



Physiological performance of *Coffea arabica* cultivated in different shades in the Brazilian semi-arid region

Desempenho fisiológico de *Coffea arábica* cultivado em diferentes sombreamentos no semiárido brasileiro

ANDRADE, Mateus Ferreira⁽¹⁾; SIQUEIRA, Tânia da Silva⁽²⁾; SIMPLICÍO, Josimar Bento⁽³⁾; SILVA, Monalisa Alves Diniz⁽⁴⁾

⁽¹⁾ 0000-0002-7012-782X; Universidade Federal Rural de Pernambuco. Serra Talhada, PE, Brasil. matheus.fandrade2013@gmail.com

⁽²⁾ 0000-0002-7502-4942; Universidade Federal Rural de Pernambuco. Serra Talhada, PE, Brasil. taniaasilva0315@gmail.com

⁽³⁾ 0000-0002-7669-0584; Universidade Federal Rural de Pernambuco. Serra Talhada, PE, Brasil. josimar.bento@ufrpe.br

⁽⁴⁾ 0000-0001-9052-7380; Universidade Federal Rural de Pernambuco. Serra Talhada, PE, Brasil. monaliza.diniz@ufrpe.br

O conteúdo expresso neste artigo é de inteira responsabilidade dos/as seus/as autores/as.

ABSTRACT

Coffee is one of the most consumed drinks in the world and its production comes from the work of approximately 100 million coffee farmers across the planet. For its cultivation in semi-arid regions, management is necessary to help mitigate possible abiotic and biotic stresses. An alternative to produce in these environments is the use of shading, as shading helps to reduce radiation damage and contributes to mitigating harmful effects. In photosynthesis generated by light saturation. In this context, the objective of this study was to determine the influence of different shading on the photosynthetic characteristics of young coffee plants, under Brazilian semi-arid conditions. The experiment was carried out following a randomized block design, with 4 treatments and 8 replications, totaling 32 experimental units. The four treatments were: 1- Full sun; 2- 50% shading, 3- 70% shading and 4- 80% shading. The physiological variables evaluated were: net photosynthesis, transpiration, stomatal conductance and internal CO₂ concentration, using the infrared gas analyzer (IRGA-Ci340). Furthermore, carboxylation efficiency values were obtained; water use efficiency and intrinsic water use efficiency. The results showed that coffee shaded with 50 and 70% showed an increase in photosynthetic rate. Cultivation conditions in full sun and 80% shade specifically reduced the photosynthesis of Arabica coffee plants, var. Red catuai. Water use efficiency, carboxylation efficiency and intrinsic water use efficiency were not significantly influenced by shading. Relatively, the 50% shading condition favored greater water use efficiency and greater intrinsic water use efficiency.

RESUMO

O café é uma das bebidas mais consumidas no mundo e sua produção é oriunda do trabalho de aproximadamente 100 milhões de cafeicultores em todo o planeta. Para seu cultivo em regiões semiáridas é necessário manejos que ajudem a mitigar possíveis estresses bióticos e abióticos, uma alternativa para se produzir nesses ambientes é a utilização de sombrites, pois, o sombreamento ajuda a reduzir os danos pela radiação e contribui na mitigação dos efeitos deletérios na fotossíntese gerados pela saturação por luz. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi determinar a influência de diferentes sombreamentos nas características fotossintéticas de plantas jovens de café arábicas, sob condições de semiárido brasileiro. O experimento foi realizado seguindo o delineamento em blocos casualizados, com 4 tratamentos e 8 repetições, totalizando 32 unidades experimentais. Os quatro tratamentos foram: 1- Pleno sol; 2- 50% de sombreamento, 3- 70% de sombreamento e 4- 80% de sombreamento. As variáveis fisiológicas avaliadas foram: fotossíntese líquida, transpiração, condutância estomática e concentração de CO₂ interna, utilizando o analisador de gás por infravermelho (IRGA-Ci340). Além disso, foram obtidos os valores de eficiência da carboxilação; eficiência de uso da água e a eficiência intrínseca do uso da água. Os resultados mostraram que o café sombreado com 50 e 70 % apresentou aumento na taxa fotossintética. As condições de cultivo a pleno sol e a 80% de sombreamento reduziram de forma específica a fotossíntese das plantas de café arábica, var. Catuai vermelho. A eficiência do uso da água, a eficiência de carboxilação e a eficiência intrínseca do uso da água não sofreram influência significativa dos sombreamentos. De forma relativa, a condição de 50% de sombreamento favoreceu a maior eficiência do uso de água e a maior eficiência intrínseca do uso de água.

INFORMAÇÕES DO ARTIGO

Histórico do Artigo:

Submetido: 07/05/2024

Aprovado: 14/03/2025

Publicação: 27/03/2025



Keywords:

Photosynthesis, water use efficiency, solar radiation.

Palavras-Chave:

Fotossíntese, eficiência de uso da água, radiação solar.

Introdução

O café é uma das bebidas mais consumidas no mundo e sua produção é oriunda do trabalho de aproximadamente 100 milhões de cafeicultores em todo o planeta (Davis *et al.*, 2019). Devido às mudanças climáticas, as áreas produtoras de café vêm tendo que se adaptar aos diferentes ambientes de cultivo Venancio *et al.* (2020), e a pressão ambiental da monocultura no sistema cafeeiro brasileiro (Matta *et al.*, 2019).

O *coffea arábica*, por ser uma espécie de sub-bosque tendo como origem, as florestas montanhosas da Etiópia (Bez *et al.*, 2022; Hu *et al.*, 2022). Com altitudes acima de 1.500 metros, caracterizada com uma temperatura média anual de 20°C Charrier e Berthaud, (1985), normalmente, requer maiores cuidados, principalmente nas áreas produtoras situadas em ambientes áridos e semiáridos.

Para seu cultivo em regiões semiáridas é necessário manejos que ajudem a mitigar possíveis estresses abióticos e bióticos. Em função destes ambientes de produção, muitas vezes oferecerem condições ambientais distintas às de floresta profunda como dos centros de origem do café, estas particularidades tornam as espécies tolerantes à sombra (Ayalew, 2018).

Desta forma, suas mudas geralmente são produzidas em viveiros com sombrites de malha plástica que chegam a bloquear aproximadamente 50 a 75 %, ou mais da radiação fotossinteticamente ativa (RFA), atingindo valores entre 400 e 700 μmol de fótons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, que corresponde ao ponto de saturação de luz no café (Matiello *et al.*, 2010, Rakocevic *et al.*, 2021, León-Burgos *et al.*, 2022).

De modo geral, a luminosidade é um dos fatores ambientais mais importantes para o estabelecimento comercial de uma cultura e sua intensidade pode influenciar o crescimento e desenvolvimento das plantas, além das suas trocas gasosas foliares e a eficiência do uso da água (Hatamian *et al.*, 2015; Thakur *et al.*, 2019). De acordo com Moraes *et al.* (2010) plântulas em condições de sombreamento, em comparação com pleno sol, têm folhas maiores e são mais verdes, o que pode demonstrar uma falsa imagem de maior vigor. Entretanto, mudas cultivadas à sombra podem apresentar danos fotooxidativos quando transplantadas para o campo, havendo necessidade de aclimatação ou diminuição gradativa do nível de sombreamento (Moraes *et al.*, 2010).

Depois de transplantadas, mudas de café são submetidas a altas temperaturas do ar e elevada irradiância solar, de forma simultânea, essa exposição pode acarretar queimaduras nas folhas, (Ulm e Jenkins, 2015; Santos *et al.*, 2016; Bernado *et al.*, 2021). A queimadura solar é expressa por sintomas de clorose e necrose em um em várias espécies (RACSKÓ *et al.*, 2010). Além destes sintomas, a queimadura solar, pode acarretar na redução das taxas fotossintéticas, diminuição da altura de planta, da área foliar, encurtamento do entrenó e do comprimento dos ramos do cafeeiro (Santos *et al.*, 2016).

Desta forma, o cultivo sombreado surge como uma alternativa para a produção da cultura, pois ajuda a reduzir os danos pela radiação e contribui na mitigação dos efeitos

deletérios na fotossíntese gerados pela saturação por luz, além de aumentar a eficiência no uso da água, pois folhas diretamente expostas ao sol apresentam maior condutância hidráulica por unidade de área foliar e conseqüentemente maior demanda hídrica (Carins Murphy *et al.*, 2012). Como observado por Damatta, (2004) em função da saturação luminosa a planta necessita maior transpiração para manter a temperatura foliar baixa, em consequência disso tem-se um maior consumo de água.

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi determinar a influência de diferentes sombreamentos nas características fotossintéticas de plantas jovens de café arábicas, sob condições de semiárido brasileiro.

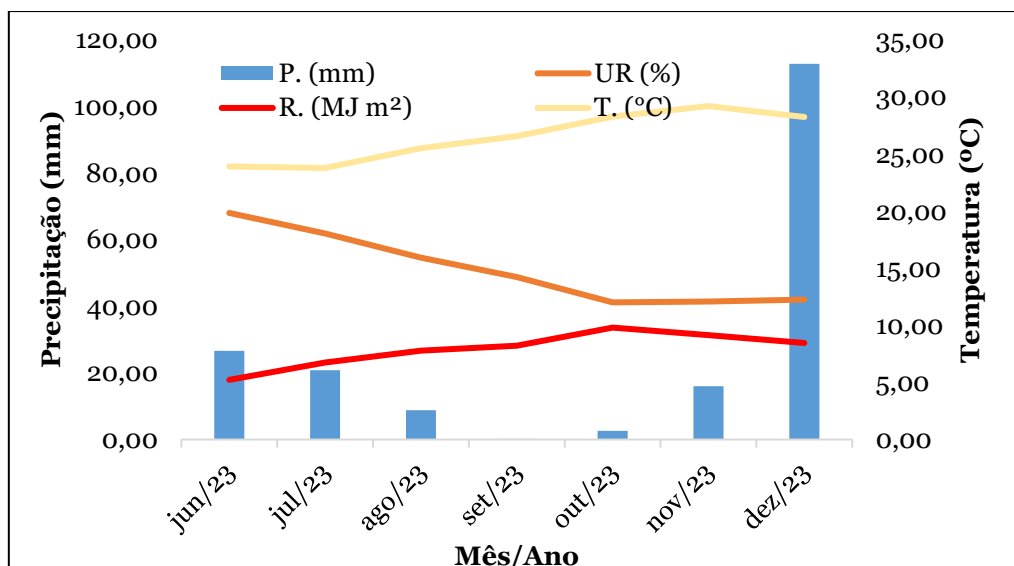
Matérias e métodos

Local do experimento e material vegetal

O trabalho foi conduzido no período de 18/06/2023 a 13/12/2023, na área experimental da Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), vinculada à Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), município de Serra Talhada, PE, microrregião do Sertão do Pajeú, localizado nas seguintes coordenadas geográficas: Latitude: -7,95° 59' 7" Sul, Longitude: 38,29° 17' 34" Oeste e Altitude de 499 m. As condições climáticas durante o estudo estão presentes na tabela 1.

Figura1.

Valores médios mensais de Precipitação (P, mm); Umidade Relativa (UR, %); Radiação solar global (R, MJ m⁻²) e Temperatura (T, °C), do período de junho a dezembro de 2023. Serra Talhada, PE. 2023.



Fonte: INMET, 2023.

As sementes de *Coffea arabica* var. Catuai vermelho foram semeadas em bandejas plásticas no dia 15/09/2022, aproximadamente 65 dias após a semeadura quando as plântulas apresentavam suas folhas cotiledonares expandidas, foram transplantadas para saco plástico de 2 kg onde permaneceram até o dia 18/06/23, quando foram transferidas para o solo, seguindo o espaçamento de 2 x 1 m, em uma população de 10 mil plantas por hectare, as características químicas do solo utilizado no estudo estão presentes na tabela 1. Após o transplante, as plântulas foram separadas em quatro grupos correspondentes aos níveis de sombreamento, cada sombrite foi colocado a uma altura de 1 m do solo de modo a não sobrepor as mudas vizinhas de cada unidade experimental sombreada.

Tabela 1.

Características químicas da camada superficial do solo utilizado no experimento.
Serra Talhada –PE, 2023.

Camada (cm)	P mg dm ⁻³	pH (H ₂ O)	Ca	Mg	Na	K	Al	H
			-----cmolc dm ⁻³ -----					
0-40	252	6,4	4	1,5	0,03	0,7	0	0

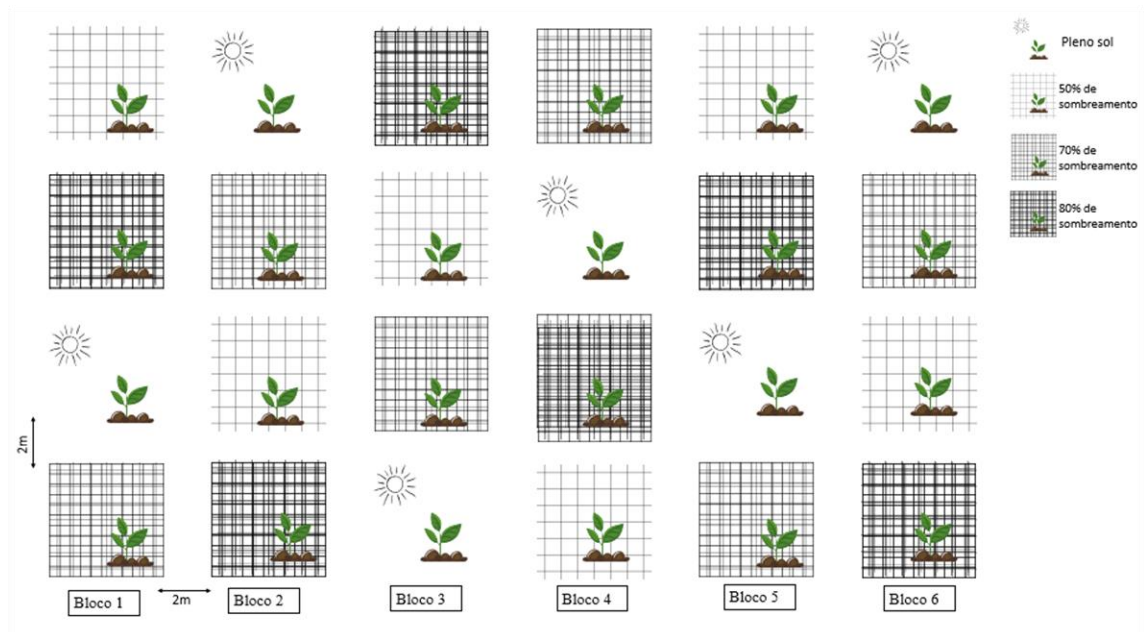
Fonte: laboratório do IPA.

Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi realizado seguindo o delineamento em blocos casualizados, com 4 tratamentos e 6 repetições, totalizando 24 unidades experimentais. Os quatro tratamentos foram: 1-Pleno sol; 2- 50% de sombreamento, 3- 70% de sombreamento e 4- 80% de sombreamento. Antes do início da tomada de dados às plântulas foram mantidas de 18/06/23 a 13/12/23 nos níveis de sombreamento correspondentes a cada tratamento, figura 2.

Figura 2.

Croqui da área experimental, plantas de café submetidas a cada nível de sombreamento. Serra Talhada, PE. 2024.



Fonte: autor, 2024.

Tratos Culturais

As adubações de plantio e crescimento foram realizadas de acordo com a análise de solo, tabela 1 e com base no manual de recomendação de adubação do estado de Pernambuco, conforme recomendado para a cultura (Cavalcanti, 2008).

O controle de ervas daninhas foi realizado de forma manual sempre que necessário, ao decorrer do experimento foram feitas 2 aplicações de inseticida a base de (METOMIL) 600 mL ha⁻¹ e fungicida a base de (MANCONZEB) 1,5 kg ha⁻¹, para o controle de insetos-praga e doenças que comumente ocorrem nos locais de cultivo.

O uso da irrigação foi realizado diariamente com base na evapotranspiração da cultura, seguindo o modelo proposto por Penman-Monteith FAO 56:

$$Etc = (Eto \cdot Kc) - P$$

Em que:

Etc= Evapotranspiração da cultura (mm dia⁻¹);

ETo= evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹)

Kc= Coeficiente de cultivo

P=Precipitação (mm)

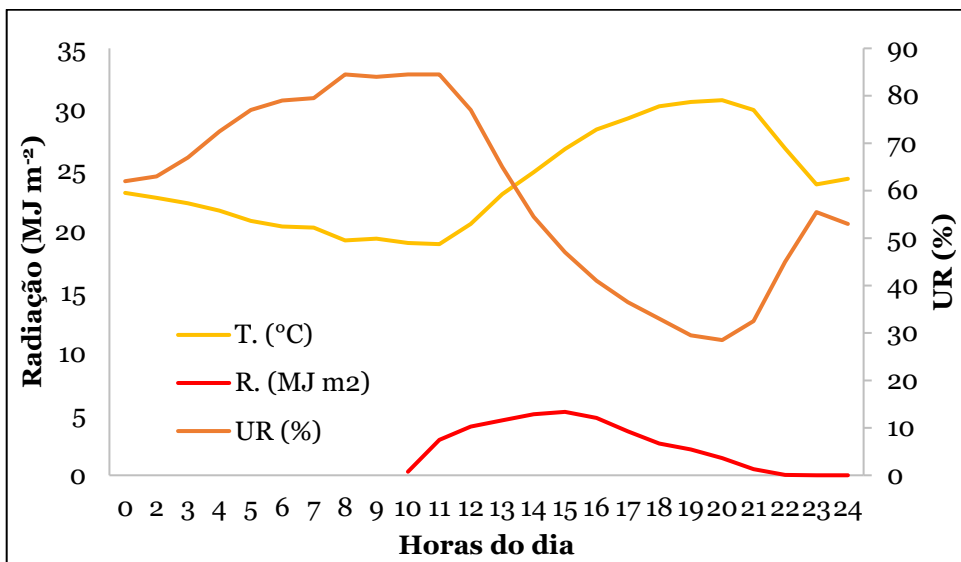
Aferições de trocas gasosas em plantas jovens de café

As aferições foram realizadas no dia 13 de dezembro de 2023 entre 10 e 11 horas da manhã, nas folhas saudias do terceiro ramo plagiotrópicos, a partir do ápice de cada planta, as condições climáticas no momento das aferições estão presentes na figura 3, onde foram realizadas aferições em seis plantas em cada nível de sombreamento, excetuando-se as duas plantas das extremidades (bordaduras). As variáveis fisiológicas foram: fotossíntese líquida

(PN), transpiração (T), condutância estomática (gs) e a Concentração de CO₂ interna (Ci) utilizando o analisador de Gás por infravermelho (IRGA-Ci340). Além disso, foi obtida a eficiência da carboxilação (EC= Pn/Ci); eficiência de uso da água (EUA= Pn/T) e a eficiência intrínseca do uso da água (EIUA= Pn/gs).

Figura 3.

Temperatura média (T, °C); Radiação solar global (R, MJ m⁻²) e umidade relativa (UR, %) do dia da avaliação. Serra talhada, Pernambuco. 2023.



Fonte: INMET, 2023.

Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade de distribuição pelo teste de Shapiro-Wilk com nível de significância de 5% ($p < 0,05$), posteriormente, foi feita a análise de variância (ANOVA), pelo teste de F ($p < 0,05$). Quando significativo, realizou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$), por meio do software estatístico R versão 4.1.3 (R Core Team, 2020). Em seguida, foi aplicada a análise dos componentes principais (ACP) a fim de examinar as inter-relações entre as variáveis fisiológicas do café arábica *Coffea arábica* var. Catuai vermelho em diferentes sombreamentos. Os componentes principais (CPs) significativos foram selecionados de acordo com o critério de Kaiser (1960), considerando apenas autovalores superiores a 1,0 para a validade da aplicação da (ACP) (Lamichhane *et al.*, 2021). A análise dos componentes principais foi feita utilizando o software PAST 4.03 (Hammer *et al.*, 2001).

Resultados e discussões

Os resultados de fotossíntese líquida (Pn) foram influenciados significativamente pelos diferentes sombreamentos, de modo que as plantas com 70% de sombreamento apresentaram maiores valores de Pn, do que quando colocadas a pleno sol ou a 80% de sombreamento. Em

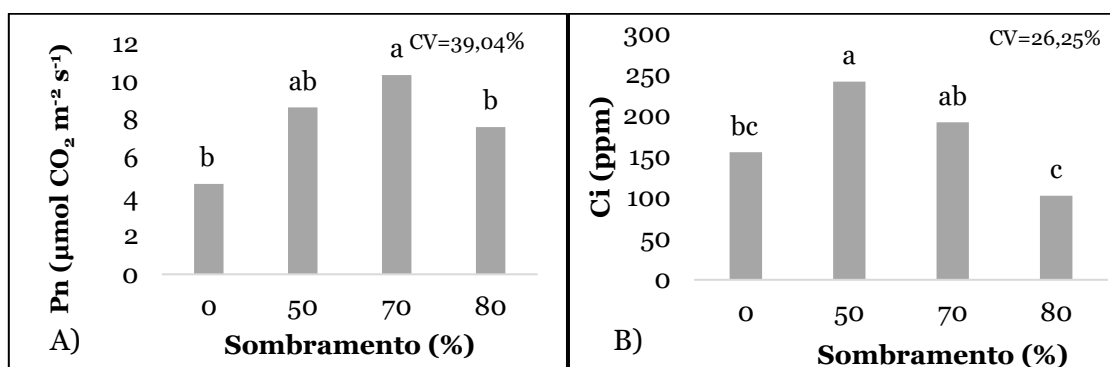
contrapartida, a condição de pleno sol resultou em redução superior a 50% na fotossíntese líquida. Estes resultados sugerem que as plantas jovens de café Catuí vermelho se desenvolvem melhor em ambientes semiárido sob sombreamentos entre 50 e 70%. Tal sugestão se assemelha aos resultados encontrados por (Tatagiba *et al.*, 2010, Córdova *et al.*, 2016), que observaram melhor desenvolvimento em sombreamento inferior a 60% comparado a pleno sol.

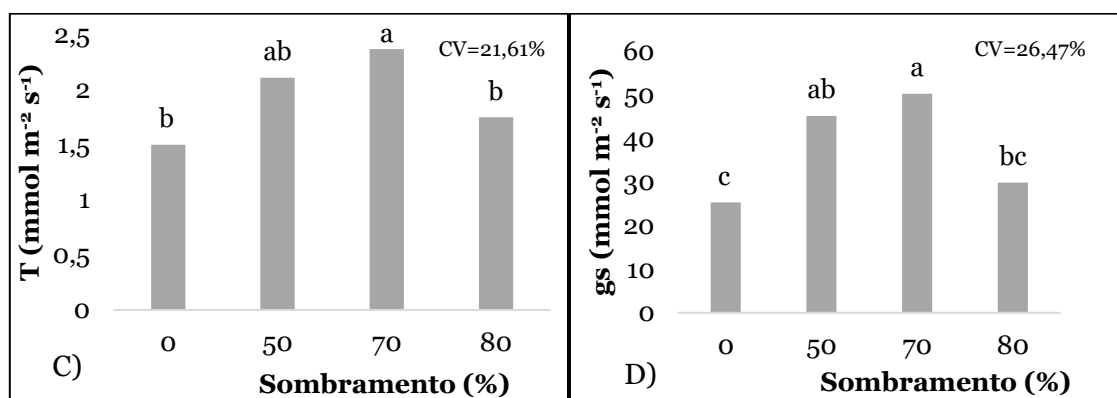
Ainda neste contexto, Ribeiro *et al.* (2019), obtiveram resultados semelhantes, pois de acordo com os autores, a restrição de luz (em níveis adequados), melhora o mecanismo fotossintético e as trocas gasosas do cafeeiro arábica durante o crescimento inicial, devido principalmente a capacidade fotossintética ser reduzida quando sobrecarregadas pelo excesso de luz (Mathur *et al.*, 2018).

Alguns autores enfatizam que as folhas desenvolvidas a pleno sol em comparação com as folhas em condições de sombreamento, em sua maioria, apresentam-se geralmente mais grossas e com maior espessura do parênquima paliçádico, possuem maior densidade estomática, e via de regra, maior concentração de nitrogênio por unidade de área foliar, contudo, possuem menos clorofilas A e B em sua massa foliar, além de apresentarem maiores taxas de fotossíntese e aumento no teor de pigmentos fotoprotetores (Martins *et al.*, 2014; Assis *et al.*, 2019; Venâncio *et al.*, 2019; Pérez-Molina *et al.*, 2021). No entanto, nossos resultados sugerem que as plantas em condições de pleno sol e com 80% de sombreamento, reduziram suas taxas fotossintéticas, sua condutância estomática, transpiração e concentração de CO₂ interno Figuras 4 (A; B; C e D), respectivamente.

Figuras 4 (A; B; C e D).

Parâmetros fisiológicos: A) Fotossíntese líquida (Pn); B) Concentração de carbono interno (Ci); C) Transpiração (T) e D) Condutância estomática (gs) em plantas jovens de *Coffea arábica*, var. Catuaí vermelho submetidas a quatro tratamentos: 1-Pleno sol; 2- 50% de sombreamento, 3- 70% de sombreamento e 4- 80% de sombreamento.





*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$). CV= coeficiente de variação.

De modo geral, os tratamentos a pleno sol e com 80% de sombreamento foram semelhantes estatisticamente e resultaram nas menores taxas de fotossíntese líquida, condutância estomática, concentração de CO₂ interno e transpiração. Esse fato também foi observado por Zhu *et al.* (2017) que estudando a influência da luz em plantas de pak-choi (*Brassica campestris* ssp. *Chinensis* Makino L. "ziyi") verificaram que a taxa fotossintética diminuiu significativamente em plantas submetidas a pouca luz (250 a 750 μmol fótons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) em comparação com luz normal (1000 μmol fótons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$), indicando que a capacidade fotossintética é prejudicada em tratamentos com determinado nível de sombra.

As plantas tiveram maiores valores de transpiração nos tratamentos de 50 e 70% de sombreamento, enquanto que os menores valores foram observados nas plantas submetidas a pleno sol e a 80% de sombreamento, isso pode ter ocorrido em função das condições climáticas no dia das aferições figura 3, onde verificou-se grande variação da umidade relativa do ar com maiores valores no início da manhã diminuindo ao longo do dia, gerando uma média abaixo de 50% da UR. Essa condição, aliadas a maior incidência de radiação solar acarreta em estresses capazes de diminuir a transpiração em função principalmente do fechamento estomático figura 4B.

Os valores da EC, a EUA e a EIUA não sofreram influência significativa dos diferentes sombreamentos figuras 5A; B e C. Contudo, maiores valores relativos de eficiência de carboxilação ocorreram em função das coberturas de 70 e 80% respectivamente, mostrando que esses níveis de sombreamento promoveram um ambiente favorável, diminuindo os estresses causados pela radiação e temperatura. Segundo Navarro *et al.* (2022), existem condições específicas para ocorrer alta eficiência de carboxilação, como: disponibilidade de ATP e NADPH, quantidade de luz, nível de temperatura e das concentrações de CO₂ para ser disponibilizado no mesófilo e ocorrer a carboxilação (Nobre *et al.*, 2023).

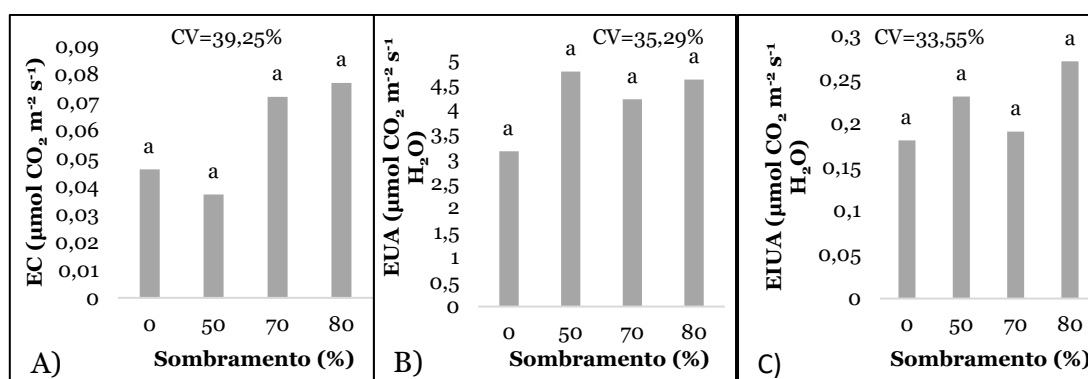
A EUA diz respeito a quantidade de carbono fixado pela planta por molécula de água e quando as plantas apresentaram taxa fotossintética líquida superior à taxa transpiratória, tem-se maior EUA (Chagas *et al.*, 2019).

Tais resultados sugerem que em condições sombreadas adequadas as plantas apresentam maior eficiência agrônômica, comparadas a pleno sol, que tendem a ter maior transpiração e, conseqüentemente, menor eficiência no uso da água, apesar de não ter sido observado diferença significativa neste estudo, para essa variável (Figura 5B).

Vale observar, em particular, o comportamento das plantas de café entre os tratamentos com 50% e 70% de sombreamento, apesar de não se verificar diferença significativa entre os tratamentos é importante destacar maior eficiência do uso de água quando em menor sombreamento (50%), ratificando a melhor condição do ambiente para melhor EC (Figuras 5 A; B e C).

Figuras 5 (A; B e C).

Parâmetros fisiológicos: A) Eficiência de Carboxilação (EC); B) Eficiência de uso da água (EUA) e C) Eficiência intrínseca do uso da água (EIUA) de mudas de *Coffea arabica* var. Catuai vermelho submetidas a quatro tratamentos: 1-Pleno sol; 2- 50% de sombreamento, 3- 70% de sombreamento e 4- 80% de sombreamento.



*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$). CV= coeficiente de variação.

Na figuras 6 estão representadas mostram a análise de componentes principais (PCA) e a relação entre variáveis fisiológicas do *Coffea arabica* var. Catuai vermelho em função os diferentes sombreamentos, sugerindo que os dois eixos (CP1 e CP2) explicam 84,67% da variação dos dados, sendo 54,06% explicado pelo primeiro componente principal (PC1) e 30,61% pelo segundo componente principal (PC2), as linhas que ligam as variáveis fisiológicas ao centro de origem do gráfico, são chamadas de vetores (Miroslavljevic *et al.*, 2018). Desta forma, os ângulos formados entre os vetores determinam a relação entre os níveis de sombreamento, como também entre as variáveis fisiológicas investigadas e os níveis de sombreamento. Por exemplo, as variáveis que apresentarem ângulo agudo se correlacionam

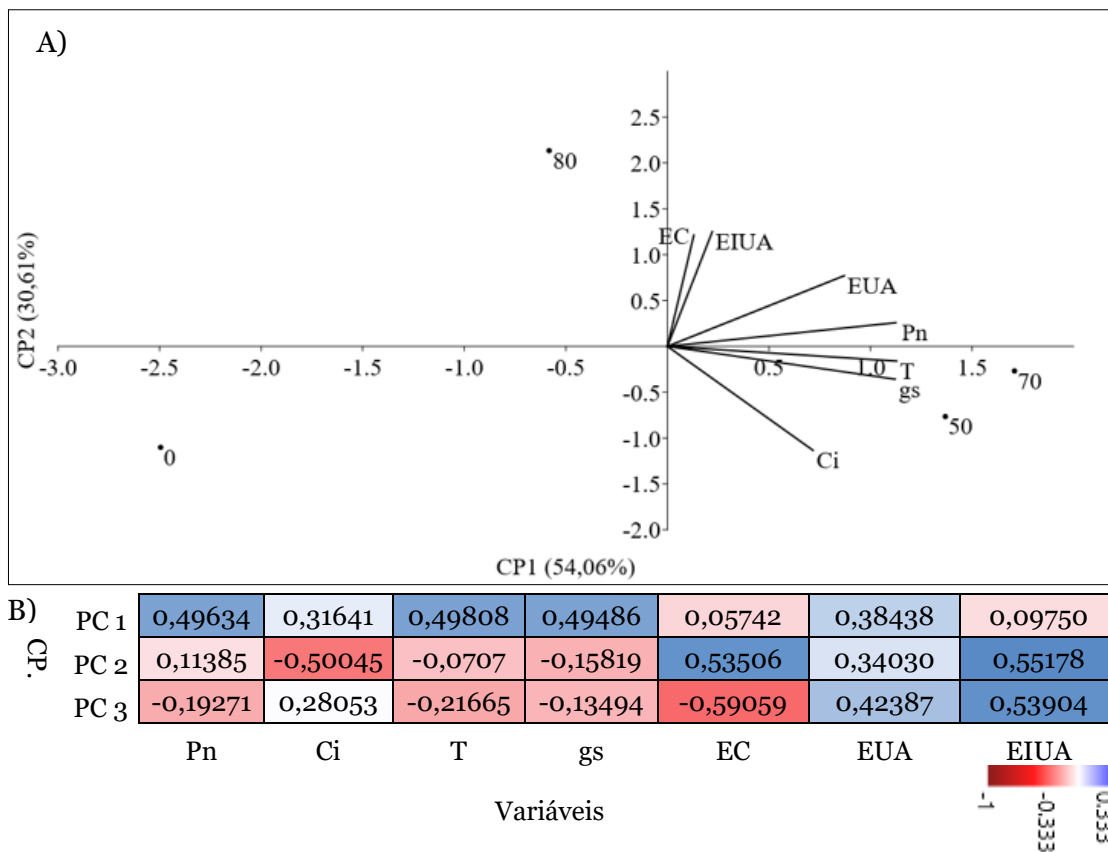
positivamente, já as que apresentarem entre si, ângulos obtusos, se correlacionam negativamente e as que tiverem ângulo reto (de 90°) entre si, não apresentam correlação.

Neste entendimento, a condutância estomática (gs), a transpiração (T) e a fotossíntese líquida (Pn) estão associadas ao nível de cobertura de 70%, enquanto que a concentração de carbono interno revelou melhor associação com o tratamento 50% de cobertura.

Na figura 6B observamos as variáveis que compõem cada componente principal, sendo, o CP1 composto pelas variáveis de maiores cargas como Pn (0,49634), T (0,49808) e gs (0,49486), enquanto que o CP2 é composto por Ci (-0,50045) e EIUA (0,55178), por fim, o CP3 é composto por EC (-0,59059) e EUA (0,42387), respectivamente. As cargas das variáveis mostra que Pn, T, gs, EC, EUA e EIUA se correlacionam positivamente, enquanto que o Ci e o EC se correlacionam negativamente, evidenciando que apesar os elevados índices de CO₂ interno, a planta sessou a assimilação do CO₂ em função domenor investimentoem proteínas associadas à Rubisco (Mendes *et al.*, 2017).

Figuras 6 (A e B).

Análise de componentes principais (PCA) mostrando a relação entre variáveis fisiológicas do *Coffea arabica* var. Catuaí vermelho submetida a quatro tratamentos: 1-Pleno sol; 2- 50% de sombreamento, 3- 70% de sombreamento e 4- 80% de sombreamento. A) Cargas variáveis nos dois primeiros eixos e B) matriz de componentes com fatores de carga para cada variável nos primeiros três PCs com autovalores maiores que 1,0.



* Pn= fotossíntese líquida; Ci= concentração de carbono interno; T= Transpiração; gs= condutância estomática; EC= eficiência de Carboxilação; EUA= eficiência de uso da água; EIUA= eficiência intrínseca do uso da água; CP1= componente principal 1; CP2= componente principal 2; CP= componentes principais.

Conclusões

Os diferentes sombreamentos influenciaram as características fisiológicas das plantas jovens de café arábica var. Catuaí vermelho;

As plantas jovens de café var. Catuaí vermelho submetidas aos tratamentos de 50 e 70 % de sombreamento aumentaram suas taxas fotossintéticas;

As condições de cultivo em pleno sol e a 80% de sombreamento reduziram a fotossíntese das plantas jovens do café arábica var. Catuaí vermelho;

A eficiência do uso da água; a eficiência de carboxilação e a eficiência intrínseca do uso de água não sofreram influência significativa dos sombreamentos.

REFERÊNCIAS

- Assis, B. D. P., Gross, E., Pereira, N. E., Mielke, M. S., & Gomes Júnior, G. A. (2019). Growth response of four Conilon coffee varieties (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) to different shading levels. *Journal of Agricultural Science*, 11(7), 29. URL: <https://doi.org/10.5539/jas.v11n7p29>
- Bernado, W. D. P., Rakocevic, M., Santos, A. R., Ruas, K. F., Baroni, D. F., Abraham, A. C., ... & Rodrigues, W. P. (2021). Biomass and leaf acclimations to ultraviolet solar radiation in juvenile plants of *Coffea arabica* and *C. canephora*. *Plants*, 10(4), 640. <https://doi.org/10.3390/plants10040640>
- Bez, C., Esposito, A., Musonerimana, S., Nguyen, T. H., Navarro-Escalante, L., Tesfaye, K., ... & Venturi, V. (2023). Comparative study of the rhizosphere microbiome of *Coffea arabica* grown in different countries reveals a small set of prevalent and keystone taxa. *Rhizosphere*, 25, 100652. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100652>
- Carins Murphy, M. R., Jordan, G. J., & Brodribb, T. J. (2012). Differential leaf expansion can enable hydraulic acclimation to sun and shade. *Plant, Cell & Environment*, 35(8), 1407-1418. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2012.02498.x>
- Castanheira, D. T., Rezende, T. T., Baliza, D. P., Guedes, J. M., Carvalho, S. P., Guimarães, R. J., & Viana, M. T. R. (2016). Potential use of anatomical and physiological characteristics in the selection of coffee progenies. http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1105/pdf_1105

- Cavalcanti, F. D. A. (1998). Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2a. aproximacao. IPA.
- Chagas, W. F. T., Silva, D. R. G., Lacerda, J. R., Pinto, L. C., Andrade, A. B., & Faquin, V. (2019). Nitrogen fertilizers technologies for coffee plants.<http://dx.doi.org/10.25186/cs.v14i1>
- Chen, J., Wu, S., Dong, F., Li, J., Zeng, L., Tang, J., & Gu, D. (2021). Mechanism underlying the shading-induced chlorophyll accumulation in tea leaves. *Frontiers in Plant Science*, 12, 779819.<https://doi.org/10.3389/fpls.2021.779819>
- Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2022). Safra brasileira de café. <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>.
- DaMatta, C.P.; Oliveira, M.; Maestri, R.S.; Barros. (2010). Café: Meio Ambiente e Fisiologia da Lavoura Ecofisiologia das Culturas Arbóreas Tropicais, *Nova Science Publishers*, 181-216.
- DaMatta, F. M. (2004). Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field crops research*, 86(2-3), 99-114.<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.09.001>
- Davis, A. P., Chadburn, H., Moat, J., O'Sullivan, R., Hargreaves, S., & Nic Lughadha, E. (2019). High extinction risk for wild coffee species and implications for coffee sector sustainability. *Science advances*, 5(1), eaav3473.<https://doi.org/10.1126/sciadv.aav3473>
- de Abreu, D. P., Roda, N. D. M., de Abreu, G. P., Bernado, W. D. P., Rodrigues, W. P., Campostrini, E., & Rakocevic, M. (2022). Kaolin film increases gas exchange parameters of coffee seedlings during transference from nursery to full sunlight. *Frontiers in Plant Science*, 12, 784482.<https://doi.org/10.3389/fpls.2021.784482>
- dos Reis, C. O., Magalhães, P. C., Avila, R. G., Almeida, L. G., Rabelo, V. M., Carvalho, D. T., ... & de Souza, T. C. (2019). Action of N-Succinyl and N, O-Dicarboxymethyl chitosan derivatives on chlorophyll photosynthesis and fluorescence in drought-sensitive maize. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38, 619-630.<https://doi.org/10.1007/s00344-018-9877-9>
- Gokavi, N., Mukharib, D. S., Mote, K., Manjunatha, A. N., e Raghuramulu, Y. (2019). Estudos sobre geometria de plantio e métodos de poda para melhorar a produtividade e reduzir o trabalho pesado em café arábica cultivar Chandragiri. *J. Colheita. Erva daninha*.15, 58–64.
- Hammer, Ø.; Harper, D.A.T.; Ryan, P.D. (2001). PAST: Palaeontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. Electron.* 4, (9).https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/spain.htm

- Hatamian, M., Arab, M., & Roozban, M. R. (2015). Stomatal behavior of two rose cultivar under different light intensities. *J. Agric. Crops Prod*, 17, 1-11. https://jci.ut.ac.ir/article_56490_fc658248223d8a01a295de3614e8bd8a.pdf?lang=en
- Hu, F., Bi, X., Liu, H., Fu, X., Li, Y., Yang, Y., ... & Shi, R. (2022). Transcriptome and carotenoid profiling of different varieties of *Coffea arabica* provides insights into fruit color formation. *Plant Diversity*, 44(3), 322-334. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2021.11.005>
- León-Burgos, A. F., Unigarro, C., & Balaguera-López, H. E. (2022). Can prolonged conditions of water deficit alter photosynthetic performance and water relations of coffee plants in central-west Colombia?. *South African Journal of Botany*, 149, 366-375. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.06.034>
- Lisboa, L. A. M., Cunha, M. L. O., Nakayama, F. T., de FIGUEIREDO, P. A. M., da Silva Viana, R., Ramos, S. B., & Ferrari, S. (2021). Morphophysiological characteristics of arabic coffee. *Nativa*, 9(1), 36-43. <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i1.11066>
- Martins, S. C., Galmes, J., Cavatte, P. C., Pereira, L. F., Ventrella, M. C., & DaMatta, F. M. (2014). Understanding the low photosynthetic rates of sun and shade coffee leaves: bridging the gap on the relative roles of hydraulic, diffusive and biochemical constraints to photosynthesis. *PLoS One*, 9(4), e95571. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095571>
- Matiello, J. B., Santinato, R., Garcia, A. W. R., ALMEIDA, S. D., & Fernandes, D. R. (2010). Cultura de café no Brasil: manual de recomendações. *Rio de Janeiro: MAPA/Procafé*.
- Mayoli, R. N., & Gitau, K. M. (2012). The effects of shade trees on physiology of arabica coffee. *African Journal of Horticultural Science*, 6, 35-42.
- Mendes, K. R., Marengo, R. A., & Nascimento, H. C. S. (2017). Velocidade de carboxilação da rubisco e transporte de elétrons em espécies arbóreas em resposta a fatores do ambiente na Amazônia Central. *Ciência Florestal*, 27, 947-959. <https://doi.org/10.5902/1980509828666>
- Mirosavljević, M., Momčilović, V., Jocković, B., Zorić, M., Aćin, V., Denčić, S., & Pržulj, N. (2018). Identification of Favourable Testing Locations for Barley Breeding in South Pannonian Plain. *Journal of Agricultural Sciences*, 24(3), 303-311. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.451279>
- Nascimento, E. A. D., Oliveira, L. E. M. D., Castro, E. M. D., Delú Filho, N., Mesquita, A. C., & Vieira, C. V. (2006). Morphophysiological alternations in leaves of *Coffea arabica* L. plants in consort with *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. *Ciência Rural*, 36, 852-857. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000300019>

- Navarro, F. E., Santos, J. A., Martins, J. B., Cruz, R. I., Silva, M. M. D., & Medeiros, S. D. S. (2022). Physiological aspects and production of coriander using nutrient solutions prepared in different brackish waters. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 26(11), 831-839. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n11p831-839>
- Nobre, R. G., Rodrigues Filho, R. A., Lima, G. S. de., Linhares, E. L. da R., Soares, L. A. dos A., Silva, L. de A., Teixeira, A. D. da S., & Macumbi, N. J. V.. (2023). Gas exchange and photochemical efficiency of guava under saline water irrigation and nitrogen-potassium fertilization . *Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental*, 27(5), 429–437. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n5p429-437>.
- Pérez-Molina, J. P., de Toledo Picoli, E. A., Oliveira, L. A., Silva, B. T., de Souza, G. A., dos Santos Rufino, J. L., ... & Ferreira, W. P. M. (2021). Treasured exceptions: Association of morphoanatomical leaf traits with cup quality of *Coffea arabica* L. cv. “Caturá”. *Food research international*, 141, 110118. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110118>
- Racskó, J., Szabó, T., Nyéki, J., Soltész, M., & Nagy, P. T. (2010). Characterization of sunburn damage to apple fruits and leaves. *International Journal of Horticultural Science*, 16(4), 15-20. <https://doi.org/10.31421/IJHS/16/4/909>
- Rakocevic, M., Batista, E. R., Pazianotto, R. A., Scholz, M. B., Souza, G. A., Campostrini, E., & Ramalho, J. C. (2021). Leaf gas exchange and bean quality fluctuations over the whole canopy vertical profile of Arabic coffee cultivated under elevated CO₂. *Functional Plant Biology*, 48(5), 469-482. <https://doi.org/10.1071/FP20298>
- Rezai, S., Etemadi, N., Nikbakht, A., Yousefi, M., & Majidi, M. M. (2018). Effect of light intensity on leaf morphology, photosynthetic capacity, and chlorophyll content in Sage (*Salvia officinalis* L.). *Horticultural Science and Technology*, 36(1), 46-57. <https://doi.org/10.12972/kjhst.20180006>
- Ribeiro, A. F. F., Matsumoto, S. N., Pereira, L. F., Oliveira, U. S., Teixeira, E. C., & Ramos, P. A. S. (2019). Content of photosynthetic pigments and leaf gas exchanges of young coffee plants under light restriction and treated with paclobutrazol. *Journal of Experimental Agriculture International*, 32(6), 1-13. <https://doi.org/10.9734/JEAI/2019/v32i630128>
- Rocha, O. C., Guerra, A. F., Silva, F. A. M., Machado Júnior, J. R. R., de ARAÚJO, M. C., & Silva, H. C. (2006). Programa para monitoramento de irrigação do cafeeiro no cerrado.
- Santos, L.A.; Lorenzetti, E.R.; Souza, P.E.; de Paula, P.V. A.A.; e Luz, A.L.F. (2016). Escaldamento no café: exposição facial e danos fotossintéticos. *Tecnol. Agropec*, 10, 13–17.

- Sharma, R. R., Datta, S. C., & Varghese, E. (2018). Effect of Surround WP®, a kaolin-based particle film on sunburn, fruit cracking and postharvest quality of 'Kandhari' pomegranates. *Crop Protection*, 114, 18-22. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.08.009>
- Silva, E. A. Á. D. (2019). TROCAS GASOSAS, CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CAFEEIROS (*Coffea arabica*) IRRIGADOS EM CERES-GOÍÁS. <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/1780>
- Tadesse, M. (2021). Produção em massa e partição de biomassa em mudas de genótipos de café Harerghe sob irrigação deficitária em Jimma, sudoeste da Etiópia. *Revista Americana de Ciências da Vida*, 9(4), 67-72.
- Tang Xinglin, Jiang Jiang, Jin Hongping, Zhou Chen, Liu Guangzheng, & Yang Hua. (2019). Efeitos do sombreamento no teor de clorofila e propriedades fotossintéticas de *Phoebe bougainvillea*. *Yingyong Shengtai Xuebao*, 30(9).
- Taugourdeau S, Maire G, Avelino J, Jones JR, Ramirez LG, Quesada MJ, Charbonnier F, Gómez-Delgado F, Harmand J, Rapidel B, Vaast P, Roupsard O (2014) Leaf area index as an indicator of ecosystem services and management practices: An application for coffee agroforestry. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 192:19-37. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.042>
- Thakur, M., Bhatt, V., & Kumar, R. (2019). Effect of shade level and mulch type on growth, yield and essential oil composition of damask rose (*Rosa damascena* Mill.) under mid hill conditions of Western Himalayas. *PloS one*, 14(4), e0214672. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214672>
- Ulm, R., & Jenkins, G. I. (2015). Q&A: How do plants sense and respond to UV-B radiation?. *BMC biology*, 13, 1-6. <https://doi.org/10.1186/s12915-015-0156-y>
- Venancio, L. P., Do Amaral, J. F. T., Cavatte, P. C., Vargas, C. T., Dos Reis, E. F., & Dias, J. R. (2019). Vegetative growth and yield of robusta coffee genotypes cultivated under different shading levels. *Bioscience Journal*, 35(5), 1490-1503. <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/45039/27073>
- Venancio, L. P., Filgueiras, R., Mantovani, E. C., do Amaral, C. H., da Cunha, F. F., dos Santos Silva, F. C., ... & Cavatte, P. C. (2020). Impact of drought associated with high temperatures on *Coffea canephora* plantations: a case study in Espírito Santo State, Brazil. *Scientific Reports*, 10(1), 19719. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76713-y>
- Wang, Y.N.; Dong, L.N.; Ding, Y.F.; Li, H.; Song, P.; Cai, H. & Xu, Z.H. (2020). Effects of shading on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of four *Corydalis* species. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*, 31(3). <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.202003.004>

Zhu H, Li X, Zhai W, Liu Y, Gao Q, Liu J, Ren L, Chen H, Zhu Y. Effects of low light on photosynthetic properties, antioxidant enzyme activity, and anthocyanin accumulation in purple pak-choi (*Brassica campestris* ssp. *Chinensis* Makino). *PLoS One*. 2017 Jun 13;12(6):e0179305. doi: 10.1371/journal.pone.0179305. PMID: 28609452; PMCID: PMC5469474.