

Acúmulo de biomassa e produtividade de cultivares de feijoeiro**Biomass accumulation and productivity of common bean cultivars**

Cleber Moraes GUIMARÃES¹; Luís Fernando STONE²; Pedro Henrique Lopes SARMENTO³; Leonardo Cunha MELO⁴; Palloma Brenda Almeida de BARROS⁵

¹ Engenheiro-Agrônomo, Doutor, Embrapa Arroz e Feijão, e-mail: cleber.guimaraes@embrapa.br

² Autor para correspondência, Engenheiro-Agrônomo, Doutor, Embrapa Arroz e Feijão, GO 462, km 12, Santo Antônio de Goiás/GO- CEP 75375-000, e-mail: luís.stone@embrapa.br

³ Engenheiro-Agrônomo, Mestre, Embrapa Arroz e Feijão, e-mail: pedro.sarmento@embrapa.br

⁴ Engenheiro-Agrônomo, Doutor, Embrapa Arroz e Feijão, e-mail: leonardo.melo@embrapa.br

⁵ Bióloga, B.S., Universidade Estácio de Sá, e-mail: pallmabarrosrk15@gmail.com

Recebido em: 29-09-2023; Aceito em: 04-06-2025

Resumo

A determinação do acúmulo de biomassa seca total da planta e de suas partes ao longo do ciclo pode ser utilizada para verificar o potencial produtivo de genótipos de feijoeiro. O objetivo do trabalho foi determinar a influência do acúmulo de biomassa da parte aérea na produtividade de cultivares de feijoeiro. Foram avaliadas, sob irrigação, sete cultivares, BRS FC414, BRS FC415, BRS FC423, BRS FC402, BRS FC416, BRSMG Amuleto e BRSMG Uai, no delineamento de blocos casualizados com quatro repetições, na safra de inverno de 2022, em Santo Antônio de Goiás, GO. Conduziu-se análise de crescimento ao longo do ciclo e quantificou-se a produtividade de grãos e o índice de colheita. As cultivares foram agrupadas em quadrantes, por meio de diagrama de dispersão, de acordo com a produtividade de grãos e a biomassa da parte aérea, e classificadas como mais ou menos produtivas. As cultivares mais produtivas acumularam maior biomassa na parte aérea e desenvolveram maior área foliar durante todo o ciclo do feijoeiro. Considerando-se a relação produtividade de grão e índice de colheita, as cultivares BRS FC416 e BRSMG Amuleto foram as mais eficientes na alocação de fotossintatos nos grãos e as cultivares BRS FC414 e BRSMG Uai foram as menos eficientes. Conclui-se que o acúmulo de biomassa da parte aérea e a manutenção de área foliar elevada ao longo do ciclo são fatores determinantes para maior produtividade de grãos e podem ser utilizados como critério auxiliar na seleção de cultivares de feijoeiro com maior potencial produtivo.

Palavras-chave adicionais: análise de crescimento; eficiência produtiva; índice de área foliar; *Phaseolus vulgaris* L.

Abstract

The determination of the total dry biomass accumulation of the plant and its parts throughout the cycle can be used to verify the productive potential of common bean genotypes. The objective of this work was to determine the influence of the accumulation of shoot biomass on the productivity of common bean cultivars. Seven cultivars were evaluated under irrigation, BRS FC414, BRS FC415, BRS FC423, BRS FC402, BRS FC416, BRSMG Amuleto, and BRSMG Uai, in a randomized block design with four replications, in the 2022 winter season, in Santo Antônio de Goiás, GO. Growth analysis was carried out throughout the cycle and grain yield and harvest index were quantified. Cultivars were clustered into quadrants according to grain yield and shoot biomass, using a scatterplot, and classified as more or less productive. The most productive cultivars accumulated a greater amount of shoot biomass and developed greater leaf area throughout the common bean cycle. Considering the relationship between grain yield and harvest index, the cultivars BRS FC416 and BRSMG Amuleto were the most efficient in allocating photosynthates to grains, while the cultivars BRS FC414 and BRSMG Uai were the least efficient. It is concluded that shoot biomass accumulation and the maintenance of a high leaf area throughout the growth cycle are key factors for higher grain yield and can be used as auxiliary criteria in the selection of common bean cultivars with higher productive potential.

Additional keywords: growth analysis; productive efficiency; leaf area index; *Phaseolus vulgaris* L.

Introdução

Em razão da plasticidade morfológica do feijoeiro, a sua produtividade, tanto de biomassa como de grãos, varia substancialmente com o ambiente (Guimarães et al., 2020).

A análise de crescimento pode ser empregada na avaliação da divergência fenotípica e da capacidade produtiva das cultivares frente aos fatores ambientais e de manejo, pois descreve as mudanças na produção vegetal em função do tempo, bem como a contribuição dos diversos órgãos no crescimento total das plantas, o que não é possível com o simples registro da produtividade final (Santos et al., 2015).

A determinação do acúmulo de biomassa seca total da planta e de suas partes ao longo do ciclo pode ser utilizada para verificar a adaptação da cultura a novos ambientes, competição interespecífica, efeitos do sistema de manejo e potencial produtivo de diferentes genótipos (Nascente et al., 2016). Nesse sentido, a determinação da biomassa do feijoeiro tem sido utilizada para vários propósitos, como avaliar o crescimento e absorção de nutrientes nos componentes e parte aérea (Pegoraro et al., 2014), a resposta a

níveis de adubação (Santos et al., 2015), o desenvolvimento e o acúmulo de nutrientes em genótipos superprecoces (Nascente et al., 2016), a resposta à deficiência hídrica (Polania et al., 2016; Sofi et al., 2017) e os efeitos de baixas doses de glifosato e épocas de semeadura no crescimento de cultivar de ciclo precoce (Bortolheiro et al., 2021).

A biomassa e a área foliar em um determinado momento são informações acumulativas, pois refletem a influência de uma série de fatores que atuaram sobre a planta naquele intervalo de tempo. Há de se considerar também que cultivares com ciclo de desenvolvimento similares, nas mesmas condições ambientais, podem apresentar biomassa e área foliar diferentes, por serem características genéticas da planta. Essas características, relacionadas com a capacidade de fotossintetização da planta, correlacionam-se com a sua capacidade de produção de grãos. Assefa et al. (2015) e Leal et al. (2019) relataram correlação linear positiva entre biomassa da parte aérea e produtividade de grãos do feijoeiro, sugerindo que os genótipos mais produtivos tiveram capacidade superior de remobilização dos fotossintatos armazenados em estruturas vegetativas para partes reprodutivas. Assim, a biomassa da parte aérea pode ser um dos critérios de seleção para melhorar a produtividade de grãos em um programa de melhoramento.

As folhas são as principais responsáveis pela captação de energia solar e sua subsequente transformação em matéria seca, por meio da fotossíntese (Portes et al., 2022). Assim, ao se conhecer a superfície foliar e a alteração da biomassa acumulada da planta durante determinado período de tempo, torna-se possível avaliar a eficiência das folhas e sua contribuição para o crescimento da planta como um todo. Nesse sentido, Santana et al. (2016) constataram que o índice de área foliar (IAF) e a biomassa das folhas apresentaram correlação positiva com a produtividade de grãos do feijoeiro. Contudo, a produtividade aumenta até um ponto ótimo de IAF, quando decresce em função do aumento do autossombreamento e as folhas deixam de exercerem a função de fonte e passam a ser dreno.

Considerando que o acúmulo biomassa e sua distribuição na planta são processos importantes na definição da produtividade final da cultura, este trabalho teve por objetivo determinar a influência do acúmulo de biomassa da parte aérea na produtividade de cultivares de feijoeiro.

Material e métodos

O estudo foi conduzido em condições de campo, na época de inverno do ano agrícola de 2022, na área experimental da Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás, GO, de coordenadas geográficas 16° 28' de latitude Sul, 49° 17' de longitude Oeste e altitude de 823,77 m, em sua estação

agroclimática. O solo é classificado como Latossolo Vermelho ácrico, de textura argilosa (Santos et al., 2018). A análise química inicial do solo apresentou, na camada de 0 - 20 cm de profundidade, os seguintes resultados: pH (CaCl₂) = 5,2; Ca = 2,9 cmol_c dm⁻³; Mg = 1,0 cmol_c dm⁻³; Al = 0 cmol_c dm⁻³; P (Melich) = 12 mg dm⁻³; K = 37,7 mg dm⁻³; Cu = 1,9 mg dm⁻³; S = 5,0 mg dm⁻³; Zn = 5,8 mg dm⁻³; Fe = 38,5 mg dm⁻³; Mn = 19,9 mg dm⁻³; B = 0,28 mg dm⁻³ e MO = 23,0 g dm⁻³.

Avaliaram-se sete cultivares lançadas pela Embrapa Arroz e Feijão e suas parceiras, BRS FC414, BRS FC415, BRS FC423, BRS FC402, BRS FC416, BRSMG Amuleto e BRSMG Uai, no delineamento de blocos casualizados com quatro repetições. As cultivares foram conduzidas sob irrigação por pivô central, em sistema plantio direto sobre palhada de soja, no espaçamento de 0,50 m entre fileiras, com 10 sementes por metro. Antes da semeadura, foram aplicados a lanço 72 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de cloreto de potássio, e 200 kg ha⁻¹ de gesso. A adubação de base foi feita com 135 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 25 kg ha⁻¹ de N, na forma de fosfato monoamônico e, em cobertura, em V4 (plantas com três trifólios completamente abertos), aplicaram-se 90 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia. A adubação foi baseada na análise química do solo e nas recomendações de Sousa & Lobato (2004). Os tratos agronômicos, como controle de plantas daninhas, insetos-pragas e doenças foram aqueles recomendados para a cultura (Carneiro et al., 2015).

Para avaliação do índice de área foliar (IAF) e da biomassa das folhas e total (parte aérea), foram coletadas, ao longo do ciclo das cultivares, três plantas por tratamento em cada repetição, e contado o número de plantas em um metro (NP). O IAF foi obtido pela multiplicação da área foliar, média das três plantas, em m², pelo número de plantas por m². Esse último valor foi obtido pela divisão de NP pelo espaçamento entre fileiras. Da forma similar, as biomassas, em kg m⁻², foram determinadas multiplicando-se a média das três plantas pelo número de plantas por m².

As amostragens foram feitas nos estádios fenológicos V3 (surgimento do primeiro trifólio, aos 16, 22 e 29 dias após a emergência - DAE), V4, aos 36 DAE, R5 (surgimento dos primeiros botões florais, aos 43 DAE), R6 (50% das flores abertas, aos 50 DAE), R7 (formação das primeiras vagens, aos 57 DAE) e R8 (enchimento das vagens, aos 64, 71 e 78 DAE). A área foliar foi medida com o auxílio de um medidor de área foliar LI-COR, modelo LI 3100. A biomassa das plantas (folhas e total) foi seca em estufa com circulação forçada de ar à 80° C, por 48 horas, e após pesada em balança analítica de precisão, modelo FA 2104 N BioPrecisa, para a determinação da massa da matéria seca.

A análise de crescimento foi feita com o auxílio do programa computacional elaborado por Portes e Castro Jr. (1991) e baseada no ajuste, pelo método dos quadrados mínimos dos dados de índice de área foliar,

em $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$, e da massa da matéria seca, em kg ha^{-1} . Utilizaram-se funções exponenciais quadráticas para o ajustamento dos dados (Portes & Castro Jr., 1991).

Ao final do ciclo das cultivares, determinou-se a produtividade de grãos e o índice de colheita, pela relação entre a produtividade de grãos e a biomassa total da parte aérea.

Resultados e Discussão

Utilizou-se um diagrama de dispersão para classificar as cultivares em quatro quadrantes de acordo com a suas produtividades de grão e de biomassa da parte aérea ao final do estágio de enchimento das vagens (R8), comparadas aos valores médios dessas variáveis no experimento, respectivamente 3617 kg ha^{-1} e 6596 kg ha^{-1} (Figura 1).

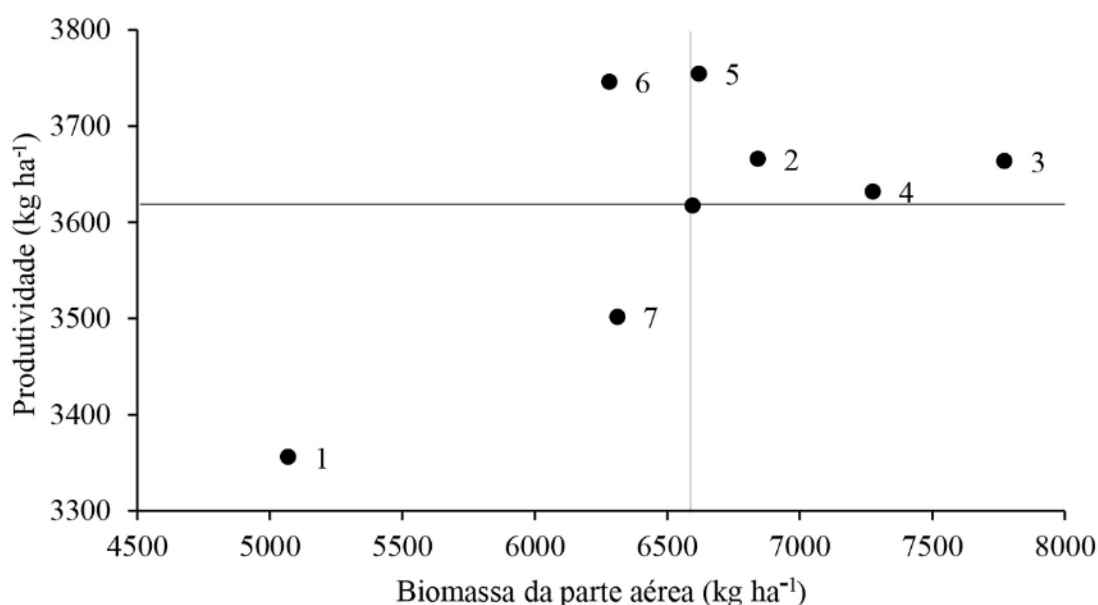


Figura 1 – Produtividade de grãos das cultivares em razão da biomassa acumulada da parte aérea no estágio de enchimento das vagens (R8). O ponto de origem dos eixos representa a produtividade média e a biomassa média das cultivares. 1 - BRS FC414, 2 - BRS FC415, 3 - BRS FC423, 4 - BRS FC402, 5 - BRS FC416, 6 - BRSMG Amuleto e 7 - BRSMG Uai.

Figure 1 - Grain yield of cultivars as a function of accumulated shoot biomass at the pod filling stage (R8). The point of origin of the axes represents the average productivity and the average biomass of the cultivars. 1 - BRS FC414, 2 - BRS FC415, 3 - BRS FC423, 4 - BRS FC402, 5 - BRS FC416, 6 - BRSMG Amuleto, and 7 - BRSMG Uai.

As cultivares BRS FC414 e BRSMG Uai foram classificadas no quadrante com produtividades inferiores as médias das duas variáveis, a BRSMG Amuleto no quadrante com produtividade de grãos acima da média, mas de biomassa abaixo da média, e as demais cultivares no quadrante com produtividades de ambas variáveis acima da média.

Baseado nesse diagrama, considerou-se dois grupos de cultivares, um menos produtivo, composto pelas cultivares BRS FC414 e BRSMG Uai, e outro mais produtivo, composto pelas demais cultivares. O acúmulo de biomassa ao longo do ciclo das cultivares foi descrito por modelo matemático exponencial quadrático para ambos os grupos (Figura 2).

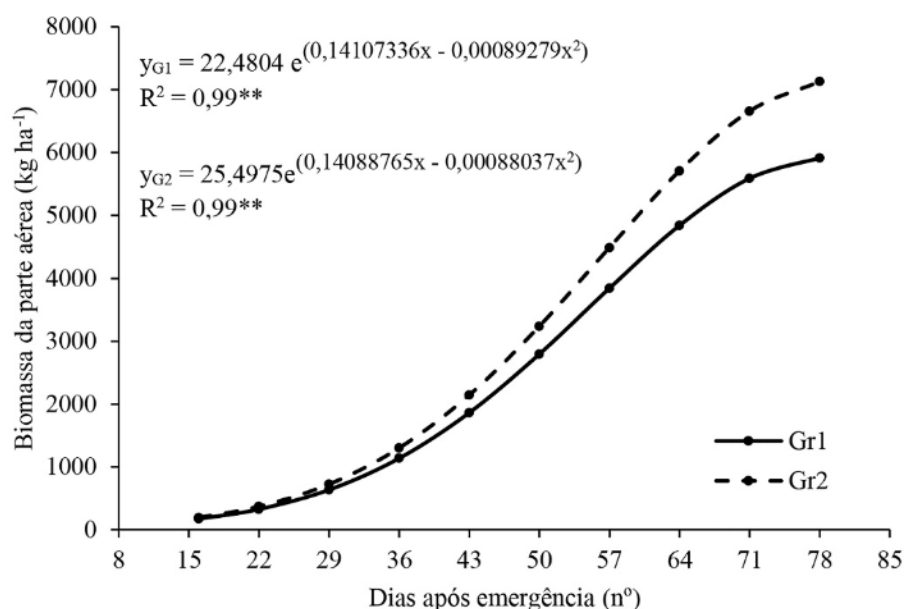


Figura 2 - Acúmulo de biomassa seca da parte aérea dos 16 dias após a emergência (DAE), em V3 (surgimento do primeiro trifólio), aos 78 DAE, em R8 (enchimento das vagens), dos grupos de cultivares de feijoeiro mais (Gr2) e menos produtivas (Gr1).

Figure 2 - Accumulation of dry biomass of shoots from 16 days after emergence (DAE), in V3 (emergence of the first trefoil), to 78 DAE, in R8 (pod filling), of the groups of common bean cultivars most (Gr2) and least productive (Gr1).

A diferença de acúmulo de biomassa seca da parte aérea entre os grupos foi observada desde o início das observações, em V3, quando as plantas apresentavam uma folha trifoliolada. Nesse estágio,

foram registrados acúmulos de biomassa de 194 e 171 kg ha⁻¹, nos grupos de cultivares mais e menos produtivas, respectivamente, ou seja, uma superioridade de acúmulo de biomassa do grupo mais produtivo de 13,5% em relação ao menos produtivo. Essa diferença de acúmulo de biomassa entre os grupos aumentou com o desenvolvimento das plantas. Ao final do enchimento das vagens (R8), aos 78 DAE, o primeiro grupo acumulou 20,6% mais biomassa em relação ao segundo grupo. Os acúmulos foram de 7127 e 5911 kg ha⁻¹, nos grupos de cultivares mais e menos produtivas, respectivamente.

Diferenças entre cultivares de feijoeiro na produção de biomassa também foram observadas por Nascente et al. (2016) e Leal et al. (2019). O valor observado no grupo mais produtivo está próximo dos encontrados por Jauer et al. (2003), que verificaram aos 75 DAE máximo acúmulo de matéria seca variando entre 6926 e 6932 kg ha⁻¹, para a cultivar de feijoeiro Pérola. Para a mesma cultivar, Pegoraro et al. (2014) encontraram, aos 70 DAE, o valor de 5524 kg ha⁻¹ para o máximo acúmulo de matéria seca, valor próximo ao obtido para o grupo menos produtivo. Santos et al. (2015), por sua vez, relataram que o máximo acúmulo de biomassa, ao redor de 6000 kg ha⁻¹, foi alcançado aos 80 DAE para as cultivares Pérola e IAC Alvorada.

A evolução do índice de área foliar (IAF) de ambos os grupos de produtividade também foi descrita por modelos matemáticos exponenciais quadráticos (Figura 3).

Na fase inicial, estágio V3, aos 16 DAE, observou-se IAF de 0,26 e 0,22 nos grupos de cultivares mais e menos produtivas, respectivamente, ou seja, o grupo mais produtivo apresentava IAF superior em 18,2% comparativamente ao menos produtivo. Ao final de R8, os IAFs foram de 2,25 e 1,64, nos grupos de cultivares mais e menos produtivos, respectivamente, indicando que, mesmo na fase final de desenvolvimento das plantas, o grupo mais produtivo ainda mantinha maior IAF, portanto maior capacidade de fotoassimilação. Santos et al. (2015) também observaram diferença de IAF entre cultivares de feijoeiro.

Os dois grupos apresentaram IAF máximos de 3,94 e 2,98 no estágio de formação de vagens (R7), aos 59 e 58 DAE nos grupos mais e menos produtivos, respectivamente. Portanto, o grupo mais produtivo no ponto de IAF máximo apresentou 32,2% mais área foliar que o grupo menos produtivo.

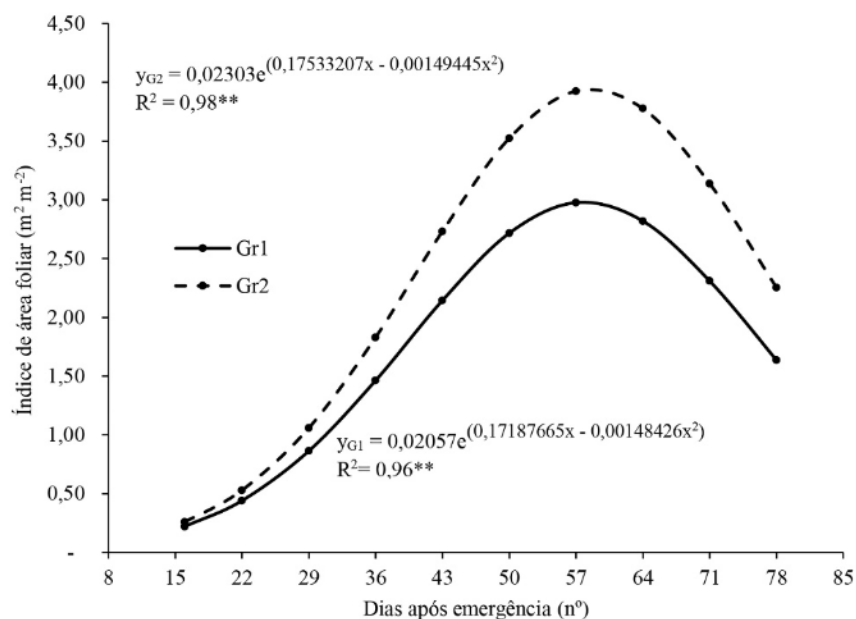


Figura 3 - Índice de área foliar dos 16 dias após a emergência (DAE), em V3 (surgimento do primeiro trifólio), aos 78 DAE, em R8 (enchimento das vagens), dos grupos de cultivares de feijoeiro mais (Gr2) e menos produtivas (Gr1).

Figure 3 - Leaf area index from 16 days after emergence (DAE), in V3 (emergence of the first trefoil), to 78 DAE, in R8 (pod filling), of the groups of common bean cultivars most (Gr2) and least productive (Gr1).

O número de dias após a emergência para o IAF máximo é influenciado tanto pela variabilidade genética como pelas condições ambientais e tratamentos a que são submetidas às plantas. Santos et al. (2015) relataram IAF máximo entre 50 e 65 DAE, dependendo da cultivar e da adubação, indicando que, para a cultura do feijoeiro, o IAF máximo ocorre entre o pleno florescimento e o início da formação de vagens. Portes et al. (2022), por sua vez, em condições ambientais controladas, observaram IAF máximo aos 51 DAE. A partir desse estágio, cessa a emissão de folhas novas e a perda por senescência supera a expansão foliar, diminuindo os valores de IAF.

Uma vez que a área foliar é a superfície da planta que recebe a radiação, elevados valores na fase reprodutiva são importantes, pois com maior área foliar mais fotoassimilados serão produzidos no processo da fotossíntese, do qual depende a produção de biomassa e, conseqüentemente, a produtividade de grãos (Portes et al., 2022).

O acúmulo de biomassa seca nas folhas apresentou evolução durante o desenvolvimento das plantas semelhante ao observado no IAF. Os acúmulos de biomassa nas folhas de ambos os grupos de produtividades também foram descritos por modelos matemáticos exponenciais quadráticos (Figura 4).

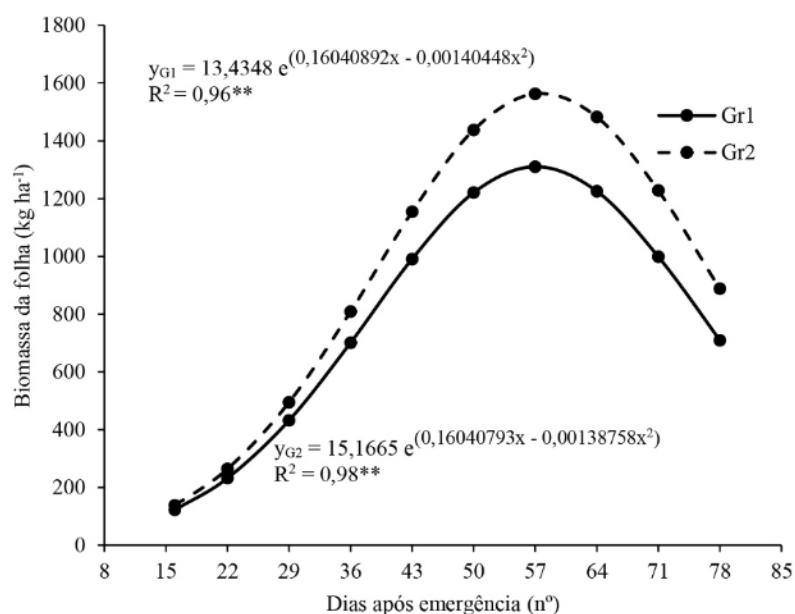


Figura 4 - Acúmulo de biomassa seca nas folhas dos 16 dias após a emergência (DAE), em V3 (surgimento do primeiro trifólio), aos 78 DAE, em R8 (enchimento das vagens), dos grupos de cultivares de feijoeiro mais (Gr2) e menos produtivas (Gr1).

Figure 4 - Accumulation of dry biomass of leaves from 16 days after emergence (DAE), in V3 (emergence of the first trefoil), to 78 DAE, in R8 (pod filling), of the groups of common bean cultivars most (Gr2) and least productive (Gr1).

As diferenças de acúmulos de biomassa nas folhas entre os dois grupos aumentaram com o desenvolvimento das plantas, apresentando máximos de acúmulo em R7, aos 57 DAE no grupo menos produtivo e 58 DAE no grupo mais produtivo. Nesses pontos foram observados acúmulos, respectivamente, de 1564 kg ha⁻¹ e 1310 kg ha⁻¹. Pegoraro et al. (2014) constataram que a acumulação máxima de biomassa nas folhas do feijoeiro, cultivar Pérola, ocorreu aos 46 DAE, e correspondeu a 1322 kg ha⁻¹, e Santos et al. (2015) observaram máximos de acúmulo de biomassa da parte aérea entre R7 e R8. Assim como observado nas curvas de evolução dos IAFs, a biomassa acumulada nas folhas diminuiu a partir dos pontos

de máximos. Segundo esses autores, a senescência e abscisão foliar na fase final do ciclo reduzem a quantidade de biomassa acumulada nas folhas.

A biomassa da parte aérea aumentou linearmente com o aumento do IAF em todos os estádios, com exceção do estágio final de R8, em que a relação foi quadrática (Tabela 1). Do início do estágio V3 até V4, o incremento na produção de biomassa da parte aérea a cada aumento de uma unidade de IAF foi decrescente, variando de 844 a 540 kg ha⁻¹. Durante esses estádios, a planta direciona fotoassimilados com maior intensidade para o crescimento do sistema radicular. A partir do estágio R5 e, principalmente, em R7 e R8, quando a planta está formando vagens e grãos, há alta demanda de carboidratos para formação desses órgãos e registrou-se incremento na produção de biomassa da parte aérea a cada aumento de uma unidade de IAF, variando de 880 kg ha⁻¹, aos 57 DAE, em R7, a 1801 kg ha⁻¹, aos 71 DAE, em R8. Aos 78 DAE a relação foi descrita por um modelo matemático quadrático, com máximo de acúmulo de 7322 kg ha⁻¹ com IAF de 2,31.

Santos et al. (2015) também constataram reduzido acúmulo de biomassa na parte aérea nos primeiros 28 dias após a emergência, mas que se intensificou, especialmente após o florescimento, em razão do crescimento intenso das estruturas reprodutivas e das elevadas taxas de crescimento da cultura observados após esse estágio.

Tabela 1 - Influência da área foliar no acúmulo de biomassa da parte aérea e na produtividade de grãos durante os estádios fenológicos da cultura, V3 (surgimento do primeiro trifólio), V4 (plantas com três trifólios completamente abertos), R5 (surgimento dos primeiros botões florais), R6 (50% das flores abertas), R7 (formação das primeiras vagens) e R8 (enchimento das vagens).

Table 1 - Influence of leaf area on shoot biomass accumulation and grain yield during the crop phenological stages, V3 (emergence of the first trefoil), V4 (plants with three fully open trefoils), R5 (emergence of the first flower buds), R6 (50% of the flowers open), R7 (formation of the first pods) and R8 (pod filling).

Época (DAE)	Estádio	Equação de regressão	R ²
Biomassa da parte aérea (kg ha ⁻¹) x índice de área foliar (m ² m ⁻²)			
16	V3	$y = - 23,093 + 843,53x$	0,98**
22	V3	$y = - 1,0191 + 708,39x$	0,94**
29	V3	$y = 110,52 + 584,51x$	0,90**
36	V4	$y = 319,21 + 540,52x$	0,88**
43	R5	$y = 605,31 + 568,83x$	0,86**
50	R6	$y = 907,66 + 672,73x$	0,86**
57	R7	$y = 1119,8 + 880,2x$	0,86**
64	R8	$y = 1248 + 1219,5x$	0,81**
71	R8	$y = 1328,9 + 1800,8x$	0,86**
78	R8	$y = - 7252 + 12608x - 2725x^2$	0,72*
Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) x índice de área foliar (m ² m ⁻²)			
16	V3	$y = - 867,39 + 33997x - 62941x^2$	0,23ns
22	V3	$y = 1091,4 + 9417,2x - 8559,4x^2$	0,13ns
29	V3	$y = 1531 + 3940,9x - 1808x^2$	0,10ns
36	V4	$y = 1814,9 + 1956,8x - 512,3x^2$	0,12ns
43	R5	$y = 1530,8 + 1518x - 265,34x^2$	0,20ns
50	R6	$y = 886,22 + 1552,8x - 212,42x^2$	0,37ns
57	R7	$y = 269,28 + 1732,8x - 217,11x^2$	0,62ns
64	R8	$y = 59,006 + 1956,6x - 262,6x^2$	0,79*
71	R8	$y = 1374,8 + 1381,1x - 204,9x^2$	0,83**
78	R8	$y = 2017,7 + 1270,2x - 233,02x^2$	0,86**

ns: F não-significativo, *F significativo, $p \leq 0,05$, **F significativo, $p \leq 0,01$

ns: F not significant, *F significant, $p \leq 0.05$, **F significant, $p \leq 0.01$

O IAF na fase inicial de desenvolvimento, em V3, aos 16 e 22 DAE, também foi relacionado com a produção de biomassa da parte aérea no final do estágio R8 (Figura 5).

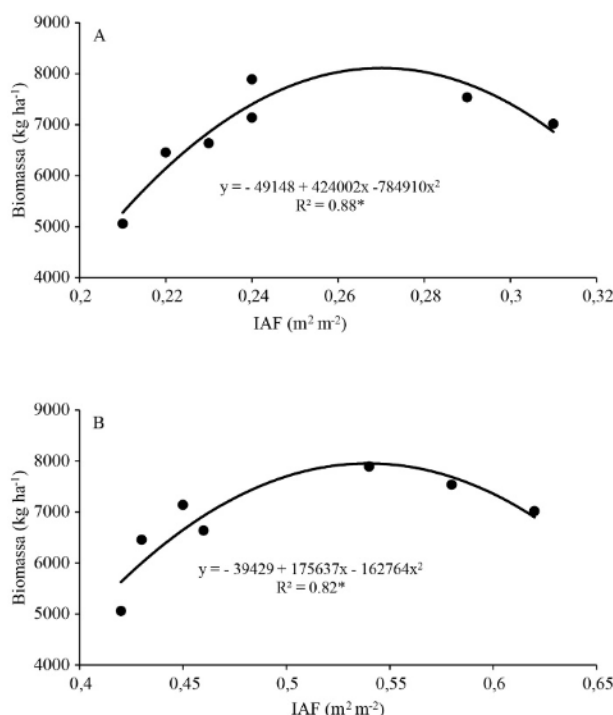


Figura 5 - Influência do índice de área foliar (IAF) no estágio inicial de desenvolvimento das plantas, em V3 (surgimento do primeiro trifólio), aos 16 (A) e 23 (B) dias após a emergência (DAE), no acúmulo de biomassa da parte aérea no final de R8 (enchimento das vagens), aos 78 DAE.

Figure 5 - Influence of the leaf area index (LAI) at the initial stage of plant development, in V3 (emergence of the first trefoil), at 16 (A) and 23 (B) days after emergence (DAE), on the accumulation of biomass in the shoots at the end of R8 (pod filling), at 78 DAE.

Observou-se que o vigor inicial, até certo limite, contribuiu para maior acúmulo de biomassa nesse estágio. O acúmulo máximo de biomassa aos 78 DAE foi de 8125 kg ha⁻¹ com IAF de 0,27 aos 16 DAE e 7938 kg ha⁻¹ com IAF de 0,54 aos 22 DAE, sugerindo que a elevada biomassa aérea do feijoeiro durante a formação dos grãos pode estar relacionada com o alto vigor das plantas na fase inicial de desenvolvimento.

Em todos os estádios, a relação entre produtividade de grãos e IAF foi descrita por modelos matemáticos de segundo grau (Tabela 1). Contudo, essa relação só foi significativa no estágio R8, em que as produtividades máximas foram de 3704, 3702 e 3749 kg ha⁻¹ com IAF de 3,73; 3,37 e 2,73, aos 64, 71 e 78 DAE, que correspondem ao início, meio e fim desse estágio, sinalizando a importância de manutenção da área foliar até o final de enchimento das vagens. As folhas são responsáveis pela captação de luz e pela

produção de fotoassimilados. Portanto, o aumento da área foliar pode resultar em grãos mais pesados ou em maior número de grãos, e aumentar a produtividade. No entanto, aumento excessivo da área foliar pode causar autossombreamento, o que reduz a produtividade (Bortolheiro et al., 2021).

O índice de colheita variou entre 0,48 e 0,66 (Figura 6), valores compatíveis com os relatados por Assefa et al. (2015), que variaram de 0,40 a 0,73 para cultivares de feijoeiro sob irrigação.

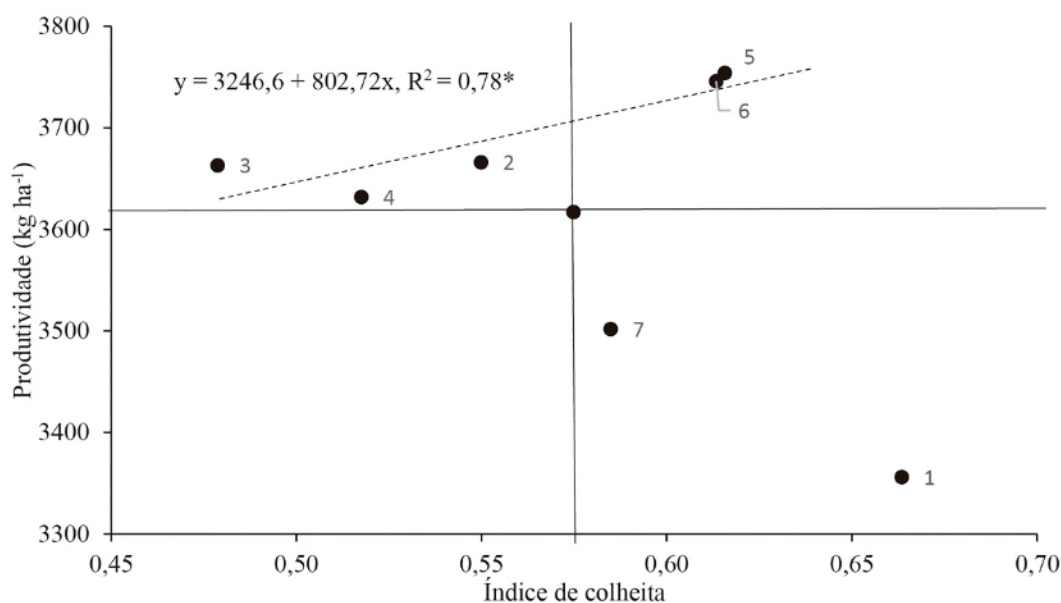


Figura 6 – Produtividade de grãos das cultivares em razão do índice de colheita. O ponto de origem dos eixos representa a produtividade média e o índice de colheita médio das cultivares. 1 - BRS FC414, 2 - BRS FC415, 3 - BRS FC423, 4 - BRS FC402, 5 - BRS FC416, 6 - BRSMG Amuleto e 7 - BRSMG Uai.

Figure 6 - Grain yield of cultivars as a function of harvest index. The point of origin of the axes represents the average productivity and the average harvest index of the cultivars. 1 - BRS FC414, 2 - BRS FC415, 3 - BRS FC423, 4 - BRS FC402, 5 - BRS FC416, 6 - BRSMG Amuleto, and 7 - BRSMG Uai.

Considerando-se os dois grupos de cultivares delimitados na Figura 1, constatou-se que a produtividade de grãos do grupo mais produtivo apresentou relação linear positiva com o índice de colheita, o que também foi observado por Assefa et al. (2015) e Polania et al. (2016). Esses últimos autores atribuíram o desempenho superior das cultivares mais produtivas a maior acúmulo de biomassa no dossel no estágio de enchimento da vagem, combinado com a remobilização eficiente de fotossintatos das estruturas vegetativas para produção de vagens e enchimento de grãos e maior alocação de fotossintatos

nos grãos. Romero-Félix et al. (2021) relataram que a produtividade de grãos do feijoeiro irrigado foi positiva e significativamente relacionada à biomassa aérea acumulada na maturidade fisiológica e que, em condições de sequeiro, a relação entre a produtividade e o índice de colheita também foi positiva e significativa. A correlação positiva entre biomassa da parte aérea e produtividade de grãos deve-se a que plantas mais altas e com mais ramificações resultam em maior número de estruturas reprodutivas e, consequentemente, maiores produtividades (Leal et al., 2019).

Um maior índice de colheita é um componente importante no melhoramento do feijão-comum de alto rendimento. Ele é dependente do número de vagens férteis, que é afetado pelo acúmulo de matéria seca. De fato, genótipos com mais vagens férteis apresentarão maior índice de colheita, resultando em maior produtividade de grãos (Soureshjani et al., 2020).

Pela distribuição nos quadrantes (Figura 6), verifica-se que as cultivares BRS FC416 e BRSMG Amuleto são mais eficientes na alocação de fotossintatos nos grãos, apresentando produtividade de grãos e índice de colheita acima da média. Já as cultivares BRSMG 414 e BRSMG Uai são as menos eficientes nessa alocação, com produtividades abaixo da média, apesar de índices de colheita acima da média. As demais cultivares apresentam eficiência moderada.

Conclusões

O acúmulo de biomassa da parte aérea influencia a produtividade de grãos das cultivares de feijoeiro. Cultivares mais produtivas apresentam maior vigor inicial, maior índice de área foliar ao longo do ciclo e maior eficiência na alocação de fotoassimilados nos grãos. A análise do crescimento vegetal, com ênfase no índice de área foliar e na biomassa acumulada, pode ser adotada como critério auxiliar na seleção de cultivares com maior potencial produtivo.

Referências

- ASSEFA T, Wu J, Beebe SE, Rao IM, Marcomin D, Claude, RJ (2015) Improving adaptation to drought stress in small red common bean: phenotypic differences and predicted genotypic effects on grain yield, yield components and harvest index. *Euphytica* 203(3):477-489. doi: <https://doi.org/10.1007/s10681-014-1242-x>
- BORTOLHEIRO FPAP, Brunelli-Nascentes MC, Boaro CSF, Silva MA (2021) Can low doses of glyphosate stimulate common bean growth? *Journal of Environmental Science and Health, Part B* 56(2):150-162. doi: <https://doi.org/10.1080/03601234.2020.1853456>

CARNEIRO JE, PAULA JÚNIOR TJ, Borém A (2015) Feijão: do plantio à colheita. UFV. 384 p.

GUIMARÃES CM, STONE LF, DE MELO MF (2020) Management of architecture, spacing and population on the yield of super early common bean. *Científica* 48(3):206-211. doi: <https://doi.org/10.15361/1984-5529.2020v48n3p206-211>

JAUER A, Dutra LMC, Zabot L, Lucca Filho AO, Losekann ME, Uhry D, Stefanelo C, Farias, JR, Ludwig MP (2003) Análise de crescimento da cultivar de feijão Pérola em quatro densidades de semeadura. *Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia* 10(1):1-12.

LEAL FT, Filla, VA, Bettiol JVT, Sandrini FOT, Mingotte FLC, Lemos LB (2019) Use efficiency and responsivity to nitrogen of common bean cultivars. *Ciência e Agrotecnologia* 43(e004919). doi: <https://doi.org/10.1590/1413-7054201943004919>

NASCENTE AS, CARVALHO MCS, ROSA PH (2016) Growth, nutrient accumulation in leaves and grain yield of super early genotypes of common bean. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 46(3):292-300. doi: <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4641144>

PEGORARO RF, Oliveira D, Moreira CG, Kondo MK, Portugal AF (2014) Partição de biomassa e absorção de nutrientes pelo feijoeiro comum. *Revista Caatinga* 27(3):41-52. doi: http://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/3444/pdf_137

POLANIA JA, Rao IM, Cajiao C, Rivera M, Raatz B, Beebe SE (2016) Physiological traits associated with drought resistance in Andean and Mesoamerican genotypes of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Euphytica* 210(1):17-29. doi: <https://doi.org/10.1007/s10681-016-1691-5>

PORTES TA, DE ARAÚJO BRB, DE MELO HC (2022) Growth analysis, photosynthate partition and nodulation in bean and soybean. *Ciência Rural* 52(10):1-14. doi: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210282>

PORTES TA, CASTRO Jr. LG (1991) Análise de crescimento de plantas: Um programa computacional auxiliar. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 3(1):53-56.

ROMERO-FÉLIX CS, López-Castañeda C, Kohashi-Shibata J, Martínez-Rueda CG, Miranda-Colín S, Aguilar-Rincón VH (2021) Yield and accumulated biomass in common bean under irrigation and rainfed. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas* 12(8):1363-1376. doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i8.2682>

SANTANA AV, Heinemann AB, Stone LF, Nascente AS (2016) Índice de refletância na estimativa da área foliar e biomassa das folhas em feijão-comum. *Colloquium Agrariae* 12(1):7-19. doi: 10.5747/ca.2016.v12.n1.a128

SANTOS HG, Jacomine PKT, Anjos LHC, Oliveira VA, Lumberras JF, Coelho MR, Almeida JA, Araújo Filho JC, Oliveira JB, Cunha TJF (2018) Sistema brasileiro de classificação de solos. 5. ed. rev. e ampl. Embrapa. 356p.

SANTOS LA, SORATTO RP, FERNANDES AM, GONSALES JR (2015) Crescimento, índices fisiológicos e produtividade de cultivares de feijoeiro sob diferentes níveis de adubação. *Revista Ceres* 62(1):107-116. doi: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201562010014> Sofi PA, Rehman, K, Gull M, Ara A (2017) Phenology based biomass accumulation and partitioning indices in relation to water stress in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *International Journal of Pure & Applied Bioscience* 5(6):1441-1449. doi: <https://doi.org/10.18782/2320-7051.5449>

SOURESHJANI HK, NEZAMI A, KAFI M, TADAYON M (2020) The effect of deficit irrigation on dry matter partitioning, mobilization and radiation use efficiency of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 51(3):307-326. doi: <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1705323>

SOUSA DMG, LOBATO E (2004) Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Embrapa Informação Tecnológica, Embrapa Cerrados. 416p.