



DESEMPENHO MORFOAGRONÔMICO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO PARA PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL E SEGURANÇA ALIMENTAR

DESEMPEÑO MORFOAGRONÓMICO DE GENOTIPOS DE FRIJOL CAUPÍ (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) EN EL SEMIÁRIDO BRASILEÑO PARA LA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE Y LA SEGURIDAD ALIMENTARIA

MORPHOAGRONOMIC PERFORMANCE OF COWPEA (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) GENOTYPES IN THE BRAZILIAN SEMIARID FOR SUSTAINABLE PRODUCTION AND FOOD SECURITY

Apresentação: Comunicação Oral

Mário Vithor Pereira Sousa¹; Marcos Henrique da Silva Pires¹; Itala de Jesus Costa¹; Ester Barbosa Oliveira¹; Gerffeson Thiago Mota de Almeida Silva²

DOI: <https://doi.org/10.31692/VIICIAGRO.0197>

RESUMO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) é uma leguminosa essencial para a segurança alimentar e sustentabilidade no Semiárido. Contudo, a produção regional exige materiais adaptados que conciliem estabilidade estrutural e tolerância à seca. O trabalho avaliou o desempenho morfoagronômico e a inter-relação de caracteres em dez genótipos de feijão-caupi, visando identificar materiais promissores para o pré-melhoramento e a agricultura familiar. O experimento foi conduzido em blocos casualizados, com dez acessos e três repetições, no IFPI - Campus São João do Piauí. No período entre 17 e 52 dias após a semeadura (DAS), avaliaram-se o tamanho da planta, diâmetro do ramo principal, acúmulo de biomassa e emissão de estruturas reprodutivas. Os dados foram submetidos à análise de variância, teste de Tukey, regressão linear e análise de componentes principais (PCA). A análise de variância revelou efeito altamente significativo do genótipo sobre o diâmetro do caule e significativo sobre os botões florais aos 37 DAS. O genótipo GM05 destacou-se com o maior diâmetro caulinar médio (13,15 mm), indicando robustez estrutural contra o acamamento. Na emissão floral, houve comportamento contrastante entre os extremos: o acesso GM02 manifestou forte precocidade reprodutiva inicial e o GM03 apresentou comportamento tardio. A dinâmica de crescimento em altura foi homogênea e linear. Pela PCA, os dois primeiros componentes principais explicaram 70,83% da variação global, segregando o GM03 pelo acúmulo de biomassa. Conclui-se que existe divergência morfoagronômica entre os acessos. Os materiais GM02, GM03 e GM05 são promissores para pré-melhoramento, fornecendo bases técnicas para gerar linhagens que fortaleçam a agricultura familiar regional.

Palavras-Chave: Divergência morfoagronômica; Componentes principais; Precocidade; Agricultura familiar; Pré-melhoramento.

RESUMEN

El frijol caupí (*Vigna unguiculata*) es una leguminosa esencial para la seguridad alimentaria y la sostenibilidad en el Semiárido. Sin embargo, la producción regional exige materiales adaptados que concilien estabilidad estructural y tolerancia a la sequía. El trabajo evaluó el desempeño morfoagronómico y la interrelación de caracteres en diez genotipos de frijol caupí, con el fin de identificar materiales prometedores para el pre-mejoramiento y la agricultura familiar. El experimento se realizó en bloques al azar, con diez accesiones y tres

¹ Graduando em Engenharia Agrônômica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus São João do Piauí casjp.2024124beag0020@aluno.ifpi.edu.br

² Doutor em Fitotecnia, Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus São João do Piauí, gerffeson.mota@ifpi.edu.br

repeticiones, en el IFPI - Campus São João do Piauí. En el período entre 17 y 52 días después de la siembra (DDS), se evaluaron el tamaño de la planta, el diámetro de la rama principal, el acumulado de biomasa y la emisión de estructuras reproductivas. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza, prueba de Tukey, regresión lineal y análisis de componentes principales (PCA). El análisis de varianza reveló un efecto altamente significativo del genotipo sobre el diámetro del tallo y significativo sobre los botones florales a los 37 DDS. El genotipo GM05 se destacó con el mayor diámetro medio del tallo (13,15 mm), indicando robustez estructural contra el vuelco. En la emisión floral, hubo un comportamiento contrastante entre los extremos: el acceso GM02 manifestó una fuerte precocidad reproductiva inicial y el GM03 presentó un comportamiento tardío. La dinámica de crecimiento en altura fue homogénea y lineal. Mediante el PCA, los dos primeros componentes principales explicaron el 70,83% de la variación global, segregando al GM03 por el acumulado de biomasa. Se concluye que existe divergencia morfoagronómica entre las accesiones. Los materiales GM02, GM03 y GM05 son prometedores para el pre-mejoramiento, proporcionando bases técnicas para generar líneas que fortalezcan la agricultura familiar regional.

Palabras Clave: Divergencia morfoagronómica; Componentes principales; Precocidad; Agricultura familiar; Premejoramiento.

ABSTRACT

Cowpea (*Vigna unguiculata*) is an essential legume for food security and sustainability in the Semiarid region. However, regional production requires adapted materials that reconcile structural stability and drought tolerance. The work evaluated the morphoagronomic performance and trait interrelation among ten cowpea genotypes, aiming to identify promising materials for pre-breeding and family farming. The experiment was conducted in a randomized complete block design, with ten accessions and three replications, at IFPI - Campus São João do Piauí. In the period between 17 and 52 days after sowing (DAS), plant size, main stem diameter, biomass accumulation, and reproductive structure emission were evaluated. Data were subjected to analysis of variance, Tukey's test, linear regression, and principal component analysis (PCA). The analysis of variance revealed a highly significant effect of the genotype on stem diameter and a significant effect on flower buds at 37 DAS. Genotype GM05 stood out with the largest mean stem diameter (13.15 mm), indicating structural robustness against lodging. Regarding floral emission, there was a contrasting behavior between the extremes: accession GM02 manifested strong initial reproductive precocity, and GM03 presented late behavior. Height growth dynamics were homogeneous and linear. Through PCA, the first two principal components explained 70.83% of the global variation, segregating GM03 by biomass accumulation. In conclusion, morphoagronomic divergence exists among the accessions. Materials GM02, GM03, and GM05 are promising for pre-breeding, providing technical bases to generate lineages that strengthen regional family farming.

Keywords: Morphoagronomic divergence; Principal components; Precocity; Family farming; Pre-breeding.

INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) apresenta-se como uma leguminosa estratégica para a segurança alimentar e nutricional em regiões tropicais e semiáridas, em razão de sua ampla utilização como fonte de proteína vegetal, energia e micronutrientes para populações rurais (Shevkani, 2025). A cultura também apresenta elevada relevância para sistemas agrícolas sustentáveis, pois combina rusticidade, adaptação a ambientes de alta temperatura e limitação hídrica, baixo requerimento de insumos e capacidade de fixação biológica de nitrogênio, atributos que reforçam sua importância em cenários de mudanças climáticas e instabilidade produtiva (Becker et al., 2024; Kim et al., 2025).

No Brasil, especialmente no Nordeste, o feijão-caupi mantém forte relação com a agricultura familiar e com sistemas de cultivo sob sequeiro, nos quais a escolha de materiais adaptados é decisiva para a estabilidade da produção em ambientes sujeitos à irregularidade das chuvas (Rolim et al., 2023). Apesar de sua rusticidade, o desempenho do feijão-caupi em ambientes semiáridos depende da combinação de atributos relacionados ao crescimento, à arquitetura da planta e à transição reprodutiva, cuja expressão pode variar entre genótipos e condições de cultivo (Araújo et al., 2021). Nesse sentido, a avaliação conjunta de caracteres morfoagronômicos constitui uma estratégia importante para identificar materiais com maior potencial agrônomo e adaptativo para as condições do Semiárido brasileiro (Lopes et al., 2023). Estudos recentes têm destacado que a variabilidade genética e fenotípica em feijão-caupi é essencial para orientar a seleção de materiais com maior potencial, sobretudo quando se busca associar rendimento, estabilidade e adaptação a ambientes restritivos (Kim et al., 2025; Ramolekwa et al., 2025).

Em condições semiáridas, a análise de genótipos locais ou adaptados também permite reconhecer respostas diferenciadas ao ambiente e subsidiar estratégias de seleção voltadas à agricultura de base familiar (Rolim et al., 2023). Dessa forma, a compreensão integrada da divergência morfoagronômica e da interdependência entre caracteres pode ampliar a eficiência do pré-melhoramento e orientar cruzamentos entre materiais contrastantes e complementares (Ramolekwa et al., 2025).

Nesse contexto, a caracterização de acessos provenientes de diferentes origens sob as condições do Semiárido piauiense pode contribuir para identificar padrões de desempenho e divergência morfoagronômica ainda pouco explorados nesse conjunto de germoplasma, gerando informações úteis para etapas posteriores de pré-melhoramento. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho morfoagronômico e a interdependência de caracteres em dez genótipos, visando identificar materiais promissores para o pré-melhoramento e fortalecer a agricultura familiar sustentável.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O crescimento inicial do feijão-caupi pode ser caracterizado morfoagronomicamente pela emissão de nós, alongamento caulinar e expansão foliar, caracteres que expressam a construção progressiva da arquitetura vegetativa da planta (Santos et al., 2023). A formação de folhas amplia a superfície de interceptação de radiação e contribui para o estabelecimento da parte aérea, ainda que, neste trabalho, tais caracteres sejam interpretados apenas como descritores morfológicos, e não como medidas diretas de fotossíntese ou trocas gasosas (Souza et al., 2024).

Em condições semiáridas, a restrição hídrica pode limitar o crescimento vegetativo e reduzir a expansão da parte aérea, tornando a caracterização temporal do crescimento importante para distinguir padrões de vigor entre genótipos (Souza et al., 2024). Embora o crescimento completo das plantas seja normalmente descrito por uma curva sigmoideal, a fase vegetativa inicial pode apresentar tendência aproximadamente linear em razão da intensa atividade meristemática, expansão celular e alongamento dos entrenós (Pabuayon et al., 2025). Dessa forma, diferenças no ritmo inicial de crescimento permitem caracterizar genótipos quanto ao vigor, à ocupação do espaço e ao potencial de adaptação morfoagronômica em ambientes restritivos (Kim et al., 2025).

O caule representa um componente central da arquitetura do feijão-caupi, pois atua como eixo de sustentação da parte aérea e influencia o porte, o manejo e a estabilidade da planta no campo (Ribeiro; Boiteux; Santos, 2014). O diâmetro caulinar é um descritor morfoagronômico relevante porque caules mais espessos tendem a conferir maior estabilidade mecânica e menor predisposição ao acamamento (Bisht et al., 2022). Essa interpretação não corresponde à avaliação direta de tecidos anatômicos ou processos fisiológicos internos, mas permite inferir diferenças estruturais entre genótipos com base em características externas observáveis (Santos et al., 2023).

A resistência ao acamamento está associada a atributos como diâmetro do caule, espessura de parede, presença de tecidos de sustentação, organização vascular e composição da parede celular (Bisht et al., 2022). A lignina, a celulose e a hemicelulose contribuem para a rigidez e a resistência mecânica dos tecidos caulinares, funcionando como componentes estruturais importantes contra o tombamento das plantas (Li et al., 2022). Assim, a caracterização do diâmetro caulinar e do padrão de crescimento estrutural auxilia na identificação de genótipos com arquitetura mais equilibrada e maior potencial de sustentação em condições semiáridas (Kim et al., 2025).

A transição da fase vegetativa para a reprodutiva marca uma mudança importante no desenvolvimento do feijão-caupi, pois indica o início da formação de estruturas florais e a reorganização do crescimento da planta (Kim et al., 2025). Na caracterização morfoagronômica, a emissão de botões florais permite diferenciar genótipos quanto à precocidade e ao ritmo de avanço fenológico, sem representar, por si só, uma avaliação direta de mecanismos fisiológicos de tolerância à seca (Santos et al., 2023).

Em regiões semiáridas, a precocidade reprodutiva pode funcionar como estratégia de escape à seca, permitindo que a planta avance para fases reprodutivas antes do agravamento do déficit hídrico terminal (Nunes et al., 2022). Essa estratégia é diferente da tolerância fisiológica à seca, pois se baseia no ajuste temporal do ciclo da cultura à janela de disponibilidade hídrica do ambiente (Kim et al., 2025). Assim, genótipos que conciliam crescimento vegetativo suficiente e transição reprodutiva mais ajustada podem apresentar vantagem adaptativa em ambientes marcados por irregularidade hídrica e instabilidade climática (Souza et al., 2024).

A produção de biomassa vegetal depende da relação entre órgãos fonte, responsáveis pela produção de assimilados, e órgãos dreno, responsáveis pelo consumo, crescimento ou armazenamento desses compostos (Pabuayon et al., 2025). Em culturas produtoras de sementes, o equilíbrio entre fonte e dreno influencia o crescimento, a formação de estruturas reprodutivas e a estabilidade do rendimento sob condições ambientais limitantes (Smith; Rao; Merchant, 2018).

Embora este trabalho não mensure diretamente fotossíntese, translocação de assimilados ou eficiência fisiológica, a área foliar e a biomassa permitem caracterizar diferenças morfoagronômicas relacionadas à formação da parte aérea dos genótipos (Souza et al., 2024). A área foliar representa a dimensão estrutural do aparato vegetativo, enquanto o acúmulo de biomassa expressa o resultado integrado do crescimento ao longo do desenvolvimento da planta (Pabuayon et al., 2025). Em ambientes semiáridos, o déficit hídrico pode reduzir a expansão foliar, comprometer o crescimento e alterar o acúmulo de biomassa, refletindo-se em diferenças morfológicas observáveis entre genótipos (Souza et al., 2024). Portanto, a avaliação conjunta de crescimento, arquitetura, fenologia e biomassa permite caracterizar perfis morfoagronômicos contrastantes e gerar subsídios para a seleção de materiais mais adaptados ao Semiárido (Kim et al., 2025).

METODOLOGIA

O experimento foi conduzido na área agrícola didática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), Campus São João do Piauí, localizado no município de São João do Piauí – PI. A área experimental está situada a 08°21'29" S e 42°14'48" W, a 222 m de altitude. Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima da região é do tipo BSh, caracterizado como semiárido quente, com chuvas concentradas no verão e elevada irregularidade pluviométrica (Andrade Júnior et al., 2004; Alvares et al., 2013).

O delineamento experimental usado foi em blocos casualizados completos, com 10 tratamentos (dez acessos) e 3 repetições. Cada parcela experimental foi constituída de quatro fileiras de 6,0 m de comprimento, com espaçamento entre fileiras de 0,50 m e 0,30 m entre covas. A área útil foi composta por 10 plantas das duas fileiras centrais.

As sementes utilizadas na pesquisa foram obtidas por meio de coletas realizadas no Nordeste brasileiro, sendo parte dos acessos provenientes do Banco de Germoplasma da UFERSA e outros de regiões do Piauí. Algumas sementes foram adquiridas em mercados e feiras livres da região.

Tabela 1. Identificação, códigos e procedência geográfica dos acessos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) avaliados.

Código Local	Código Original	Origem	Origem Específica
GM02	55	UFERSA	São Tomé - RN
GM03	77	UFERSA	Itaú - RN
GM04	38	UFERSA	Currais Novos - RN
GM05	54	UFERSA	José da Penha - RN
GM06	43	UFERSA	São Tomé - RN
GM12	Santo Inácio	Piauí	Marrecas - PI
GM14	Jaquinha	Piauí	João Costa - PI
GM15	Vagem Roxa	Bahia	Filadelfia - BA
GM16	Rim de Porco	Piauí	Poço do Rego - PI
GM18	Feijão Amarelo	Bahia	Filadelfia - BA

UFERSA: Universidade Federal Rural do Semiárido; RN: Rio Grande do Norte; PI: Piauí; BA: Bahia; GM: identificação interna adotada para os genótipos no experimento; Código Original/Nome Popular: denominação local ou regional da cultivar.

As avaliações morfoagronômicas foram estruturadas cronologicamente ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura. O monitoramento do crescimento vegetativo temporal incluiu a contagem direta do número de nós por planta (NN) e do número de folhas por planta (NF) em duas épocas distintas, aos 23 e 37 dias após a semeadura (DAS). Paralelamente, a altura de plantas (AP, em cm) foi monitorada periodicamente no intervalo compreendido entre os 17 e 52 DAS, utilizando-se fita métrica graduada a partir da região do colo até o ápice do meristema apical da haste principal. Em relação aos caracteres estruturais e reprodutivos, determinou-se o diâmetro caulinar (DC, em mm) na região do colo com o auxílio de um paquímetro digital de precisão, enquanto o número de botões florais (BF) foi obtido por contagem direta do total de estruturas reprodutivas visíveis por parcela aos 37 DAS. Ao término do período experimental, realizou-se a colheita das plantas para a quantificação da área foliar (AF, em cm²), da massa fresca da parte aérea (MF, em g) e da massa seca da parte aérea (MS, em g), sendo esta última obtida após o acondicionamento do material vegetal em sacos de papel e secagem em estufa de circulação forçada de ar à temperatura de 65 °C até massa constante, com posterior pesagem em balança analítica de precisão.

Para a análise dos dados, inicialmente foram verificados os pressupostos estatísticos de normalidade dos resíduos e homocedasticidade das variâncias. Atendidas essas exigências, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F para o diagnóstico de efeitos significativos de caráter univariado. Para as variáveis discretas e contínuas avaliadas em época única, as médias dos

genótipos foram comparadas por meio do teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Para NN e NF, avaliados aos 23 e 37 DAS, adotou-se o esquema de parcelas subdivididas no tempo, considerando os genótipos nas parcelas e as épocas de avaliação nas subparcelas, sendo avaliados os efeitos de genótipo, época e da interação genótipo $\times$ época pelo teste F. Para a variável altura de plantas, avaliada continuamente no tempo (17 a 52 DAS), os dados foram agrupados em função da ausência de divergência estatística entre os materiais e ajustados a um modelo de regressão linear simples, adotando-se como critérios de escolha a significância dos coeficientes pelo teste F e a magnitude do coeficiente de determinação (R^2).

Adicionalmente, a dissimilaridade morfoagronômica entre os genótipos foi estimada a partir dos dados previamente padronizados, utilizando-se a distância euclidiana e o método de agrupamento hierárquico UPGMA. A representatividade do agrupamento foi avaliada pelo coeficiente de correlação cofenética (CCC). Complementarmente, realizou-se a Análise de Componentes Principais (PCA) fundamentada na matriz de correlação, sendo os resultados projetados em um gráfico bidimensional do tipo *biplot*. Todos os procedimentos estatísticos e a confecção dos gráficos foram executados utilizando o software R.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Desempenho Morfofisiológico e Acúmulo de Biomassa dos Genótipos

A análise de variância (ANOVA) revelou que o fator isolado genótipo exerceu efeito altamente significativo ($p < 0,01$) sobre o diâmetro do caule (DC) e efeito significativo ($p < 0,05$) sobre o número de botões florais (BF). Por outro lado, as variáveis área foliar (AF), massa fresca (MF) e massa seca da parte aérea (MS) não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre os materiais avaliados.

Para o número de nós (NN) e o número de folhas (NF), não foram observados efeitos significativos de genótipo nem da interação genótipo $\times$ DAS ($p > 0,05$). Entretanto, o fator DAS apresentou efeito altamente significativo ($p < 0,01$), evidenciando incremento desses caracteres entre as duas épocas de avaliação. O número médio de nós aumentou de 5,87 aos 23 DAS para 16,73 aos 37 DAS, enquanto o número médio de folhas passou de 4,95 para 18,11 folhas por planta no mesmo período. O número médio de nós aumentou de 5,87 para 16,73, representando incremento absoluto de 10,86 nós e taxa média de emissão de $0,775 \text{ nó dia}^{-1}$ no período avaliado. Esse avanço morfofisiológico foi acompanhado pelo desdobramento foliar, cuja média passou de 4,95 para 18,11 folhas por planta no mesmo intervalo de 14 dias, equivalente a uma taxa média de $0,94 \text{ folha dia}^{-1}$.

Tabela 2. Resumo da análise de variância, com os respectivos quadrados médios, médias gerais e coeficientes de variação (CV), para características morfológicas, fisiológicas, reprodutivas e de acúmulo de biomassa de genótipos de feijão-caupi.

FV	GL	AF	DC	BF	MF	MS	NN	NF
Blocos	2	432,78*	5,31*	55,43 ^{ns}	136712,04**	17,09 ^{ns}	12,81 ^{ns}	7,10 ^{ns}
Genótipo	9	124,56 ^{ns}	6,68**	53,37*	6758,53 ^{ns}	269,12 ^{ns}	9,38 ^{ns}	8,91 ^{ns}
Erro 1	18	103,37	1,20	19,88	7309,74	157,74	10,48	11,08
DAS	1	—	—	—	—	—	1768,01**	2600,42**
G x DAS	9	—	—	—	—	—	4,29 ^{ns}	4,43 ^{ns}
Erro 2	20	—	—	—	—	—	5,89	5,45
Média Geral	—	60,77	9,49	9,37	252,07	50,15	11,30	11,53
CV (%)	—	16,73%	11,52%	47,60%	33,92%	25,04%	28,64% / 21,48%	28,87% / 20,25%

FV: Fonte de Variação; GL: Graus de Liberdade; AF: Área Foliar (cm²); DC: Diâmetro do Caule (mm); BF: Número de Botões Florais; MF: Massa Fresca da Parte Aérea (g); MS: Massa Seca da Parte Aérea (g); NN: Número de Nós por Planta; NF: Número de Folhas por Planta; DAS: Dias Após a Semeadura; CV: Coeficiente de Variação Experimental. ns: não significativo; *: significativo a 5% de probabilidade ($p < 0,05$); **: significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$), pelo teste F. ¹ Para as variáveis NN e NF (avaliadas no esquema de parcelas subdivididas no tempo), os valores de CV correspondem, respectivamente, à Parcela (Erro 1) e à Subparcela (Erro 2).

A evolução conjunta dessas variáveis indica crescimento vegetativo vigoroso e aproximadamente linear entre as avaliações, com formação rápida da arquitetura básica do dossel durante a fase de transição vegetativo-reprodutiva no semiárido. Essa proximidade dos 37 DAS com o ápice do desenvolvimento estrutural é consistente com os registros de Loiola et al. (2022), que identificaram o início da antese em germoplasmas de caupi no semiárido a partir dos 38 DAS, caracterizando o limite dessa transição fenológica.

A estreita associação entre emissão de nós e incremento foliar é coerente com a dinâmica de expansão do dossel descrita por Craufurd et al. (1997) e com os modelos ecofisiológicos propostos por Hissene et al. (2016), nos quais o desenvolvimento da área foliar do feijão-caupi é descrito a partir da taxa de aparecimento de nós no caule principal e do filocrono. Assim, o aumento sincronizado no número de nós e folhas fornece evidência morfológica consistente de rápida estruturação do aparato fotossintético. Essa intensa atividade cinética e assimilatória observada no intervalo é respaldada por estudos clássicos de análise de crescimento na cultura, que apontam essa janela fenológica como a de maior expansão vegetativa ativa (San José et al., 2004). Além disso, a resposta média uniforme do germoplasma sugere estabilidade fenológica relativa entre os materiais avaliados nesse estágio inicial, indicando que a formação da estrutura vegetativa basal ocorreu de maneira equilibrada entre as cultivares estudadas.

Para as variáveis AF, MF e MS, a análise de variância não acusou efeito significativo para o fator

isolado genótipo (Tabela 2). Este comportamento homogêneo indica que, sob as condições ambientais e de manejo em que o ensaio foi conduzido, os dez materiais genéticos de feijão-caupi apresentaram desempenho estatisticamente semelhante quanto à expansão foliar e ao acúmulo de biomassa. Essa uniformidade sugere que, embora os materiais possuam divergências noutros caracteres estruturais e reprodutivos, os dados sugerem estabilidade relativa no acúmulo final de biomassa em todo o germoplasma avaliado, determinando as médias gerais de 60,77 cm² para AF, 252,07 g para MF e 50,15 g para MS.

O comportamento homogêneo observado para a AF e para a biomassa (MF e MS) indica uma semelhança geral no acúmulo de biomassa entre as cultivares. Contudo, a amostragem realizada na colheita final, ao término do ciclo da cultura, submete o material vegetal a variações naturais quanto ao seu estado fisiológico, desidratação e níveis de senescência foliar. Além disso, como o desenvolvimento da área foliar está diretamente associado à interceptação de radiação e à produção de matéria seca no feijão-caupi, pequenas oscilações no estágio de maturação e na persistência foliar podem alterar a expressão final dessas variáveis (Hissene et al., 2016).

Na tabela 1, o fator Bloco apresentou efeito altamente significativo para a massa fresca, confirmando a existência de fatores variantes entre as posições experimentais. Essas flutuações intrínsecas ao estado de maturação das plantas adultas nessa fase tardia refletem-se diretamente no alto CV apresentado por essas variáveis. Diante do efeito significativo verificado para o DC e para o BF, realizou-se o desdobramento dessas médias por meio do teste de Tukey, permitindo a caracterização individual do germoplasma (Tabela 3).

O desdobramento das médias revelou um comportamento heterogêneo entre os materiais para as duas características reprodutivas e de sustentação. Em relação ao DC, o genótipo GM05 destacou-se isoladamente com a maior média (13,15 mm), superando estatisticamente 80% do germoplasma avaliado. O acesso GM02 (10,30 mm) ocupa o grupo de sobreposição homogênea, compartilhando semelhança estatística tanto com o maior valor quanto com o bloco inferior. Os demais genótipos formaram um agrupamento homogêneo de menor diâmetro, com médias que variaram de 7,98 mm a 9,87 mm.

Fisiologicamente, o maior diâmetro caulinar do acesso GM05, bem como o desempenho intermediário do GM02, sugere maior robustez estrutural da haste, possivelmente associada ao maior investimento em tecidos de sustentação e condução. Essa característica é agronomicamente relevante para o feijão-caupi, pois caules mais espessos tendem a conferir maior resistência mecânica e menor predisposição ao acamamento ou tombamento no campo, especialmente em plantas herbáceas cultivadas sob condições de competição, adensamento ou elevada carga reprodutiva (Bezerra et al., 2012; Smitchger et al., 2020; Costa et al., 2023).

Tabela 3. Médias para diâmetro do caule (DC) e número de botões florais (BF) de dez genótipos de feijão-caupi submetidos ao teste de Tukey.

Genótipos	Médias	
	DC	BF
GM02	10,30 ab	16,00 a
GM03	9,54 b	2,67 b
GM04	9,87 b	14,00 ab
GM05	13,15 a	5,33 ab
GM06	9,35 b	12,33 ab
GM12	8,72 b	11,67 ab
GM14	8,69 b	10,67 ab
GM15	7,99 b	6,33 ab
GM16	9,33 b	7,67 ab
GM18	7,98 b	7,00 ab
Média Geral	9,49	9,37
CV (%)	11,52%	47,60%

DC: Diâmetro do Caule (mm); BF: Número de Botões Florais aos 37 DAS; CV: Coeficiente de Variação Experimental. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Além disso, considerando que o xilema e o floema constituem as bases anatômicas responsáveis pelo transporte de água, nutrientes minerais, fotoassimilados e sinais fisiológicos, o maior vigor caulinar pode indicar uma estrutura vegetativa mais favorável à integração funcional entre o sistema radicular, a parte aérea e os órgãos reprodutivos (Agustí & Blázquez, 2020).

Para o número de botões florais (BF), o teste de médias revelou uma acentuada homogeneidade estatística para a maior parte do germoplasma avaliado aos 37 DAS. Esse comportamento pode estar associado ao elevado CV (47,60%) verificado para esta variável discreta, o que torna o teste de médias mais conservador. A única divergência estatística significativa ($p < 0,05$) ocorreu estritamente entre os extremos: o genótipo GM02 (16,00 botões) superou significativamente apenas o genótipo GM03, que manifestou o desempenho reprodutivo mais tardio, registrando 2,67 botões por parcela. Os demais genótipos apresentaram um comportamento intermediário, exibindo uma sobreposição fenotípica que não permitiu diferenciá-los significativamente nem do material de maior precocidade (GM02) e nem do mais tardio (GM03).

Na cultura do feijão-caupi, caracteres ligados à contagem de estruturas reprodutivas iniciais são intrinsecamente discretos e exibem alta plasticidade fenotípica, respondendo de forma sensível a variações microclimáticas locais da parcela, como insolação direta e umidade relativa no dossel. Essa elevada flutuação biológica e sensibilidade de caracteres florais a estresses e oscilações do ambiente de cultivo no Semiárido encontram eco nos achados de Loiola et al. (2022), que evidenciam como o surgimento de estruturas reprodutivas no caupi é uma variável sensível à interação entre potencial

genotípico e condições ambientais.

A dinâmica observada para o GM02 e o GM03 possui implicações potenciais para o pré-melhoramento genético da cultura. O GM02 manifesta uma transição floral acelerada, apresentando antecipação da emissão de estruturas reprodutivas. Essa característica pode ser vantajosa para o Semiárido brasileiro, pois pode favorecer a antecipação da fertilização e o enchimento inicial de vagens antes da ocorrência de veranicos severos de final de ciclo. Conforme discutido por Loiola et al. (2022), a variabilidade no tempo de floração e no ciclo fenológico entre genótipos de feijão-caupi configura um mecanismo adaptativo essencial, em que materiais de comportamento precoce utilizam a estratégia de escape para garantir a integridade da produção de sementes antes do esgotamento completo dos recursos hídricos.

Por outro lado, o genótipo GM03 sugere maior permanência na fase vegetativa e o acúmulo de reservas estruturais, apresentando maior associação com caracteres vegetativos/biomassa que justifica seu comportamento como um material de ciclo tardio. Essa nítida discrepância entre os materiais contrastantes abre uma excelente janela de ganho para o pré-melhoramento, sugere potencial para hibridações controladas entre o GM02 e o GM03. Essa estratégia busca a complementaridade de caracteres, visando transferir a precocidade de emissão floral do GM02 para uma base genética dotada do elevado vigor e sustentação vegetal característicos do GM03.

Para a variável altura de plantas, a ausência de divergência significativa entre os genótipos determinou o agrupamento dos dados para o ajuste de um modelo de regressão geral em função do tempo (Figura 1). O crescimento em estatura ajustou-se adequadamente ao modelo de regressão linear simples ($R^2 = 0,8852$):

$$\widehat{\text{Altura}} = 4,18 + 0,87 \cdot \text{DAS}$$

O coeficiente angular da equação ($b = 0,87$) demonstra que a cultura apresentou uma taxa de crescimento constante de aproximadamente $0,87 \text{ cm dia}^{-1}$ durante o intervalo monitorado (17 aos 52 DAS). Esse comportamento indica manutenção da elongação caulinar durante a fase vegetativa e início da transição reprodutiva, sem evidência de desaceleração acentuada no intervalo avaliado. Taxas dessa magnitude são compatíveis com o padrão de crescimento da espécie, cuja altura pode variar amplamente conforme genótipo, densidade de plantas, disponibilidade hídrica, salinidade e manejo nutricional. Estudos com avaliações seriadas demonstram que a cultura apresenta incremento expressivo em altura entre 30 e 60 DAS, podendo atingir valores próximos ou superiores a 50 cm nesse período sob condições favoráveis de cultivo (El Naim et al., 2011; Brito et al., 2015; Poudel et al., 2024).

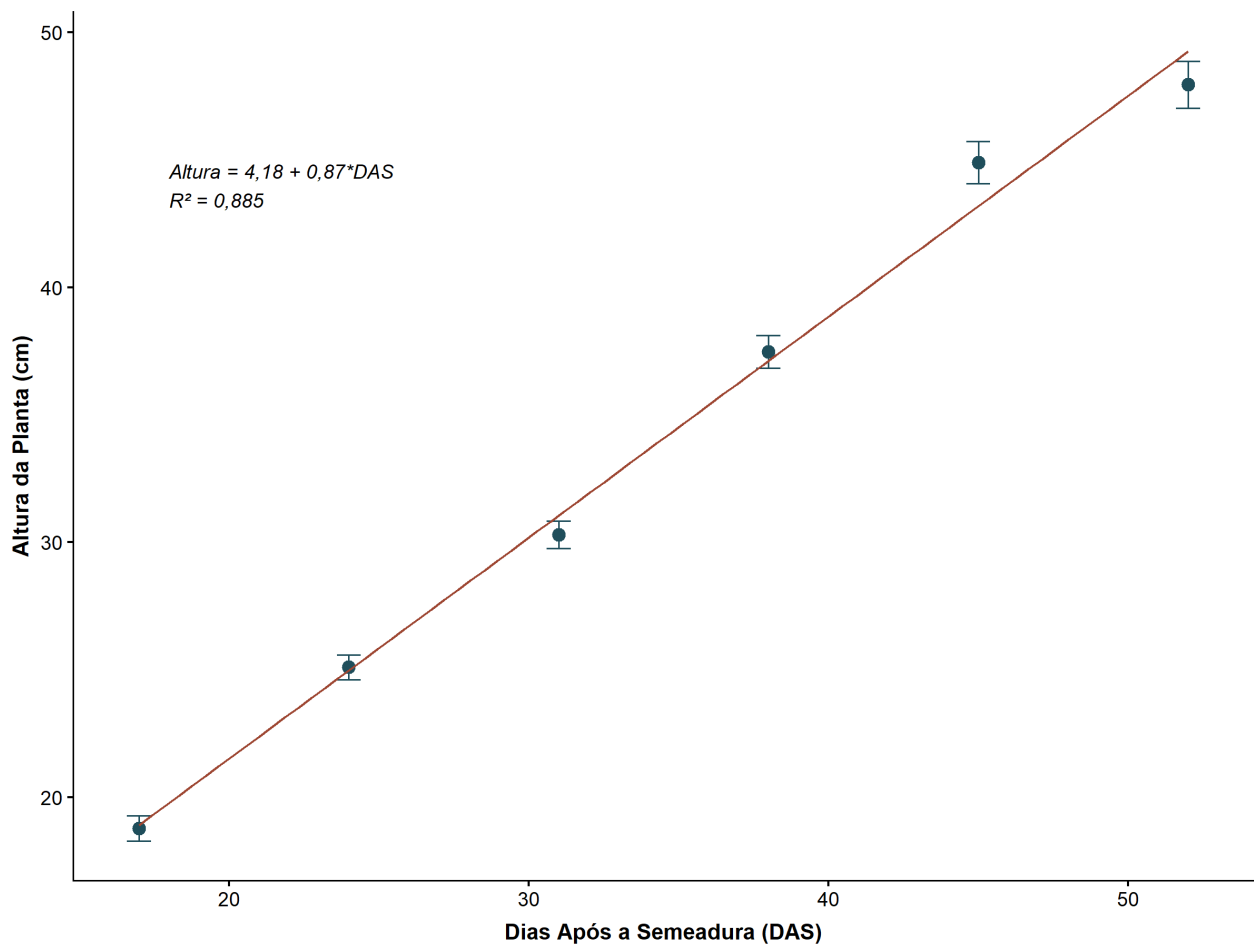


Figura 1. Curva de crescimento em altura (cm) de plantas de feijão-caupi em função dos dias após a semeadura (DAS). Os pontos representam as médias observadas no campo, as barras verticais indicam o erro padrão da média e a linha contínua expressa a tendência ajustada pelo modelo de regressão linear.

No Semiárido brasileiro, a altura de plantas também se mostra responsiva ao arranjo populacional, reforçando que a alongação caulinar é uma variável fortemente modulada pelo ambiente de cultivo e pela competição intraespecífica (Rocha et al., 2019).

Caracterização Multivariada e Divergência Genética do Germoplasma

A análise multivariada evidenciou estrutura de diferenciação entre os genótipos, com formação de dois grupos pelo método UPGMA, sendo o GM03 isolado dos demais materiais no ponto de corte adotado (Figura 2). A separação de genótipos em grupos contrastantes a partir de caracteres morfoagronômicos é recorrente em feijão-caupi, embora o número e a composição desses grupos dependam do conjunto de caracteres e das condições de avaliação.

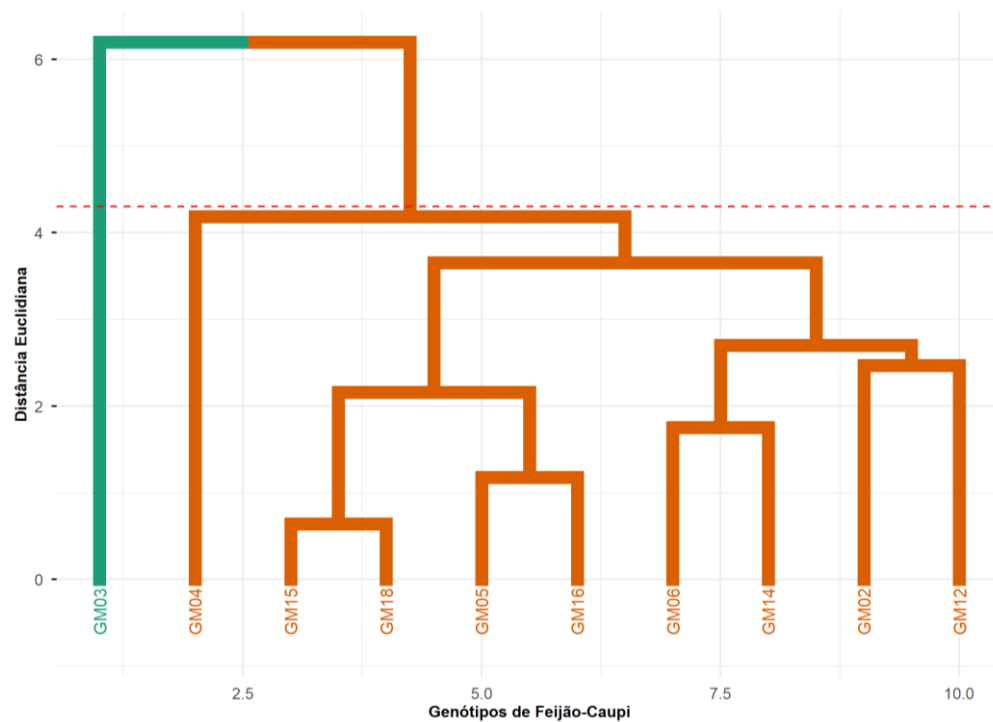


Figura 2. Dendrograma de dissimilaridade genética entre dez genótipos de feijão-caupi, obtido pelo método de agrupamento UPGMA, baseado na distância euclidiana média a partir de nove variáveis morfoagronômicas. A linha horizontal tracejada estabelece o limite de corte fenonitético adotado (Distância = 4,3) para a separação clara dos dois grupos distintos. CCC: Coeficiente de Correlação Cofenética ($r = 0,71$).

Para evidenciar isso, Torres Filho et al. (2018) verificaram que 23 genótipos formaram quatro grupos em uma época de cultivo e apenas dois em outra, chegando a seis grupos na análise conjunta, demonstrando a influência do ambiente sobre a estrutura de dissimilaridade. Mais recentemente, Silva et al. (2026) também observaram genótipos isolados em grupos exclusivos pelo UPGMA, indicando que determinados materiais podem apresentar combinações fenotípicas suficientemente contrastantes para se distanciarem do restante do germoplasma. Assim, o isolamento do GM03 deve ser interpretado como expressão de um perfil morfoagronômico particular nas condições deste experimento, e não como evidência isolada de superioridade do material.

Os dois primeiros componentes principais explicaram conjuntamente 70,83% da variação total, sendo 51,58% atribuídos ao PC1 e 19,25% ao PC2 (Figura 3). Essa concentração da variação nos dois primeiros eixos foi superior à observada por Sousa et al. (2015), que obtiveram 61,60% ao avaliar progêies de feijão-caupi sob déficit hídrico, por Nkhoma et al. (2020), cujos dois primeiros componentes reuniram 52,46% da variação de oito caracteres agronômicos, e por Chipeta et al. (2025), que encontraram 63,6% nos dois primeiros componentes em uma coleção de 306 genótipos. Embora a comparação direta entre percentuais deva considerar diferenças no germoplasma e nas variáveis utilizadas, o valor obtido neste estudo demonstra que os dois primeiros eixos sintetizaram

parcela expressiva da variação existente entre os materiais, permitindo uma representação relativamente concentrada de seus contrastes morfoagronômicos.

A posição destacada do GM03 no dendrograma foi coerente com seu afastamento no biplot, no qual esse genótipo, juntamente com o GM16, mostrou maior associação com massa fresca e massa seca. A participação de caracteres relacionados à biomassa na diferenciação de genótipos de feijão-caupi também foi demonstrada por Silva et al. (2026), sob a condição térmica de referência, massa seca foliar e massa seca do caule estiveram entre os principais componentes da dissimilaridade, enquanto, sob temperaturas mais elevadas, massa fresca do caule e massa seca foliar responderam por parcela importante da diferenciação entre materiais. Esses resultados corroboram a capacidade de caracteres relacionados ao acúmulo de matéria vegetal em discriminar perfis morfoagronômicos de feijão-caupi. Entretanto, no presente estudo, MF e MS não apresentaram efeito significativo de genótipo na análise univariada. Portanto, a proximidade dos vetores com GM03 e GM16 deve ser interpretada como uma associação na estrutura multivariada, e não como evidência de superioridade estatística desses genótipos para produção de biomassa.

A diferenciação dos demais materiais esteve relacionada principalmente a caracteres vegetativos e ao avanço reprodutivo. GM02 e GM06 apresentaram maior associação com número de nós e folhas nas duas épocas de avaliação, enquanto GM04 se posicionou na direção dos vetores de área foliar e botões florais. A importância dos caracteres fenológicos na estruturação da diversidade do feijão-caupi é consistente com resultados anteriores. Sousa et al. (2015) observaram que floração e maturação constituíram os principais caracteres associados ao segundo componente principal, enquanto Nkhoma et al. (2020) também identificaram dias para florescimento e maturidade como as variáveis de maior peso no PC2. Em conjunto mais amplo de germoplasma, Chipeta et al. (2025) verificaram participação dos dias para 50% de florescimento e para 90% de maturidade na formação dos componentes responsáveis pela maior parcela da variação fenotípica. No Brasil, Santana et al. (2019) igualmente identificaram o início do florescimento entre os caracteres que mais contribuíram para a divergência entre 30 genótipos de feijão-caupi. Dessa forma, a associação de GM04 com a emissão de botões florais e o comportamento reprodutivo contrastante anteriormente observado entre GM02 e GM03 reforçam a relevância da fenologia para a diferenciação desses materiais.

A contribuição relativamente pequena do diâmetro do caule para os dois primeiros componentes, indicada pelo vetor curto e próximo à origem no biplot, contrasta com sua capacidade de discriminação na análise univariada, na qual houve efeito altamente significativo de genótipo e destaque para GM05.

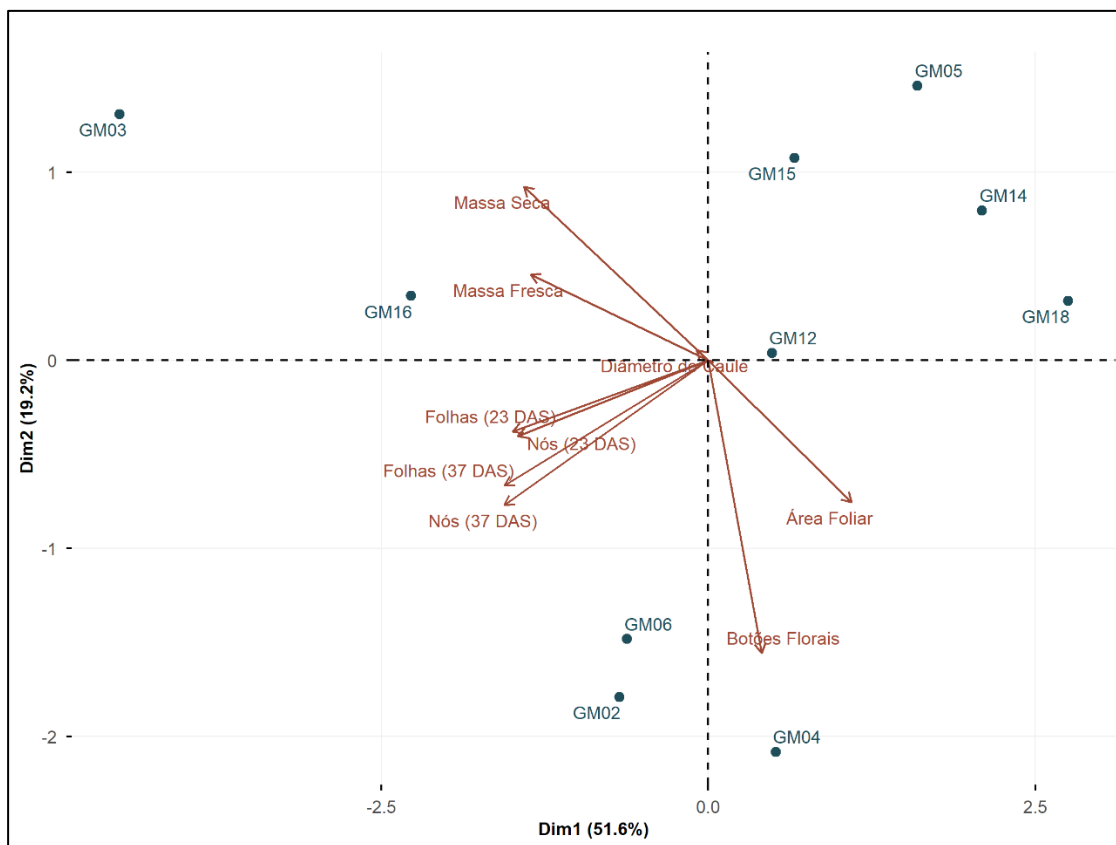


Figura 3. Gráfico de dispersão bidimensional (Biplot) da Análise de Componentes Principais (PCA) para os dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2), relacionando dez genótipos de feijão-caupi (pontos em azul) e nove variáveis morfoagronômicas (vetores em vermelho).

Embora o DC tenha discriminado os genótipos na análise univariada, sua menor representação nas duas primeiras dimensões da PCA evidencia que esse caráter teve participação limitada na diferenciação multivariada dos materiais nesses eixos. Resultado semelhante quanto à contribuição desigual dos descritores é observado em estudos de diversidade de feijão-caupi. Santana et al. (2019), por exemplo, verificaram que apenas parte dos caracteres avaliados, especialmente peso e comprimento de vagens, início do florescimento, peso de cem grãos e número de vagens por planta concentrou maior contribuição para a divergência. Silva et al. (2026) também demonstraram que a importância relativa do diâmetro do caule foi inferior à de vários caracteres vegetativos e produtivos, correspondendo a apenas 4,03% e 4,79% da dissimilaridade nos dois regimes térmicos avaliados. A concordância entre o isolamento do GM03 pelo agrupamento hierárquico e seu posicionamento extremo na PCA reforça sua condição de material morfoagronomicamente contrastante dentro do conjunto estudado. Ao mesmo tempo, GM02 apresentou maior associação com o desenvolvimento vegetativo e maior emissão floral aos 37 DAS, GM04 mostrou maior associação conjunta com área foliar e estruturas reprodutivas, e GM05 apresentou destaque específico para DC.

Essa complementaridade pode ser relevante para a escolha de genitores, mas a divergência, isoladamente, não deve ser utilizada como critério suficiente para recomendar cruzamentos. Passos et al. (2007) e Santana et al. (2019) empregaram a divergência conjuntamente com o desempenho agrônomo para indicar combinações parentais em feijão-caupi, buscando reunir distância entre os materiais e caracteres de interesse. Nesse sentido, GM02, GM03 e GM05 constituem materiais de interesse para etapas posteriores de pré-melhoramento, nas quais a divergência observada poderá ser integrada a caracteres produtivos e adaptativos para definir combinações parentais mais promissoras.

CONCLUSÕES

Foi observada divergência morfoagronômica entre os dez genótipos de feijão-caupi avaliados. Na análise univariada, o DC e o BF foram os caracteres que apresentaram diferenças significativas entre os genótipos, enquanto a análise multivariada evidenciou perfis contrastantes entre os materiais avaliados.

Os genótipos GM02, GM03 e GM05 destacaram-se por apresentarem características morfoagronômicas complementares, com potencial de utilização em etapas posteriores de pré-melhoramento. Esses materiais poderão subsidiar estratégias de seleção e cruzamentos visando ao desenvolvimento de cultivares mais adaptadas às condições do Semiárido brasileiro e às demandas da agricultura familiar.

REFERÊNCIAS

- AGUSTÍ, J.; BLÁZQUEZ, M. A. Plant vascular development: mechanisms and environmental regulation. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v. 77, p. 3711–3728, 2020. DOI: 10.1007/s00018-020-03496-w.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; BARROS, A. H. C.; SILVA, C. O.; GOMES, A. A. N. **Classificação climática do Estado do Piauí**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2004. 86 p. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 86).
- ARAÚJO, M. S.; SANTOS, S. P.; ARAGÃO, W. F. L.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; ROCHA, M. M. Selection of superior cowpea lines for multi-traits and adaptabilities to the Piauí semi-arid using genotype-by-yield trait biplot analysis. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 45, e011921, 2021. DOI: 10.1590/1413-7054202145011921.
- BECKER, J. N.; GROZINGER, J.; SARKAR, A.; REINHOLD-HUREK, B.; ESCHENBACH, A. Effects of cowpea (*Vigna unguiculata*) inoculation on nodule development and rhizosphere carbon and nitrogen content under simulated drought. **Plant and Soil**, v. 500, p. 33–51, 2024. DOI: 10.1007/s11104-023-06051-1.
- BEZERRA, A. A. C.; ALCÂNTARA NETO, F.; NEVES, A. C.; MAGGIONI, K. Comportamento morfoagronômico de feijão-caupi, cv. BRS Guariba, sob diferentes densidades de plantas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 55, n. 3, p. 184–189, 2012. DOI: 10.4322/rca.2012.059.
- BISHT, D.; KUMAR, N.; SINGH, Y.; MALIK, R.; DJALOVIC, I.; DHAKA, N. S.; PAL, N.; BALYAN, P.; MIR, R. R.; SINGH, V. K.; DHANKHER, O. P.; KUMAR, U.; KUMAR, S. Effect of stem structural characteristics and cell wall components related to stem lodging resistance in a newly identified mutant of hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.). **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 1067063, 2022. DOI: 10.3389/fpls.2022.1067063.
- BRITO, K. Q. D.; NASCIMENTO, R.; SANTOS, J. E. A.; SOUZA, F. G.; SILVA, I. A. C. Crescimento de genótipos de feijão-caupi irrigados com água salina. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 5, p. 16–21, 2015. DOI: 10.18378/rvads.v10i5.3622.
- CAVALCANTE, I. E.; MELO, A. S.; FERRAZ, R. L. S.; ALENCAR, R. S.; DIAS, G. F.; VIANA, P. M. O.; ROCHA, M. M.; NDHLALA, A. R.; SÁ, F. V. S.; LACERDA, C. F.; VIÉGAS, P. R. A. Salicylic acid improves cowpea productivity under water restriction in the field by modulating metabolism. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, 1415682, 2024. DOI: 10.3389/fpls.2024.1415682.
- CHIPETA, M. M.; KAFWAMBIRA, J.; YOHANE, E. Cowpea genetic diversity, population structure and genome-wide association studies in Malawi: insights for breeding programs. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, 1461631, 2025. DOI: 10.3389/fpls.2024.1461631.
- COSTA, K. S. Q.; OLIVEIRA, C. F.; MELO, M. P.; LIMA, H. C.; FERREIRA, R. L. C.; MELO, N. C.; MORAES, F. K. C.; CRUZ, F. J. R.; SOUZA, L. C.; NASCIMENTO, V. R. Growth and production of cowpea beans under potassium doses in soil of cerrado in Amapá, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, e273777, 2023. DOI: 10.1590/1519-6984.273777.

- CRAUFURD, P. Q.; SUBEDI, M.; SUMMERFIELD, R. J. Leaf appearance in cowpea: effects of temperature and photoperiod. **Crop Science**, v. 37, n. 1, p. 167–171, 1997. DOI: 10.2135/cropsci1997.0011183X003700010029x.
- DIAS, F. T. C.; SILVA, A. P. M.; BERTINI, C. H. C. M. Genetic divergence in cowpea genotypes with upright growth and early cycle. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 9, n. 3, p. 253–259, 2009.
- EL NAIM, A. M.; JABERELDAR, A. A.; MOHAMED, E. A. Effect of seed rate and varieties on vegetative growth attributes of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) under rain-fed conditions in Sudan. **Asian Journal of Science and Technology**, v. 2, n. 3, p. 22–26, 2011.
- HISSENE, H. M.; VADEZ, V.; MICHELANGELI, J. C.; HALILOU, O.; NDOYE, I.; SOLTANI, A.; SINCLAIR, T. R. Quantifying leaf area development parameters for cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp]. **Crop Science**, v. 56, n. 6, p. 3209–3217, 2016. DOI: 10.2135/cropsci2016.02.0132.
- KIM, D.-K.; OCHAR, K.; IWAR, K.; HA, B.-K.; KIM, S.-H. Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) production, genetic resources, and strategic breeding priorities for sustainable food security: a review. **Frontiers in Plant Science**, v. 16, 1562142, 2025. DOI: 10.3389/fpls.2025.1562142.
- LI, Q.; FU, C.; LIANG, C.; NI, X.; ZHAO, X.; CHEN, M.; OU, L. Crop lodging and the roles of lignin, cellulose, and hemicellulose in lodging resistance. **Agronomy**, v. 12, n. 8, 1795, 2022. DOI: 10.3390/agronomy12081795.
- LOIOLA, A. T.; SÁ, F. V. S.; FERREIRA NETO, M.; TORRES, S. B.; PRAXEDES, S. S. C.; REGES, L. B. L.; OLIVEIRA, R. R.; ALVES, T. R. C. Phenology and production of traditional seeds of cowpea irrigated with saline water. **Revista Ciência Agronômica**, v. 53, e20217962, 2022. DOI: 10.5935/1806-6690.20220050.
- LOPES, A. F. S.; ARAGÃO, W. F. L.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; ROCHA, M. M. Selection of superior cowpea lines derived from local cultivars for the Brazilian semiarid region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 58, e03391, 2023. DOI: 10.1590/S1678-3921.pab2023.v58.03391.
- NKHOMA, N.; SHIMELIS, H.; LAING, M. D.; SHAYANOWAKO, A.; MATHEW, I. Assessing the genetic diversity of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] germplasm collections using phenotypic traits and SNP markers. **BMC Genetics**, v. 21, art. 110, 2020. DOI: 10.1186/s12863-020-00914-7.
- NUNES, C.; MOREIRA, R.; PAIS, I.; SEMEDO, J.; SIMÕES, F.; VELOSO, M. M.; SCOTTI-CAMPOS, P. Cowpea physiological responses to terminal drought: comparison between four landraces and a commercial variety. **Plants**, v. 11, n. 5, 593, 2022. DOI: 10.3390/plants11050593.
- PABUAYON, I. L. B.; BICALDO, J. J. B.; ALEMAR, Z. A.; PABUAYON, I. C. M.; RITCHIE, G. L. Dynamics of source-sink relationships in crops under marginal environments. **Current Plant Biology**, v. 44, 100563, 2025. DOI: 10.1016/j.cpb.2025.100563.
- PASSOS, A. R.; SILVA, S. A.; CRUZ, P. J.; ROCHA, M. M.; CRUZ, E. M. O.; ROCHA, M. A. C.; BAHIA, H. F.; SALDANHA, R. B. Divergência genética em feijão-caupi. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 579–586, 2007. DOI: 10.1590/S0006-87052007000400007.

POUDEL, B.; CHAUDHARY, G.; BHATT, A.; NEUPANE, S. Effect of spacing and different levels of phosphorus on growth and yield of Malepatan-1 variety of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in Dang District, Nepal. **Advances in Agriculture**, v. 2024, Article ID 9394237, 2024. DOI: 10.1155/2024/9394237.

RAMOLEKWA, K.; PHOLO-TAIT, M.; PARKER, T.; MALAMBANE, G.; NGWAKO, S.; LEKGARI, L. Estimating genetic variability and heritability of morpho-agronomic traits of M5 cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) mutant lines. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 26, n. 15, 7543, 2025. DOI: 10.3390/ijms26157543.

RIBEIRO, H. L. C.; BOITEUX, L. S.; SANTOS, C. A. F. Genetic parameters of earliness and plant architecture traits suitable for mechanical harvesting of cowpea (*Vigna unguiculata*). **Australian Journal of Crop Science**, v. 8, n. 8, p. 1232–1238, 2014.

ROCHA, D. F.; OLIVEIRA, G. M.; ALMEIDA, L. R. C.; PEREIRA, A. V. A.; SANTOS, G. V. S. Desempenho do feijão-caupi a densidades de plantas na região Norte da Bahia. **Agropecuária Técnica**, v. 40, n. 3–4, p. 48–54, 2019. DOI: 10.25066/agrotec.v40i3-4.45554.

ROLIM, R. R.; NASCIMENTO, N. F. F.; NASCIMENTO, M. F.; ARAÚJO, H. F. P. Genotype x environment interaction and stability in landraces of cowpea under dryland conditions. **Revista Caatinga**, v. 36, n. 2, p. 339–348, 2023. DOI: 10.1590/1983-21252023v36n211rc.

SAN JOSÉ, J. J.; MONTES, R. A.; NIKONOVA, N.; VALLADARES, N.; BUENDIA, C.; MALAVE, V.; BRACHO, R. Dry-matter partitioning and radiation-use efficiency in cowpea cultivars (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. cvs TC-9-6 and M-28-6-6) during consecutive seasonal courses in the Orinoco llanos. **The Journal of Agricultural Science**, v. 142, n. 2, p. 163–175, 2004. DOI: 10.1017/S0021859604003922.

SANTANA, S. R. A.; MEDEIROS, J. E.; ANUNCIAÇÃO FILHO, C. J.; SILVA, J. W.; COSTA, A. F.; BASTOS, G. Q. Divergência genética entre genótipos de feijão-caupi por caracteres morfoagronômicos. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 3, p. 841–850, 2019. DOI: 10.1590/1983-21252019v32n329rc.

SANTOS, J. L. C.; LEITE, W. S.; SOUSA, A. V. A. R.; LIMA, W. R.; DINIZ, F. O.; LIMA, G. N. Genetic diversity and importance of agronomic traits in cowpea genotypes in conditions of low technological level in Piauí. **Revista Ceres**, v. 70, n. 6, p. 1–9, 2023. DOI: 10.1590/0034-737X202370060005.

SHEVKANI, K.; SHIVANI, B.; DHAKA, S. S.; PATIL, C. Cowpeas for sustainable agriculture and nutrition security: an overview of their nutritional quality and agro-economic advantages. **Discover Food**, v. 5, 109, 2025. DOI: 10.1007/s44187-025-00382-x.

SILVA, W. O. da; NASCIMENTO, T. L. do; PEREIRA NETO, W.; SILVA, J. L. da; SANTOS, C. B. dos; LUZ, T. A.; NASCIMENTO, L. A. do; ROCHA, M. M.; MELO, N. F. de; ANGELOTTI, F. Genetic diversity and morpho-agronomic characterization of *Vigna unguiculata* (L.) Walp genotypes under heat stress. **Agronomy**, v. 16, n. 3, 312, 2026. DOI: 10.3390/agronomy16030312.

SMITCHGER, J. A.; WEEDEN, N.; AKIN, I.; WARKENTIN, T. Stress equation for a cantilever beam: a model of lodging resistance in field pea. **International Agrophysics**, v. 34, n. 2, p. 213–222,

2020. DOI: 10.31545/intagr/118318.

SMITH, M. R.; RAO, I. M.; MERCHANT, A. Source-sink relationships in crop plants and their influence on yield development and nutritional quality. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, 1889, 2018. DOI: 10.3389/fpls.2018.01889.

SOUSA, C. C.; DAMASCENO-SILVA, K. J.; BASTOS, E. A.; ROCHA, M. M. Selection of cowpea progenies with enhanced drought-tolerance traits using principal component analysis. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, n. 4, p. 15981–15987, 2015. DOI: 10.4238/2015.December.7.10.

SOUZA, T. M. A.; SOUTO, L. S.; DUTRA FILHO, J. A.; SANTOS, C. S. A.; SILVA, L. A.; PEIXOTO, T. D. C.; SÁ, F. V. S. Cowpea growth and production under water stress and soil mulching. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 28, n. 3, e271643, 2024. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v28n3e271643.

TORRES FILHO, J.; OLIVEIRA, C. N. G. S.; SILVEIRA, L. M.; NUNES, G. H. S.; PEREIRA, C. C. A.; SILVA, A. E. A. Genetic divergence among cowpea genotypes based on characters associated with the green pod and grain market. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 56–63, 2018.