGV (kg ha⁻¹): produtividade de grão verde; BPA (g): biomassa da parte aérea. * e ** = significativo a 5% de probabilidade e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Todas as correlações significativas observadas, as genotípicas apresentaram valores superiores às suas correspondentes correlações fenotípicas e de ambiente (Tabela 3), exceto para a associação entre o comprimento da vagem e a biomassa da parte aérea (0.64), em que o efeito ambiental foi superior para determinar que genótipos de feijão de corda com vagens maiores teriam maior produção de biomassa.

As correlações fenotípicas superiores em magnitude e significância foram observadas entre as características, dias para maturação e número de vagens por planta (-0.76), número de grãos por vagens e peso de 100 grãos (-0.71). Para essas associações as correlações genotípicas observadas também foram altas e apresentaram mesma direção (-1.00 e -0.92) (Tabela 3). Indicando uma correlação negativa entre essas variáveis, ou seja, plantas precoces apresentaram maior produção de vagens e plantas com grãos mais pesados terão menor número de grãos na vagem.

Correlações fenotípicas e genotípicas altas e positivas foram observadas entre os caracteres dias para floração e teor de água na folha (0.64 e 0.91), teor de água na folha e peso de 100 grãos (0.66 e 0.85), comprimento da vagem e número de grãos por vagens (0.67 e 0.69) (Tabela 2). Indicando que quanto mais tardio o florescimento maior o armazenamento de água na folha, quanto mais água nas folhas, maior o peso de 100 grãos e plantas com vagens mais compridas terão mais grãos nas vagens. A característica dias para floração apresentou ainda correlações genéticas alta, significativa e positiva em associação com a biomassa da parte aérea (1.00), o peso de 100 grãos (0.63) e com a produtividade de grãos verdes (0.61) (Tabela 3). Isso demonstra que genótipos com ciclos mais longos terão maior produção de grãos e de biomassa.

Entretanto, a seleção de genótipos tardios não é desejada em programas de melhoramento de feijão de corda.

Tabela 3. Estimativas dos coeficientes de correlação fenotípica (rf), genotípica (rg) e de ambiente (ra) entre caracteres de feijão de corda, avaliados em 10 genótipos cultivados em regime de sequeiro no Cariri Paraibano.

Variáveis	r	AT	DMC	TAF	DM	NVP	CV	NGV	P100G	PGV	BPA
DF	rf	-0.12	0.16	0.64*	0.27	-0.31	0.14	-0.12	0.39	0.37	0.56
	rg	-0.12	0.40	0.91*	0.33	-0.31	0.30	-0.16	0.63*	0.61*	1.00*
	ra	-0.18	-0.33	-0.21	0.12	-0.34	-0.44	0.04	-0.10	-0.27	-0.43
AT	rf		0.34	0.11	0.43	-0.41	0.33	0.36	-0.24	0.06	0.37
	rg		0.37	0.14	0.44	-0.82*	0.38	0.42	-0.30	0.12	0.45
	ra		0.31	-0.16	-0.10	0.52	-0.14	-0.50	-0.02	-0.35	0.04
DMC	rf			0.18	0.18	-0.48	0.17	-0.03	0.13	-0.35	0.29
	rg			0.26	0.25	-0.84	0.11	-0.09	0.03	-0.54	0.20
	ra			-0.06	-0.25	0.40	0.42	0.33	0.34	0.11	0.49
TAF	rf				0.01	-0.04	-0.39	-0.46	0.66*	0.49	0.38
	rg				0.00	-0.08	-0.46	-0.53	0.85*	0.54	0.44
	ra				0.17	0.01	0.04	0.15	0.06	0.26	0.17
DM	rf					-0.76*	0.32	0.12	-0.00	0.11	0.09
	rg					-1.00*	0.35	0.12	0.00	0.11	0.10
	ra					0.47	-0.08	-0.03	-0.01	0.20	0.08
NVP	rf						-0.25	0.07	-0.18	0.20	-0.08
	rg						-0.51	0.13	-0.59	0.27	-0.33
	ra						0.19	-0.04	0.28	0.15	0.23
CV	rf							0.67*	-0.52	-0.26	0.52
	rg							0.69*	-0.68*	-0.38	0.50
	ra							0.52	-0.01	0.34	0.64*
NGV	rf								-0.71*	-0.06	0.33
	rg								-0.92*	-0.09	0.35
	ra								0.14	0.13	0.32
P100G	rf									0.21	-0.30
	rg									0.13	-0.49
	ra									0.43	0.14
PGV	rf										0.08
	rg										0.10
	ra										0.01

DF: dias para floração; AT (cm): altura da planta; DMC (cm): diâmetro do caule; TAF: teor de água na folha; DM: dias para maturação; NVP: número de vagens por planta; CV (cm): comprimento vagem; NGV: número de grãos por vagem; P100G (g): peso de 100 grãos; PGV (kg/ha): peso de grão verde.

Associações genotípicas negativas foram observadas entre as características, altura da planta e número de vagens por planta (-0.82), comprimento da vagem e peso de 100 grãos (-0.68) (Tabela 3). Os valores observados indicam que, quanto maior a altura da planta menor

será o número de grãos por vagens e quanto menor o comprimento da vagem, mais pesado serão os grãos.

Os coeficientes de determinação no modelo da análise de trilha considerando a variável básica produtividade foi de 0.64 e os efeitos residuais foram de 0.45 (Tabela 4). Os dias para floração, número de vagens por planta e a altura da planta foram as características com maior influência sobre a produtividade de grãos verdes 0.69, 0.66 e 0.52 respectivamente (Tabela 4). Sugerindo que para obter genótipos mais produtivos, deve-se selecionar plantas com ciclo longo, de maior comprimento e com maior número de vagens na planta.

Tabela 4. Estimativa dos efeitos diretos e indiretos de seis características sobre a produtividade, em feijão de corda.

Efeitos	Caracteres explicativos								
	DF	AT	DMC	TAF	DM	NVP	CV	NGV	P100G
Direto sobre PGV	0.69	0.52	-0.29	-0.17	0.39	0.66	-0.45	0.03	0.12
Indireto via DF		-0.08	0.11	0.46	0.18	-0.22	0.10	-0.08	0.27
Indireto via AT	-0.06		0.17	0.05	0.22	-0.21	0.17	0.19	-0.12
Indireto via DMC	-0.04	-0.10		-0.05	-0.05	0.14	-0.05	0.00	-0.04
Indireto via TAF	-0.11	-0.01	-0.03		-0.00	0.00	0.06	0.07	-0.11
Indireto via DM	0.10	0.17	0.07	0.00		-0.30	0.12	0.04	-0.00
Indireto via NVP	-0.21	-0.27	-0.32	-0.03	-0.51		-0.16	0.05	-0.12
Indireto via CV	-0.06	-0.15	-0.07	0.17	-0.14	0.11		-0.30	0.23
Indireto via NGV	-0.00	0.01	-0.00	-0.01	0.00	0.00	0.02		-0.02
Indireto via P100G	0.05	-0.03	0.01	0.08	-0.00	-0.02	-0.06	-0.09	
Total	0.37	0.06	-0.35	0.49	0.11	0.20	-0.26	-0.06	0.21
Coeficiente de determinação						0.64			
Valor de k usado na análise						0.04			
Efeito da variável residual						0.45			

DF: dias para floração; AT (cm): altura da planta; DMC (cm): diâmetro do caule; TAF: teor de água na folha; DM: dias para maturação; NVP: número de vagens por planta; CV (cm): comprimento vagem; NGV: número de grãos por vagem; P100G (g): peso de 100 grãos; PGV (kg/ha): peso de grão verde.

Estimativas de efeitos indiretos para a variável dias para maturação via número de vagens por planta foi de magnitude negativa (-0.51), já para a variável teor de água na folha o efeito indireto via dias para floração foi positivo (0.46) (Tabela 4). Em concordância como o já observado nas correlações fenotípicas e genotípicas observadas, a seleção indireta de plantas com ciclo longo resultará em genótipos mais produtivos e que armazenam mais água nas folhas.

A análise de trilha sobre a variável básica biomassa de parte aérea, apresentou um coeficiente de determinação de 0.90, o efeito residual obtido por meio do modelo foi baixo 0.30 (Tabela 5).

Tabela 5. Estimativa dos efeitos diretos e indiretos de seis características sobre a biomassa da parte aérea, em feijão de corda.

Efeitos	Caracteres explicativos								
	DF	AT	DMC	TAF	DM	NVP	CV	NGV	P100G
Direto sobre BPA	0.42	0.15	0.13	0.58	-0.19	0.03	0.39	-0.10	-0.66
Indireto via DF		-0.05	0.07	0.27	0.11	-0.13	0.06	-0.05	0.16
Indireto via AT	-0.01		0.05	0.01	0.06	-0.06	0.05	0.05	-0.03
Indireto via DMC	0.02	0.04		0.02	0.02	-0.06	0.02	-0.00	0.01
Indireto via TAF	0.37	0.06	0.10		0.00	-0.02	-0.23	-0.27	0.38
Indireto via DM	-0.05	-0.08	-0.03	-0.00		0.15	-0.06	-0.02	0.00
Indireto via NVP	-0.01	-0.01	-0.01	-0.00	-0.02		-0.00	0.00	-0.00
Indireto via CV	0.05	0.13	0.06	-0.15	0.12	-0.09		0.26	-0.20
Indireto via NGV	0.01	-0.03	0.00	0.04	-0.01	-0.00	-0.06		0.07
Indireto via P100G	-0.26	0.16	-0.08	0.43	0.00	0.12	0.34	0.47	
Total	0.56	0.37	0.29	0.38	0.09	-0.08	0.52	0.33	0.30
Coeficiente de determinação	0.90								
Valor de k usado na análise	0.05								
Efeito da variável residual	0.30								

DF: dias para floração; AT (cm): altura da planta; DMC (cm): diâmetro do caule; TAF: teor de água na folha; DM: dias para maturação; NVP: número de vagens por planta; CV (cm): comprimento vagem; NGV: número de grãos por vagem; P100G (g): peso de 100 grãos; BPA (kg/ha): biomassa da parte aérea.

As maiores estimativas dos efeitos diretos sobre a biomassa foram observadas na associação com as características peso de 100 grãos (-0.66), teor de água na folha (0.58), dias para floração (0.42) e comprimento da vagem (0.39). Sugerindo que, a seleção de plantas tardias, com vagens menores, grãos mais pesados e que armazenam maior teor de água na folha, resultará em um aumento de biomassa. Resultado em conformidade aos obtidos por meio das estimativas das correlações genotípicas e fenotípicas (Tabela 3) para estas características.

Foram observados efeitos indiretos via peso de 100 grãos, para as características, número de grãos por vagens (0.47), teor de água na folha (0.43) e comprimento da vagem (0.34). Via teor de água de na folha para as variáveis, peso de 100 grãos (0.38) e dias para floração (0.37) (Tabela 5). Indicando que estes caracteres podem ser utilizados como auxiliares na seleção indireta de genótipos com maior biomassa.

As correlações canônicas observadas entre a produção de grãos e biomassa (grupo I) e os caracteres de arquitetura da planta e rendimento (grupo II) foram de alta magnitude, ou seja, os grupos não são independentes, existindo uma relação linear entre eles (Tabela 6).

Tabela 6. Estimativas das correlações e pares canônicos entre os fatores de produtividade e biomassa de parte área sobre características morfoagronômicas em feijão de corda.

Características	Pares canônicos	
	1º par	2º par
PGV	0.92	0.39
BPA	-0.31	0.95
DF	0.13	0.64
AT	-0.08	0.36
DMC	-0.45	0.16
TAF	0.32	0.50
DM	0.06	0.12
NVP	0.23	-0.00
CV	-0.45	0.40
NGV	-0.19	0.29
P100G	0.32	-0.21
R	1.00	0.99

DF: dias para floração; AT (cm): altura da planta; CV (cm): comprimento vagem; NVP: número de vagens por planta; NGV: número de grãos por vagem; P100G (g): peso de 100 grãos; PGV (kg/ha): produtividade de grão verde; BPA (g): biomassa da parte aérea.

De acordo com a análise dos coeficientes de correlações do primeiro par canônico a seleção de genótipos com menor diâmetro do caule (-0.45), com vagens menores (-0.45), grãos mais pesados (0.32) e que armazenam maior teor de água na folha (0.32), resultará em genótipos com maior rendimento de grãos, porém com menor biomassa (Tabela 6). Tal resultado mostra que a obtenção de ganhos simultâneos para o rendimento de grãos e de biomassa com base nesses caracteres é difícil, uma vez que, os coeficientes se encontram com sinais opostos.

No segundo par canônico, o objetivo de obter plantas com maior rendimento de grãos e também de biomassa pode ser obtido por meio da seleção indireta de genótipos que apresentem, floração tardia (0.64), plantas que armazenam maior teor de água na folha (0.50), com maiores vagens (0.40) e mais altas (0.36) (Tabela 6).

DISCUSSÃO

No geral, as informações das correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais, da análise de trilha e dos pares canônicos apresentaram concordância. Essas estimativas de correlação permitem prever as alterações em um determinado caráter provocadas pela pressão de seleção exercida sobre outro caráter (TAMBITKAR *et al.*, 2020). Baseando-se nos resultados vistos na Tabela 1, sugere-se a seleção de plantas mais produtivas em grãos e biomassa, utilizando a seleção simultânea entre as características, comprimento da vagem, dias para floração, número de grãos por vagens, peso de 100 grãos, teor de água na folha.

Em programas de melhoramento de plantas, a seleção geralmente é realizada visualmente, para uma boa resposta da seleção, é necessário que as variáveis indicadas possuam correlações fenotípicas altas. Estas devem estar associadas em mesmo sentido com as correlações genéticas (OLIVEIRA *et al.*, 2011; LOPES *et al.*, 2017). No presente estudo, foram observados altos coeficientes de correlação fenotípica e em mesma direção das correlações genotípicas, entretanto, as correlações genotípicas observadas foram superiores as demais estimadas. Esse

resultado indica uma maior contribuição dos fatores genéticos na expressão dos caracteres analisados (NOGUEIRA *et al.*, 2012).

Foi visto nesse trabalho que o aumento no número de dias para iniciar a floração, contribuirá para aumentar a biomassa e rendimento de grãos. LOPES *et al.* (2017) em análise de trilha para feijão de corda observaram que genótipos de ciclos mais longos são mais produtivos, e sendo precocidade uma característica desejada nos programas de melhoramento com a cultura, os autores sugeriram que os melhores genótipos fossem cruzados para tentar quebrar essa associação desfavorável. Sugere-se o mesmo para a associação observada entre a precocidade e a produção de biomassa.

Os coeficientes de correlações fenotípicas e genotípicas quantificam as associações em magnitude e direção, mas, não são suficientes para expressar a relação de causa e efeito entre as variáveis. A análise de trilha proporciona uma interpretação mais clara do efeito direto de uma variável sobre outra, e da interferência que outras variáveis têm nesta associação (SANTOS *et al.*, 2014; TAMBITKAR *et al.*, 2020).

O modelo explicativo adotado nas análises de trilha para produtividade de grãos e de biomassa, foram suficientes para explicar a relação causa e efeito entre as variáveis analisadas. Para fins de melhoramento é importante identificar entre os caracteres de alta correlação com a variável básica e de maior efeito direto em sentido favorável à seleção, de tal modo que a resposta correlacionada por meio da seleção indireta seja eficiente (CRUZ *et al.*, 2012; CORREIA *et al.*, 2012; LOPES *et al.*, 2017).

Os resultados indicam que, a seleção indireta de plantas com ciclo longo, maior número de vagens por planta, com vagens menores, grãos mais pesados e que armazenam maior teor de água resultará em genótipos com maior produção de grãos e maior biomassa. Semelhante ao que foi observado neste estudo, Freitas *et al.*, (2016), avaliaram as associações entre caracteres de rendimento em variedades crioulas de feijão de corda e observaram que, o número de vagens

por planta teve o maior efeito positivo direto na produtividade de grãos verdes. Os autores concluíram que, para fins de seleção é um resultado promissor uma vez que, o número de vagens é relativamente mais fácil de estimar em relação a produtividade de grãos.

Os mesmos autores observaram, assim como foi observado neste, associações negativas entre as variáveis produtividade de grãos e peso de 100 grãos com o comprimento da vagem, os autores explicam que tal resultado deve-se ao efeito de compensação que ocorre entre os componentes produtivos, de forma que variedades com vagens menores possuem grãos mais pesados e vice-versa. Quando a planta produz muitos grãos por vagem, para o enchimento destes, faz-se necessário maior concentração de fotoassimilados, desta forma, a planta tende a reduzir a massa de grãos BARILI *et al.*, 2011; NOBRE *et al.*, 2018).

Na observação do primeiro par canônico, a obtenção de ganhos simultâneos para a produtividade e grãos e biomassa não foi satisfatória, uma vez que, os coeficientes se encontram com sinais opostos. Embora os resultados observados no segundo par canônico, sejam satisfatórios para construção de índices de seleção em feijão de corda com maior rendimento de grãos e também de biomassa, este só poderá ser obtido com seleção indireta de genótipos que apresentem, floração tardia, maior teor de água na folha, vagens maiores e plantas altas.

No feijão, durante a fase reprodutiva, está ocorrendo formação de novas flores, além de vagens em diferentes fases de crescimento e, nesta ocasião, ocorre uma paralisação dos fotoassimilados para formar novas folhas, e as estruturas reprodutivas tornam-se o dreno principal (FREITAS *et al.*, 2017). Na distribuição dos fotoassimilados ocorre uma competição entre os órgãos drenos, predominando o que tiver maior atividade metabólica. Durante o enchimento de grãos essa distribuição pode mudar, ocasionando limitações no ganho de biomassa (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

CONCLUSÃO

Foi observado altos coeficientes de correlação genotípicas e fenotípicas, sendo observado, maior contribuição dos fatores genéticos na expressão dos caracteres analisados. Portanto, a determinação de descritores que influenciam a produtividade de grãos e biomassa para seleção indireta em feijão de corda, foi eficiente.

Foi possível identificar caracteres que podem maximizar a resposta correlacionada no programa de melhoramento de feijão de corda para dupla finalidade. Devem-se selecionar plantas com maior número de vagens por planta, vagens menores, grãos mais pesados o uso destas características para a composição de índices de seleção e/ou seleção simultânea resultará em plantas com maior produtividade grãos e de biomassa.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, W. S. *et al.* Correlation and path analysis in components of grain yield of cowpea genotypes. *Revista Ciência Agronômica*, v. 45, n. 4, p. 726-736, 2014.
- BARBOSA, M. R. V.; PAREYN, F. G. C.; LIMA, J. R. Plano de Manejo: Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Almas. *Recife, Associação Plantas do Nordeste–APNE*, 2015.
- BARILI, L. D. *et al.* Correlação fenotípica entre componentes do rendimento de grãos de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). *Semina: Ciências Agrárias*, 2011, 32.4: 1263-1273.
- BEVILAQUA, G. A. P. *et al.* Manejo de sistemas de produção de sementes e forragem de feijão-miúdo para a agricultura familiar. *Embrapa Clima Temperado-Documents (INFOTECA-E)*, 2007.
- CAMARA, F. T. *et al.* Produtividade de feijão caupi crioulo em função do espaçamento entre linhas e número de plantas por cova. *Revista de Agricultura Neotropical*, 2018, 5.2: 19-24.
- DECARVALHO, S. P.; CRUZ, C. D. Diagnosis of multicollinearity: assessment of the condition of correlation matrices used in genetic studies. *Brazilian Journal of Genetics*, 1996, 19.3: 479-484.
- CREVELARI, J. A. *et al.* Canonical correlation for morphoagronomic and bromatological traits in silage corn genotypes. *Bragantia*, 2019, 78: 337-349.
- CORREA, A. M. *et al.* Estimativas de parâmetros genéticos e correlações entre caracteres fenológicos e morfoagronômicos em feijão-caupi. *Revista Ceres*, 2012, 59.1: 88-94.

- CRUZ, C. D. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 2013, 35.3: 271-276.
- Cruz, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento. UFV, Viçosa, 2012.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento de plantas. Viçosa: UFV, 1 ed., 2, 2003, 2.
- FREITAS, R. *et al.* Physiological responses of cowpea under water stress and rewatering in no-tillage and conventional tillage systems. *Revista Caatinga*, 30: 559-567, 2017.
- FREITAS, T. G. G. *et al.* Grain yield and path analysis in the evaluation of cowpea landraces. *Revista Caatinga*, v. 32, p. 302-311, 2019.
- KUMARI, S. S. *et al.* Character association in paprika (*Capsicum annum/i L.*) 1. *Journal of Spices and Aromatic Crops*, 20.1, 2011.
- LOPES, K. V. *et al.* Genetic parameters and path analysis in cowpea genotypes grown in the Cerrado/Pantanal ecotone. 2017.
- MANGGOEL, W. *et al.* Genetic variability, correlation and path coefficient analysis of some yield components of ten cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] accessions. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, v. 4, n. 5, p. 80-86, 2012.
- MENDONÇA, M. S. *et al.* Importância e correlações de caracteres para diversidade do feijão-caupi em variedades tradicionais. *Revista Ciência Agronômica*, v. 49, p. 267-274, 2018.
- MOURA, J. O. *et al.* Path analysis of iron and zinc contents and others traits in cowpea. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 12, n. 4, p. 245-252, 2012.
- MONTGOMERY, D. C.; PECK E. A. Introduction to linear regression analysis. New York: John Wiley e Sons, 504 p, 1981.
- NETER, J.; WASSERMAN, W.; KUTNER, M. H. Applied Linear Regression Models. Homewood, IL: Richard D. Irwin. Inc. Search in, 1989.
- NOBRE, D. A. C. *et al.* Análise de trilha e correlação canônica componentes do desempenho de girassol. 2018.
- NOGUEIRA, A. P. O. *et al.* Análise de trilha e correlações entre caracteres em soja cultivada em duas épocas de semeadura. *Bioscience Journal (Online)*, p. 877-888, 2012.
- OLIVEIRA, O. M. S. *et al.* Associações genotípicas entre componentes de produção e caracteres agrônômicos em feijão-caupi. *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, p. 851-857, 2013.
- OLIVEIRA, T. R. A. *et al.* GYT biplot analysis: a new approach for cowpea line selection. *Embrapa Meio-Norte-Artigo em periódico indexado (ALICE)*, 2019.
- RAMALHO, M. A. P. *et al.* Genética na agropecuária. Editora: UFLA, 565 p páginas. ISBN-10: 8581270085 5 edição, 2012.

- RIBEIRO, H. L. C. *et al.* Phenotypic correlations and path analysis for plant architecture traits and grain production in three generations of cowpea. *Revista Ceres*, v. 63, p. 33-38, 2016.
- ROME, I. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Durham, USA: Duke University, 2020.
- SANTANA, J. A. N.; SILVA, V. O.; LIMA, R. Z. V. Leguminosas adaptadas como alternativa alimentar para ovinos no semiárido–revisão. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 14, n. 2, p. 191-200, 2015.
- SANTOS, A. *et al.* Correlations and path analysis of yield components in cowpea. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 14, n. 2, p. 82-87, 2014.
- SAPARA, G. K.; JAVIA, R. M. Correlation and path analysis in vegetable cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *International Journal of Plant Sciences*, v. 9, n. 1, p. 138-141, 2014.
- SILVA, A. R. *et al.* Path analysis in multicollinearity for fruit traits of pepper. *IDESIA (Chile)*, 31.2: 55-60, 2013.
- SILVA, J. F.; LOPES, M. C.; CARDOSO, S. S. Características biométricas em cultivares de feijão-caupi. *Holos Environment*, v. 15, n. 1, p. 75-81, 2015.
- SILVA, J. A. L.D.; NEVES, J. A. Componentes de produção e suas correlações em genótipos de feijão-caupi em cultivo de sequeiro e irrigado. *Rev. Ciên. Agron.* 42: 702-713, 2011.
- SILVA, A. C. *et al.* Diagnóstico da produção de feijão-caupi no nordeste brasileiro. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, 16.2, 2018.
- SINGH, B. B. Recent progress in cowpea genetics and breeding. In: I International Conference on Indigenous Vegetables and Legumes. Prospectus for Fighting Poverty, Hunger and Malnutrition 752. 2006. p. 69-76.
- SOUZA, V. B. D. *et al.* Agronomic performance of cowpea elite lines in the states of Minas Gerais and Mato Grosso, Brazil. *Revista Caatinga*, 31: 90-98, 2018.
- TAMBITKAR, N. *et al.* Correlation and path analysis studies in cowpea. *The Pharma Innovation Journal*, v. 9, n. 12, p. 314-316, 2020.
- TAVARES, M.; MELO, A.; SCIVITTARO, W. B. Efeitos diretos e indiretos e correlações canônicas para caracteres relacionados com a produção de pimentão. *Bragantia*, 58.1: 41-47, 1999.
- TOEBE, M.; CARGNELUTTI, F. A. Multicollinearity in path analysis of maize (*Zea mays* L.). *Journal of Cereal Science*, v. 57, n. 3, p. 453-462, 2013.
- WENG, Y. *et al.* A rapid method for measuring seed protein content in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). *American Journal of Plant Sciences*, 2017, 8.10: 2387.
- WRIGHT, S. The theory of path coefficients a reply to Niles's criticism. *Genetics*, 8.3: 239, 1923.

CONCLUSÃO GERAL

A interação genótipo x ambiente detectada, foi de natureza simples para todas as características avaliadas, o que significa que um mesmo genótipo pode ser recomendado para os dois locais estudados. Embora os padrões de desempenho entre as variedades tenham sido semelhantes nos diferentes ambientes, os melhores valores foram obtidos na área com melhor histórico de conservação ambiental e com maior precipitação.

Constatou-se variabilidade genética entre os genótipos analisados, bem como superioridade das variedades tradicionais em relação as testemunhas para características de produtividade. As variáveis número de grãos por vagem, dias para maturação e peso de 100 grãos e comprimento da vagem foram as que mais contribuíram para divergência

Foi possível também identificar caracteres que maximizam a resposta correlacionada como número de vagens por planta, comprimento da vagem, peso de 100 grãos. O uso destas características para a composição de índices de seleção e/ou seleção simultânea e caracteres pode auxiliar na obtenção de genótipos com maior produção de biomassa.

A associação entre os parâmetros genéticos, os métodos de agrupamento, o desempenho morfoagronômico e as distâncias estimadas, permitiu a seleção dos genitores mais promissores, que envolvem as variedades Cariri, Roxinho, Rabo de Tatu, Corujinha e IPA 207, para serem utilizadas como genitores em programas de melhoramento de feijão de corda.

Pode-se afirmar que, é possível aumentar o rendimento e investir em pesquisas com feijão de corda utilizando variedades crioulas, em condições semiáridas e em locais com diferentes condições edafoclimáticas. Desde que, a produtividade esteja relacionada a sustentabilidade do ecossistema.

Esse resultado, confirma a importância das sementes tradicionais como insumo agrícola, para os agricultores familiares, e para utilização em programas de melhoramento, uma vez que estas sementes apresentaram produtividade de grãos superior às cultivares comerciais para os ambientes avaliados, que indica um alto potencial agrônomo e uma grande adaptação ambiental.