

LUZ E BALANÇO DE CARBONO DE *Phaseolus vulgaris*

Camila Marques Menegueli¹, Wallace Silva Vitorino Dias¹, Ingrid Alves Moraes Capucho¹, Lara Leandro dos Santos¹, Moyses Dutra Moutinho Filho¹, Liana Hilda Golin Mengarda¹, Fábio Ramos Alves¹.

¹Universidade Federal do Espírito Santo/Departamento de Agronomia, Alto Universitário, S/N, Guararema - 29500-000 - Alegre - ES, Brasil, camilamenegueli123@gmail.com, wallaces.vd@gmail.com, ingrid.capucho@edu.ufes.br, laraaleandrossantos@gmail.com, moyses.moutinho@edu.ufes.br, liana.mengarda@ufes.br, fabio.alves@ufes.br.

Resumo

O ganho e perda de biomassa refletem o balanço de carbono da planta. Nessa experimentação prática e didática o objetivo foi avaliar o balanço de carbono com base no incremento ou perda de biomassa nas duas primeiras semanas de vida do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) cultivadas na presença e na ausência de luz. O estudo foi realizado com metodologia proposta por Prado e Cassali (2006), com base em Salisbury e Ross (1992), com modificações. O resultado das plantas cultivadas no escuro apresentaram perda de biomassa (balanço de carbono negativo), estiolamento e clorose, evidenciando a necessidade das plantas em relação à luz para os processos fotomorfogênicos e fotossintéticos, pelos quais as plantas convertem a energia luminosa em energia química para seu metabolismo. As plantas cultivadas na luz cresceram saudáveis e tiveram balanço de carbono positivo. A conclusão dos resultados obtidos demonstram a importância da luz para o crescimento dos vegetais e evidenciam a demanda de aprimorar as condições de luminosidade nos cultivos para garantir a produtividade agrícola.

Palavras-chave: Biomassa. Fisiologia vegetal. Fotossíntese.

Área do Conhecimento: Engenharia Agrônômica - Agronomia
Introdução

O *Phaseolus vulgaris* (feijão) é uma espécie originária das Américas, predominantemente cultivada nas regiões da América Central e do Sul. Classificado como uma planta anual pertencente à família Fabaceae, uma trepadeira herbácea que demonstra maior desenvolvimento em climas quentes e ensolarados (Figura 1). As vagens longas produzidas pela planta contêm as sementes de feijão. Seu ciclo de cultivo é relativamente rápido, com as plantas iniciando a produção de vagens em aproximadamente 60 a 90 dias após a semeadura, dependendo das condições ambientais e do solo (Almeida & Bertoldo, 2023).

Figura 1 – Crescimento inicial feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) aos 6 (à esquerda) e 12 dias (à direita).



Fonte: Os autores (2023).

A germinação do feijão inicia quando a semente absorve água, iniciando o processo de hidratação e ativando enzimas digestivas que metabolizam as reservas de carboidratos armazenadas nos

cotilédones. O crescimento vegetativo é impulsionado pela fotossíntese nas folhas, onde a luz solar é convertida em energia química para sustentar o crescimento e o desenvolvimento da planta (Almeida & Bertoldo, 2023).

A fim de verificar como a exposição à radiação fotossinteticamente ativa influencia na perda ou no ganho de biomassa, ou seja, no balanço de carbono desses organismos, realizou-se uma abordagem experimental em aula prática da disciplina de Fisiologia Vegetal, onde um grupo de plantas foi privada da disponibilidade de luz, sendo colocadas para germinar no escuro de luz, enquanto outras plantas germinaram e desenvolveram na presença de luz. A relação entre luz e balanço de carbono foi discutida mediante a uma estimativa de quanto a biomassa de cada um dos grupos aumentou ou diminuiu em relação à massa inicial das sementes. Esta experimentação foi essencialmente concebida por Prado e Cassali (2006), com base em Salisbury e Ross (1992) e, juntamente com as bases teóricas em fisiologia do desenvolvimento vegetal (Taiz *et al.*, 2017), configura importante recurso didático para estudo do metabolismo vegetal para ciências agrárias. Ao compreender como a luz afeta a fotossíntese e o crescimento, é possível otimizar a produção agrícola, aumentando a eficiência e a qualidade das culturas, sendo crucial para garantir a segurança alimentar e promover a sustentabilidade ambiental.

Portanto, este trabalho teve como objetivo a análise da influência da luz em processos fotomorfogênicos e fotossintéticos nas plantas feijão (*P. vulgaris*) do grupo comercial preto, a fim de investigar, discutir e promover a compreensão dos processos fisiológicos dos vegetais e para o desenvolvimento de mecanismos que potencializam a produção agrícola.

Metodologia

O estudo foi realizado com metodologia proposta por Prado e Cassali (2006), com base em Salisbury e Ross (1992), com modificações. Para a realização da prática de “Balanço de carbono” foram utilizadas sementes de feijão (*P. vulgaris*), grupo comercial preto.

Foram utilizados três copos plásticos descartáveis com capacidade de 400 mL com 350 ml de substrato para plantio (argila, areia e condicionador de solo na proporção 3:1:1) embebido com 150 ml de água.

Para obtenção da biomassa inicial, 3 repetições de dez sementes foram colocadas em estufa a 105°C por 24 h e pesadas; a massa foi dividida pelo número de sementes a fim de obter a massa seca inicial de cada semente (Tabela 1).

Tabela 1- Massa Seca Inicial das sementes (em g)

Repetição	Massa Seca Inicial Total por semente (g)
1	0,1847
2	0,1812
3	0,1994
Média	0,1884 ±0,01

Fonte: o autor.

Três sementes foram semeadas em cada copo, sendo 3 repetições (copos) por tratamento. Os copos foram levados para a sala de crescimento a 30°C na luz e no escuro. Para o tratamento “escuro”, os copos foram dispostos dentro de uma caixa de papelão tampada com plástico preto; no tratamento “luz”, os copos foram dispostos bancada com incidência de luz artificial (a fonte de luz constituiu-se de duas lâmpadas fluorescentes brancas de 18 W).

Aos 14 dias, as plantas foram retiradas por inteiro do substrato, com cautela para não danificar a raiz. Em seguida, as raízes foram lavadas, para retirar o excesso de substrato. Foram realizadas medições do comprimento da raiz e da parte aérea (caules e folhas) utilizando régua. Foram

mensuradas o número de folhas e a área foliar por planta. A área foliar foi estimada pelo método de molde: as folhas das plantas foram dispostas sobre uma folha A4 e contornadas com lápis. O papel foi recortado criando moldes das folhas de feijão; foi recortado um quadrado de 1 cm² do papel, o qual foi pesado em balança de precisão. Com a medida do peso de 1 cm² e dos moldes, pôde ser estimada a área foliar de cada tratamento. Após esse processo, as plantas foram divididas entre raiz, caule e folha. Depositadas em sacos de papel identificados por tratamentos, em estufa de circulação de ar a 60° C por 72 h, para obtenção da massa seca final das plântulas.

Foram realizadas equações para obter a média, desvio padrão e o erro padrão da média, e o coeficiente de variação dos dados obtidos e validar aqueles que tiveram o resultado homogêneo dentre as amostragens. Por esse motivo, os valores da “Repetição 1” do tratamento luz foram descartados pois estavam discrepantes em relação às outras amostras; logo, para este tratamento foram avaliadas duas repetições. Os dados foram discutidos com base em estatística descritiva e análise de características qualitativas.

Resultados

As plantas expostas na luminosidade aos 14 dias apresentaram um bom crescimento, caule firme e ereto, contendo duas folhas completamente expandidas e mais um primórdio foliar. Quanto às plantas mantidas no escuro, o caule apresentava-se frágil e vítreo; cresceu e se alongou em busca de luz, processo chamado de estiolamento. Ainda, apresentou coloração pálida, e não houve o esverdeamento e o desenvolvimento das folhas (Figura 2).

Figura 2 - Plantas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) aos 14 dias que se desenvolveram na luz (à esquerda) e no escuro (à direita).



Fonte: Os autores (2023)

As plantas de feijão que germinaram e cresceram na luz, aos 14 dias, apresentaram comprimento médio do caule de 19,5 cm, raízes com 23 cm, 2 folhas, cada planta com área foliar de 66,6 cm² (Tabela 2).

Tabela 2- Dados de Crescimento inicial feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) se desenvolvendo na luz aos 14 dias. Caule = comprimento de caule (em cm); Raiz = comprimento de raiz (em cm); Folhas = número de folhas; AF = Área Foliar (em cm²); MSF = Massa Seca Final de plantas sob a presença de luminosidade (em g).

Repetição	Caule (cm ²)	Raiz (cm ²)	Folhas	AF (cm ²)	MSF (g)
-	-	-	-	-	-
2	22	24	2	66,60	0,26
3	17	22	2	66,60	0,28
Média	19,5 ± 2,04	23 ± 0,82	2 ± 0	66,6 ± 0,02	0,27 ± 0,01

Fonte: os autores.

As plantas de feijão que germinaram e cresceram no escuro, aos 14 dias, apresentaram comprimento médio do caule de 43,7 cm, raízes com 12,7 cm, média de 1,7 folhas por planta, e área foliar por planta de 4,78 cm² (Tabela 3). No escuro, os primórdios foliares não se expandiram, tendo área foliar muito menor que nas plantas na luz (redução de 92,82%).

Tabela 3- Dados de Crescimento inicial feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) se desenvolvendo no escuro aos 14 dias. Caule = comprimento de caule (em cm); Raiz = comprimento de raiz (em cm); Folhas = número de folhas; AF = Área Foliar (em cm²); MSF = Massa Seca Final de plantas sob a ausência de luminosidade (em g).

Repetição	Caule (cm ²)	Raiz (cm ²)	Folhas	AF (cm ²)	MSF (g)
1	45,5	18	2	5,73	0,14
2	40	10	1	2,87	0,20
3	45,6	10	2	5,73	0,13
Média	43,7 ± 1,85	12,7 ± 1,9	1,7 ± 0,2	4,78 ± 0,85	0,16 ± 0,02

Fonte: os autores.

As plantas que se desenvolveram na luz obtiveram crescimento normal do caule de 19,5 cm, em média; e as plantas que se desenvolveram no escuro apresentaram crescimento anormal do caule e estiolamento; o caule de plantas no escuro mediam em média 43,7 cm, mais do que o dobro das plantas na luz.

A massa seca inicial (das sementes) foi de 0,1884 g; as plantas que se desenvolveram na luz tiveram massa seca final de 0,27 g, em média; e as que se desenvolveram no escuro tiveram massa seca final de 0,16 g, em média.

O balanço de carbono das plantas desenvolvidas na luz, resultado da diferença do valor médio da massa seca final de plantas sob presença de luminosidade com a massa seca inicial das sementes, ou seja, 0,27 g – 0,1884 g = 0,0816 g), foi positivo, indicando incremento de biomassa; e o das plantas desenvolvidas no escuro, resultado da diferença do valor médio da massa seca final de plantas sob ausência de luminosidade com a massa seca inicial das sementes, ou seja, 0,16 g – 0,1884 g = - 0,0284 g, indica perda de biomassa aos 14 dias.

Discussão

O balanço de carbono permite estimar a quantidade de carbono pré-existente na biomassa inicial da planta, frente ao quanto ela gastou de reserva própria (respiração) e o quanto ela fixou o gás carbônico atmosférico (fotorrespiração). Em condições normais de desenvolvimento, nos tecidos fotossintéticos que recebem luz ocorre a etapa fotoquímica (produção de ATP e NAPH), seguida da etapa bioquímica, onde as plantas captam dióxido de carbono e o convertem em compostos orgânicos, como a glicose, que servem como base para a construção de biomassa. No entanto, uma porção

desses compostos é oxidada na respiração e na fotorrespiração celular, liberando novamente CO_2 para a atmosfera (Floss, *et al.*, 2011; Taiz *et al.*, 2017).

Independente do tratamento (luz e escuro), as plantas perderam biomassa devido à respiração. Ainda, houve fotorrespiração no tratamento luz. No entanto, somente as plantas que permaneceram sob luminosidade assimilaram CO_2 mantendo um balanço de carbono positivo: a massa seca final foi maior do que a massa seca inicial. A intensidade de perda ou do ganho de C durante as duas semanas do desenvolvimento do feijoeiro referem-se a eventos fisiológicos básicos (Prado & Cassali, 2006), entre os quais: no escuro, não houve fotoquímica, sem produção de ATP e de NADPH; logo, o ciclo de Calvin com assimilação de CO_2 atmosférico foi impedido pela falta de energia bioquímica no sistema. A germinação aconteceu consumindo, via respiração, a reserva de carboidratos (amido), exaurindo as reservas dos cotilédones. Uma vez que a planta apenas respirava a suas reservas, ao final de 14 dias, a biomassa era menor que a massa inicial e o balanço de carbono foi negativo. Já as plantas na luz, também usaram suas reservas, via respiração, durante o processo de germinação com perda de C. Este gasto, porém, foi compensado pela fotossíntese que iniciou após a expansão das primeiras folhas. Em razão da disponibilidade de energia luminosa, pela cadeia de transporte de elétrons entre os fotossistemas, produz-se ATP e na NADPH, que são usados na fixação de C (Taiz *et al.*, 2017); logo, nas plantas em luz, o balanço de carbono foi positivo.

Visualmente, as plantas que se desenvolveram no escuro passaram pelo processo de estiolamento, que é o alongamento anormal do caule e desenvolvimento deficiente de folhas; sem o estímulo da luz, não há diferenciação dos cloroplastos e, conseqüentemente, há ausência de clorofila (Hartmann & Kester, 1990). Entretanto as que se desenvolveram em local com luminosidade apresentaram um crescimento normal, com desenvolvimento fotomorfogênico habitual para os padrões fenológicos do feijoeiro (Prado & Cassali, 2006). Sua parte aérea apresentava uma coloração verde significando que suas células contêm cloroplastos (diferenciação dos protoplastos mediada pelo fitocromo), com presença de clorofilas, um exemplo de protoplasto diferenciado.

Na planta submetida ao escuro houve perda de biomassa, pois a restrição de luz ocasionou a interrupção de processos fotomorfogênicos, a inexistência de cloroplastos, impedindo, com isso, a fotossíntese. Logo, não houve fixação de carbono atmosférico e produção de carboidratos; com isso a planta teve que utilizar de reservas de carbono da própria biomassa da semente, e pelo processo de respiração liberou CO_2 ao ambiente, apresentando balanço de carbono negativo.

Os resultados obtidos demonstram a interação entre a planta e o ambiente e destacam a importância da fotossíntese nas plantas, analisada pela interação entre a luz e o balanço de carbono vegetal. A luz tendo o papel essencial para a conversão do CO_2 em matéria orgânica, sendo fundamental para o crescimento e desenvolvimento vegetal (Floss, 2011; Marabesi, 2007).

Conclusão

O trabalho demonstra de forma prática a importância da luz para o metabolismo das plantas. Ao submeter as plantas ao escuro, observamos um desequilíbrio significativo entre os processos metabólicos – respiração x fotossíntese, apresentado balanço de carbono negativo. A ausência de luz impediu a fotossíntese, processo fundamental para a fixação do carbono atmosférico e produção de biomassa, levou as plantas a exaurir as reservas armazenadas nos cotilédones das sementes. Ao ponto que as reservas acabaram, a planta entra em senescência e inicia a degradação dos tecidos. As plantas que se desenvolveram no escuro estavam estioladas e cloróticas. As plantas desenvolvidas sob luminosidade apresentaram um crescimento padrão com coloração verde, folhas bem desenvolvidas, resultado de processos fotomorfogênicos de diferenciação de cloroplastos, síntese de clorofilas e fotossíntese, resultando em balanço de carbono positivo.

Referências

- ALMEIDA, E.; BERTOLDO, J. **Cultivar de feijão preto**. 2023. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/noticias/secretaria-da-agricultura-do-rs-registra-nova-cultivar-de-feijao-preto>. Acesso em: 20 mai. 2024.
- CRISTINA, A. *et al.* Circular Técnica. **Estiolamento In Vitro de Plantas: Alternativa para a Produção de Mudas Micropropagadas de Abacaxizeiro Ornamental**. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/79881/1/ESTIOLAMENTOINVITRO.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2024.
- DIJIGOW, P. **Relação das plantas com a luz**. 2021. Escola botânica. Disponível em: <https://www.escoladebotanica.com.br/post/fotossintese>. Acesso em: 20 mai. 2024.
- FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo do que está por trás do que se vê**. 5. ed. [s.l.].
- MANFRON, P. A. *et al.* **Modelo de índice de área foliar da cultura de milho**. Revista Brasileira de Agrometeorologia. Disponível em: <http://www.sbagro.org/files/biblioteca/1392.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2024.
- MARABESI, M. **Efeito do alto CO₂ no crescimento inicial e na fisiologia da fotossíntese em plântulas Senna alata (L.) Roxb**. Disponível em: http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/pgibt/2013/09/Mauro_Alexandre_Marabesi_MS.pdf. Acesso em: 20 mai. 2024
- PRADO, C. H. B de A.; CASSALI, C. A. **Fisiologia Vegetal: práticas em relações hídricas, fotossíntese e nutrição mineral**. São Paulo: Manole, 2006.
- SALISBURY, F. B., and CLEON W. R. **Plant physiology**. Ancestry Publishing, 1992.
- TAIZ, L. *et al.* **Plant Physiology and Development**. 6. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2017.

Agradecimentos

Ao Centro de Ciências Agrárias e Engenharias e à Universidade Federal do Espírito Santo.