



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Caracterização ecofisiológica e espectral de cafeeiro consorciado com arbóreas



*Meline de Oliveira Santos*¹; *Vânia Aparecida Silva*²; *Helbert Rezende de Oliveira Silveira*³; *Margarete Marin Lordelo Volpato*⁴; *Gladyston Rodrigues Carvalho*⁵; *Ester Alice Ferreira*⁶

¹Bióloga, Bolsista Consórcio Pesquisa Café, EPAMIG/URESM, Lavras- MG, Fone: (35) 3829-1190, melineoli@hotmail.com

²Agrônoma, Pesquisadora, EPAMIG/URESM, Bolsista BIPDT- FAPEMIG, Lavras- MG, vania.silva@epamig.ufla.br

³Agrônomo, Bolsista de Pós-doutorado FAPEMIG/EPAMIG, EPAMIG/URESM, Lavras- MG, helbert_rezende@yahoo.com.br

⁴Eng. Florestal, Pesquisadora, EPAMIG/URESM, Bolsista BIPDT- FAPEMIG, Lavras- MG, margarete@epamig.ufla.br

⁵Agrônomo, Pesquisador, EPAMIG/URESM, Bolsista BIPDT- FAPEMIG, Lavras- MG, carvalho@epamig.ufla.br

⁶Agrônoma, Pesquisadora, EPAMIG/URESM, Bolsista BIPDT- FAPEMIG, Lavras- MG, ester@epamig.br

RESUMO: O objetivo do trabalho foi avaliar o impacto do cultivo consorciado de diferentes espécies arbóreas nas características fisiológicas de cafeeiros em fase de formação. O experimento foi instalado em novembro de 2012, no município de Santo Antônio do Amparo-MG. Três espécies arbóreas foram implantadas concomitantemente com a lavoura de cafeeiro cultivar Catuaí 99 (3,40 x 0,65 m). Além dos cafeeiros em monocultivo, foram implantadas as espécies *Macadamia integrifolia* (macadâmia) nos espaçamentos (5 x 13,6 m e 8 x 13,6 m), *Persea americana* (abacate) e *Acacia mangium* (acácia), ambas distribuídas em dois espaçamentos (7 x 13,6 m e 14 x 13,6 m) entre as plantas na linha dos cafeeiros. As avaliações de índices espectrais, trocas gasosas, fluorescência e potencial hídrico foram realizadas no mês de agosto de 2014. As variáveis foram analisadas através de Análise de Componentes Principais (ACP) pelo programa R. De maneira geral, as análises indicaram que, nos sistemas consorciados com abacate e acácia, o cafeeiro apresentou maiores valores de condutância estomática e dos índices espectrais WBI (índice de banda de água) e CRI1 (índice de reflectância de carotenoides), com menores valores de qN (quenching não-fotoquímico). Tais resultados indicaram que esses cafeeiros se encontravam com uma maior concentração de água, maior capacidade de trocas gasosas e uma maior eficiência fotoquímica. Cafeeiros consorciados com acácia no maior espaçamento ainda apresentaram maior eficiência do uso da água (EUA), devido a uma menor transpiração, conseqüentemente com uma redução na perda de água. Por outro lado, cafeeiros consorciados com macadâmia apresentaram menores valores de condutância estomática, WBI, CRI1 e EUA, com maiores valores de qN e transpiração.

PALAVRAS-CHAVE: reflectância, eficiência do uso da água, fluorescência da clorofila a

ECOPHYSIOLOGICAL AND SPECTRAL CHARACTERIZATION OF INTERCROPPED COFFEE WITH TREES SPECIES

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the impact of intercropping of different tree species in the physiological characteristics of coffee during formation. The experiment was installed in November 2012, in Santo Antonio do Amparo-MG. Three tree species were implemented concurrently with the coffee crop of cultivar Catuaí 99 (3,40 x 0,65 m). In addition to coffee in monoculture, the species *Macadamia integrifolia* in the spacing (5 x 13,6 m and 8 x 13,6 m), *Persea americana* and *Acacia mangium*, both distributed in two spaces (7 x 13,6 m and 14 x 13 6 m), were implanted between plants in the row of trees. Evaluations of spectral indices, gas exchange, fluorescence and water potential were held in August 2014. The variables were analyzed by Principal Component Analysis (PCA) by R. program. Overall, these results indicate that, in systems intercropped with *Persea americana* and *Acacia mangium*, coffee showed higher values of stomatal conductance and spectral indices WBI (water band index) and CRI1 (carotenoids reflectance index), with lower values of qN (non-photochemical quenching). These results indicated that these were coffee with a higher water concentration, greater capacity for gas exchange and increased photochemical efficiency. In coffee trees intercropped with



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:



O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Acacia mangium wider spacing also had higher water use efficiency (WUE), due to a lower transpiration, thus resulting in a decreased water loss. On the other hand, coffee trees intercropped with *Macadamia integrifolia* showed lower values of stomatal conductance, WBI, CRI1 and WUE, with higher qN values and transpiration.

KEYWORDS: reflectance, water use efficiency, chlorophyll fluorescence

INTRODUÇÃO

Variações no clima, caracterizadas por episódios de seca ou distribuição irregular de chuvas, têm sido observadas com frequência na região Sul de Minas Gerais. O déficit hídrico, provocado pela escassez e irregularidade das chuvas, e agravado pelas condições de elevadas temperaturas, causaram danos às lavouras de café, atingidas na fase de formação e enchimento de grãos. Esses sintomas já foram constatados em algumas lavouras do sul de Minas e culminaram em redução significativa na safra de 2014, que apresentou clima mais atípico (CONAB, 2014).

Diante dessas adversidades, arborização pode ser uma estratégia para melhorar as condições microclimáticas do cafezal, pois além do efeito direto na redução da radiação, altera o microclima e o balanço hídrico da lavoura como efeitos indiretos da disponibilidade de água no solo e na atmosfera (Gomes et al., 2008). O sombreamento reduz a irradiância incidente e o déficit de pressão de vapor entre a copa e a atmosfera, o que pode favorecer a eficiência do uso da água do cafeeiro e minimizar a ocorrência da escaldadura. Entretanto, a intensidade de sombreamento, o tipo de copa da árvore e o uso de material genético apropriado têm se mostrado como fatores limitantes para o sucesso dos sistemas de cultivo consorciados com cafeeiros (Pezzopane et al., 2010).

Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar o impacto do cultivo consorciado com diferentes espécies arbóreas nas características fisiológicas de cafeeiros em fase de formação.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi instalado em novembro de 2012, no município de Santo Antônio do Amparo-MG, região produtora de café do Sul de Minas. A região apresenta altitude em torno de 1050 m, temperatura média de 19,8 °C e precipitação 1670 mm/ano.

Três espécies madeireiras, em dois espaçamentos distintos, foram implantadas concomitantemente com a lavoura de cafeeiro cultivar Catuaí 99 (3,40 x 0,65 m). Além dos cafeeiros em monocultivo, foram implantadas as espécies *Macadamia integrifolia* (macadâmia) nos espaçamentos (5 x 13,6 m e 8 x 13,6 m), *Persea americana* (abacate) e *Acacia mangium* (acácia), ambas distribuídas em dois espaçamentos (7 x 13,6 m e 14 x 13,6 m) entre as plantas na linha dos cafeeiros. No espaçamento das entrelinhas foi fixado três linhas de cafeeiros intercalados às espécies de sombra, num total de 13,6 m entre as linhas arborizadas. Os experimentos foram conduzidos em delineamento em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições, onde foram avaliadas duas plantas em cada, localizadas a 1,95m à esquerda e à direita da espécie arbórea.

As avaliações fisiológicas foram realizadas no mês de agosto de 2014. Valores referentes ao potencial hídrico (PH) das plantas foram obtidos com auxílio de uma câmara de pressão tipo Scholander (PMS Instruments- Plant Moisture- Modelo 1000) antes do amanhecer (Ψ_{pd} - MPa). Avaliou-se o espectro de reflectância foliar com o auxílio de um mini espectrômetro foliar CI-710 (CID Bioscience, Camas, WA), que irradia sobre a amostra de folha a luz de um LED azul e de uma lâmpada incandescente, fornecendo saída na faixa do visível ao infravermelho (intervalo 400-1000nm). Com os valores obtidos, inferiu-se os índices descritos abaixo pelas equações:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

- 1) Índice de reflectância fotoquímica - PRI $(R531 - R570)/(R531 + R570)$ (GAMON; PEÑUELAS; FIELD, 1992).
- 2) Índice de reflectância de senescência - PSRI $(R680 - R500) / R750$, (Merzlyak et al., 1999).
- 3) Índice de vegetação por diferença normalizada - NDVI $(R800 - R680) / (R800 + R680)$ (Rouse, Haas, Schell & Deering, 1974).
- 4) Índice de banda de água - WBI $(R900 / R970)$ (Peñuelas et al., 1997).
- 5) Índice de reflectância de antocianinas - ARI1 $(1/R550) - (1/R700)$ (Gitelson; Merzlyak; Chivkunova, 2001).
- 6) Índice de reflectância de carotenoides - CRI1 $(1/R510) - (1/R550)$ (Gitelson et al., 2002).
- 7) Índice de pigmentos independente de componentes estruturais - SIPI $(R800 - R445) / (R800 + R680)$ (Peñuelas et al. 1995).
- 8) Índice de reflectância de flavonoides - FRI $(1/R410 - 1/R460) * R800$ (Merzlyak et al., 2005)

A avaliação de trocas gasosas foi realizada utilizando-se o analisador de gás por infravermelho (LI-6400XT Portable Photosynthesis System, LI-COR, Lincoln, USA) em folhas completamente expandidas, no 3º ou 4º pares de folhas. As características avaliadas foram: taxa fotossintética líquida [A (Photo)- $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$], condutância estomática [g_s (Cond) - $\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$] e transpiração [E (Trmmol) - $\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]. A eficiência instantânea do uso da água (EUA) foi obtida pela relação A/E . Todas as avaliações foram realizadas entre 9 e 11 horas (horário solar) com utilização de fonte artificial de radiação fotossinteticamente ativa (PAR), em câmara fechada fixada em $1500 \mu\text{mol}$ de fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Blue + Red LED LI-6400-02B, LI-COR, Lincoln, USA). A taxa de assimilação de CO_2 na câmara foi medida com a concentração ambiente de CO_2 .

No mesmo horário em que foram feitas as análises de trocas gasosas determinou-se, com o auxílio de um fluorômetro portátil MINI-PAM (Walz Inc.), a fluorescência inicial (F_o), fluorescência máxima (F_m), fluorescência variável (F_v) e eficiência fotoquímica aparente do fotossistema II (F_v/F_m) (Yield curva), quenching fotoquímico (q_P), quenching não fotoquímico (q_N), o coeficiente de extinção não fotoquímico (NPQ) e a taxa relativa de transporte de elétrons (ETR). O valor de eficiência fotoquímica potencial do PSII (F_v/F_m) (Yield F_o/F_m) foi determinado no período noturno, entre 19:00 e 20:00 horas.

Os valores de potencial hídrico foram submetidos à análise de variância no programa estatístico SISVAR 4.3 e as médias foram comparados pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade. As variáveis fisiológicas foram analisadas através de Análise de Componentes Principais (ACP) pelo programa R, utilizando o pacote FactoMineR (Husson et al., 2014).

RESULTADOS

No mês de agosto (Figura 1), maiores valores de potencial hídrico foram encontrados em cafeeiros do tratamento testemunha, consorciados com acácia no espaçamento menos adensado e consorciados com abacate em ambos os espaçamentos, seguidos pelos demais tratamentos.

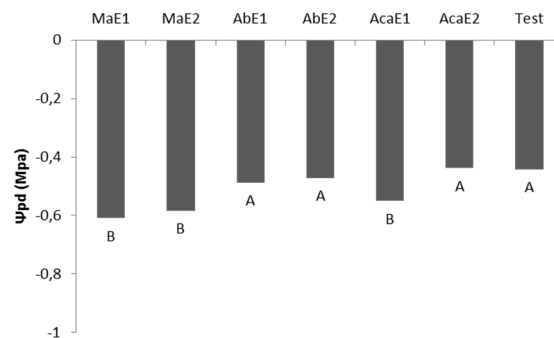


Figura 1. Potencial hídrico antemanhã (Ψ_{pd}) de cafeeiros entre espécies arbóreas, plantadas em dois espaçamentos, acrescido de uma testemunha a pleno sol no mês de agosto. MaE1= Macadâmia (5 x 13,6 m); MaE2= Macadâmia (8 x 13,6 m); AbE1= Abacate (7 x 13,6 m); AbE2= Abacate (14 x 13,6 m); AcaE1= Acácia (7 x 13,6 m); AcaE2= Acácia (14 x 13,6 m); Test = testemunha. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

A redução no potencial hídrico pode ser um reflexo direto das condições climáticas da região, que vinha de um acumulado de quatro meses com baixos índices de precipitação, levando a uma redução da disponibilidade de água no solo. O menor potencial hídrico encontrado em cafeeiros consorciados com macadâmia em ambos os espaçamentos e com acácia no menor espaçamento, pode ter sido resultado de uma competição pela água disponível no solo entre as espécies madeireiras e o cafeeiro.

As duas primeiras componentes principais explicaram 66,34% da variabilidade das respostas (Figura 2). Na PC1, pôde-se observar que as variáveis mais representativas foram condutância estomática (COND), WBI e CRI1, enquanto qN se mostrou negativamente relacionada (Figura 2A). Os cafeeiros consorciados com abacate (3 e 4) e consorciados com acácia no menor espaçamento (5) foram os que apresentaram maiores valores para as variáveis mais representativas, conseqüentemente, com menores valores de qN. Por outro lado cafeeiros consorciados com macadâmia (1 e 2) apresentaram um padrão oposto de respostas fisiológicas. Ao analisar a PC2, observou-se que a variável com score mais elevado, transpiração (Trmmol) contribuiu para diferenciar o grupo formado pelos cafeeiros testemunha (7) e consorciados com macadâmia menor espaçamento (1). Já a variável EUA, que se mostrou negativamente relacionada, destacou os cafeeiros consorciados com acácia no maior espaçamento (6) os quais apresentaram os maiores valores.

De maneira geral, as análises indicaram que, nos sistemas consorciados com abacate e acácia, o cafeeiro apresentou maiores valores de condutância estomática e dos índices espectrais WBI (índice de banda de água) e CRI1 (índice de reflectância de carotenoides), com menores valores de qN (quenching não-fotoquímico). Tais resultados indicaram que esses cafeeiros se encontravam com uma maior concentração de água, maior capacidade de trocas gasosas e uma maior eficiência fotoquímica. Cafeeiros consorciados com acácia no maior espaçamento ainda apresentaram maior eficiência do uso da água (EUA), devido a uma menor transpiração, conseqüentemente com uma redução na perda de água. Por outro lado, cafeeiros consorciados com macadâmia apresentaram menores valores de condutância estomática, WBI, CRI1 e EUA, com maiores valores de qN e transpiração. Assim como os cafeeiros consorciados com macadâmia, cafeeiros em monocultivo também apresentaram maiores valores de transpiração e menores valores de EUA.

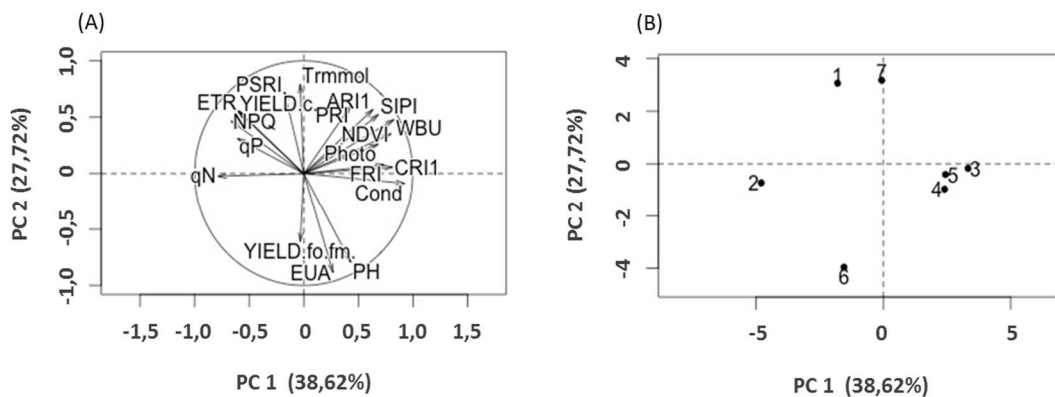


Figura 2. Biplot para os dois primeiros eixos da análise de componentes principais para os dados dos sete tratamentos em função dos parâmetros fisiológicos avaliados. (A) Os coeficientes de correlação para todos os parâmetros foram representados pelos vetores. (B) A segregação dos sete tratamentos estudados baseada nos parâmetros fisiológicos avaliados. 1= Macadâmia (5 x 13,6 m); 2= Macadâmia (8 x 13,6 m); 3= Abacate (7 x 13,6 m); 4= Abacate (14 x 13,6 m); 5= Acácia (7 x 13,6 m); 6= Acácia (14 x 13,6 m); 7= testemunha.

CONCLUSÕES

Cafeeiros em formação consorciados com abacate e acácia apresentaram maior capacidade de trocas gasosas, uma maior eficiência fotoquímica e maior eficiência do uso da água, devido a uma menor transpiração, maiores índices espectrais que indicam uma maior concentração de água e maiores teores de carotenoides.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Café (INCT/CAFÉ), à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café e à Associação Hanns R. Neumann Stiftung do Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Quarto acompanhamento: dezembro 2014. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_12_22_09_53_55_boletim_dezembro_2014.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2015.

GAMON, J. A.; PEÑUELAS, J.; FIELD, C. B. A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. *Remote Sensing of Environment*, v. 41, p. 35– 44, 1992.

GITELSON, A. A.; ZUR, Y.; CHIVKUNOVA, O. B.; MERZLYAK, M. N. Assessing carotenoid content in plant leaves with reflectance spectroscopy. *Photochemistry and Photobiology*, v. 75, n. 3, p. 272–281, 2002.

GITELSON, A. A.; MERZLYAK, M. N.; CHIVKUNOVA, O. B. Optical properties and nondestructive estimation of anthocyanin content in plant leaves. *Photochemistry and Photobiology*, v.74, n. 1, p. 38–45, 2001.



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros



GOMES, I. A. C.; CASTRO, E. M.; SOARES, A. M.; ALVES, J. D.; ALVARENGA, M. I. N.; ALVES, E.; BARBOSA, J. P. R. A. D.; FRIES, D. D. Alterações morfofisiológicas em folhas de *Coffea arabica* L. cv. “Oeiras” sob influência do sombreamento por *Acacia mangium* Willd. *Ciência Rural*, v.38, n.1, p. 109-105, 2008.

HUANG, G. T.; MA, S. L.; BAI, L. P.; ZHANG, L.; MA, H.; JIA, P.; LIU, J.; ZHONG, M.; GUO, Z. F. Signal transduction during cold, salt, and drought stresses in plants. *Molecular Biology Reports*, v. 39, p. 969–987, 2012.

HUSSON, F.; JOSSE, J.; LE, S.; MAZET, J. (2014). *FactoMineR: Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining with R. R package version 1.28.* <http://CRAN.R-project.org/package=FactoMineR>

MERZLYAK, M. N.; GITELSON, A. A.; CHIVKUNOVA, O. B.; RAKITIN, V. Y. Non-destructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening. *Physiologia Plantarum*, v. 106, p. 135– 141, 1999.

MERZLYAK, M. N.; SOLOVCHENKO, A. E.; SMAGIN, A. I.; GITELSON, A. A. Apple flavonols during fruit adaptation to solar radiation: spectral features and technique for non-destructive assessment. *Journal of Plant Physiology*, v. 162, p. 151-160, 2005.

PEÑUELAS, J.; BARET, F.; FILELLA, I. Semi-empirical indices to assess carotenoids/chlorophyll a ratio from leaf spectral reflectance. *Photosynthetica*, v. 31, p. 221– 230, 1995.

PEÑUELAS, J.; PINOL, J.; OGAYA, R.; FILELLA, I. Estimation of plant water concentration by the reflectance water index WI (R900/R970). *International Journal of Remote Sensing*, v. 18, n. 13, p. 2869–2875, 1997.

Pezzopane, José Ricardo Macedo; Marsetti, Mariclei Maurílio Simões; Souza, Joabe Martins; Pezzopane, José Eduardo Macedo. Condições microclimáticas em cultivo de café conilon a pleno sol e arborizado com nogueira macadâmia. *Ciência Rural*, v.40, n.6, p. 1257-1263, jun, 2010.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings, Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium* (pp. 301– 317). Greenbelt: NASA SP-351.