

ANÁLISES FISIOLÓGICAS E ANATOMIA RADICULAR EM CAFEIEIRO IRRIGADO SUBMETIDO A SUPERDOSES DE FÓSFORO¹

Antonio Jackson de Jesus Souza²; Osmar Almeida Junior³; Evaristo Mauro de Castro⁴; Anderson William Dominghetti³; Rubens José Guimarães³; Mário Lúcio de Vilela Resende⁵; Léa Costa Santana Dias²

¹ Pesquisa realizada com apoio financeiro do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil.

² Professores, DSc, Departamento de Ciências Humanas e Tecnologias, Campus XXII, Universidade do Estado da Bahia, CEP 48500-000, Rua Enoch Canário de Araújo, S/N – Jeremias, Euclides da Cunha, BA, BRA, E-mail: jacksonagro@gmail.com, leacsdias@gmail.com

³ Professores, DSc, Departamento de Agricultura, Universidade Federal de Lavras, Inovacafé, C.P. 3037, CEP 37200-000, Lavras, MG, BRA, E-mail: oajrjunior@gmail.com, andersonwd10@yahoo.com.br, rubensjg@dag.ufla.br

⁴ Professor, DSc, Departamento de Biologia, Universidade Federal de Lavras, C.P. 3037, CEP 37200-000, Lavras, MG, BRA, E-mail: evaristomcastro@gmail.com

⁵ Professor, DSc, Departamento de Fitopatologia, Universidade Federal de Lavras, C.P. 3037, CEP 37200-000, Lavras, MG, BRA E-mail: mlucio@dfp.ufla.br

RESUMO: Objetivou-se neste trabalho realizar análises fisiológicas e avaliar alterações anatômicas de raízes em cafeeiros, cultivados com superdoses de fósforo (P_2O_5) e níveis de irrigação. Na agência Inovacafé – UFLA, mudas de café cultivar Mundo Novo IAC 376/19 foram transplantadas em vasos. Foi utilizado delineamento em blocos ao acaso, esquema fatorial 4 x 4, sendo os tratamentos compostos por quatro doses de fósforo (0g, 80g, 240g e 720g de P_2O_5 por vaso) e quatro níveis de irrigação (25%, 50%, 75% e 100% da capacidade de campo) com três repetições. Foram realizadas análises fisiológicas com uso do IRGA, determinações de massa seca de plantas e avaliações anatômicas de raiz. Observou-se efeito da interação dose de fósforo e nível de irrigação (D*I) em taxa de fotossíntese bruta (TFB), taxa de fotossíntese líquida (TFL), condutância de água (COND) e transpiração (TRAN). O máximo de desenvolvimento metabólico das plantas em TFB, TFL, COND e TRAN foi encontrado respectivamente nas doses de 407g, 385g, 385g e 445g de P_2O_5 por planta no nível de irrigação de 75% da capacidade de campo. Na análise anatômica de raízes, houve maior epiderme para menores doses de P_2O_5 e maior área ocupada por xilema nos menores níveis de irrigação.

PALAVRAS-CHAVE: café, fisiologia, nutrição, água.

PHYSIOLOGICAL ANALYSIS AND ROOT ANATOMY IN IRRIGATED COFFEE SUBMITTED TO PHOSPHORUS SUPERIORS

ABSTRACT: This study analyzed the physiology and the root anatomical changes in coffee grown with high levels of phosphorus (P_2O_5) and irrigation. At the Agência Inovacafé – UFLA, coffee seedlings cv. Mundo Novo IAC 376/19, age 120 days were transplanted into pots. The experiment consisted of a factorial randomized block design of four P levels (0, 80, 240 and 720 g P_2O_5 per pot) and four irrigation levels (25%, 50%, 75 % and 100% of field capacity) with three replications. It was performed physiological analysis using the Infrared Gas Analyzer (IRGA) and root anatomical analysis. There was effect of the interaction between phosphorus levels and irrigation levels (D*I) on gross photosynthesis rate (GPR), net photosynthesis rate (NPR), water conductance (COND), transpiration (TRAN). The maximum physiological metabolism of the plants in GPR, NPR, COND and TRAN were found at the levels of 407, 385, 385 and 445 g P_2O_5 per plant, respectively, in the irrigation level of 75% of field capacity. Anatomical analysis of root demonstrated a thicker epidermis at lower levels of P_2O_5 and a larger xylem area at lower irrigation levels.

KEY WORDS: coffee, physiology, nutrition, water.

INTRODUÇÃO

As plantas possuem mecanismos fisiológicos para aumentar a eficiência de absorção e utilização do fósforo. Este aumento da eficiência nutricional nas plantas pode ter grande impacto sobre a produtividade do cafeeiro (AMARAL *et al.*, 2011). A exigência de fósforo pelo cafeeiro, em qualquer idade, é pequena (de 2g a 5g kg^{-1} de matéria seca), se comparada à de nitrogênio e potássio (CARVALHO *et al.*, 2010). Porém, o fósforo participa de importantes transformações energéticas no metabolismo de plantas. Os processos fisiológicos envolvidos na fotossíntese, respiração, síntese de aminoácidos e lipídeos são realizados no metabolismo vegetal à custa de compostos fosforados, como o difosfato e trifosfato de adenosina (ADP e ATP) (CARVALHO *et al.*, 2010).

Estudos recentes têm demonstrado que o cafeeiro necessita de maior suprimento de fósforo, principalmente quando em produção, uma vez que aumenta a demanda por energia para produzir frutos e desenvolver partes vegetativas para o ano seguinte de cultivo (LAVIOLA *et al.*, 2007).

Aquino *et al.* (2012) e Dominghetti *et al.* (2014) apontam que a disponibilidade de água tem forte influência sobre a absorção de fósforo pelas plantas. Scalco *et al.* (2014) verificaram que, com maior aplicação de água pela irrigação,

maior é a absorção radicular de fósforo e maior é o crescimento vegetativo das plantas. Estudos sobre anatomia radicular de cafeeiros são escassos na literatura, sobretudo quando se relaciona maior crescimento da planta a maiores doses de fósforo, como aponta Reis *et al.* (2011) e Souza *et al.* (2014). Evidentemente, a nutrição mineral contribui com a composição da organização estrutural da planta, pois na disponibilidade ou falta de nutrientes são alteradas as estruturas anatômicas das plantas. Assim, por meio de análises fisiológicas e anatomia radicular, objetiva-se com o presente trabalho avaliar cafeeiros irrigados, cultivados com superdoses de fósforo (P_2O_5).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Agência de Inovação do Café (Inovacafé) na Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, Minas Gerais. Mudanças de café cultivar Mundo Novo IAC 376/19 foram transplantadas em vasos com capacidade de 18 litros de substrato, acondicionados sobre bancadas a 0,8m do solo, e em espaçamentos de 0,7m x 0,6m. O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho distroférico típico (LVdf), conforme análise (Tabela 1) e classificação de solo (SANTOS, 2013).

Tabela 1. Análise física e química de solo utilizado no experimento

Solo	Argila	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	(t)	(T)
Classe	dag kg ⁻¹	(H ₂ O)	mg dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³		
LVdf	70	5,2	1,42	14	-	0,2	0,1	1	12,28	0,34	1,34	12,62
(Continuação)												
Solo	V	M	MO	Prem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S		
Classe	%		dag kg ⁻¹	mg L ⁻¹						mg dm ⁻³		
LVdf	2,66	74,63	4,29	3,07	1,48	14,12	6,99	0,43	0,10	9,48		

A correção do solo foi realizada elevando-se para 60% a saturação por bases, utilizando-se calcário com PRNT de 85% misturado ao solo úmido, amontoado e coberto com lona plástica durante 30 dias. A aplicação dos fertilizantes foi realizada conforme recomendações para cultura do café no estado de Minas Gerais.

Amostras de solo foram encaminhadas ao Laboratório de Solos da UFLA, para caracterizar a curva de retenção de umidade. Foram determinadas a umidade (g g⁻¹), a tensão ou potencial mátrico (kPa) e a curva característica de água no solo. Por meio de planilha eletrônica, foi possível determinar a quantidade de água a ser aplicada em cada tratamento de irrigação. A irrigação foi realizada nas segundas e quintas-feiras, com a aplicação manual do volume de água correspondente a cada tratamento, aferido por meio de proveta graduada.

O delineamento estatístico utilizado foi o fatorial: 4 x 4, sendo quatro doses de fósforo (0g, 80g, 240g e 720g de P_2O_5 por vaso) e quatro níveis de irrigação (25%, 50%, 75% e 100% da capacidade de campo). Os tratamentos foram distribuídos na forma de blocos ao acaso (DBC) com três repetições, constituindo assim 48 parcelas experimentais. Aos 180 dias da implantação do experimento, foram realizadas avaliações fisiológicas, utilizando-se o analisador de gás por infravermelho (LI-6400 Portable Photosynthesis System, LI-COR, Lincoln, USA) em folhas completamente expandidas, no 3º ou 4º par de folhas. As características avaliadas foram: taxa fotossintética bruta (TFB), taxa fotossintética líquida (TFL) expressa em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, condutância estomática de água (COND) com valores expressos em $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, concentração de carbono interno (CI) expresso em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$, razão entre o carbono interno e externo (CI CA⁻¹) e transpiração (TRAN) expressa em $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. As avaliações foram realizadas entre 9h e 10h30 da manhã. Utilizou-se fonte artificial de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) em câmara fechada fixada em 1000 μmol de fótons $\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Blue + Red LED LI-6400-02B, LI-COR, Lincoln, USA). Após a avaliação fisiológica, foram retiradas amostras de raízes situadas na placa superficial. Uma seção de 0,5 cm de comprimento foi coletada a partir de três cm da extremidade da raiz. O material foi fixado em FAA (Formaldeído 37%; 50,0 mL, ácido acético glacial 50,0 mL, etanol 50% 900,0 mL), permanecendo por 72 horas, sendo posteriormente transferido para Etanol 70%. Após desidratações sucessivas em etanol 80%, 90% e 99,5% P.A. de duas em duas horas, o material foi fixado em historesina e submetido a cortes anatômicos em micrótomo semiautomático em espessura 7 μm . As lâminas foram coradas com Azul de Toluidina 1,0%, pH 4,7 e fotografadas com câmera digital Canon PowerShot A620 8.0 Mega pixels acoplada ao microscópio KEN A VISION TT118 em objetivas de 40X com oculares de 10X. Foram retiradas cinco fotomicrografias de cada repetição com o auxílio do software Image tools. Foram determinadas a espessura de córtex (C), cilindro central (CC), endoderme (ED) e epiderme (EP) em μm . Foi avaliada também a relação espessura de córtex e raiz (C R⁻¹). A área de xilema (AX) e área de cilindro central (ACC) foram determinadas em μm^2 . Essas avaliações foram obtidas com medições em três pontos distantes de cada tecido, realizadas em cinco fotomicrografias de cada raiz. Foram analisadas duas regiões distintas da mesma raiz, perfazendo um total de 30 observações por tratamento. No desmonte do experimento, plantas de café foram removidas dos vasos, lavadas com água destilada e submetidas a secagem em estufa com circulação de ar forçada a 60° C até peso constante. Com uso de balança analítica, foi determinada a matéria seca das plantas (MSPL) em g.

Ao final do experimento, foram tabulados os dados coletados e realizados os testes de normalidade e homogeneidade. Com auxílio do software de análise estatística SISVAR[®] (FERREIRA, 2011), foi realizada a análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade. As interações, quando significativas, foram desdobradas com o estudo da regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aos 180 dias da implantação do experimento, observou-se nas análises fisiológicas o efeito da interação de doses de fósforo e níveis de irrigação (D*I) para a taxa fotossintética bruta (TFB), taxa fotossintética líquida (TFL), condutância de água (COND) e transpiração (TRAN).

Em TFB, ao desdobrar a interação, foi observado efeito significativo dos níveis de irrigação de 50% e 75% para as doses de fósforo (P), com ajuste de modelo de equação polinomial de primeiro e segundo graus respectivamente (Figura 1A). Quando o solo é mantido a 50% de sua capacidade de campo, a TFB mantém-se linear, e seu aumento está diretamente relacionado ao aumento das doses de fósforo. Quando é mantido a 75% da capacidade de campo, a TFB aumenta até a dose de 407 gramas de fósforo por planta, ocorrendo decréscimo na taxa a partir dessa dose. A fotossíntese está diretamente relacionada ao crescimento da planta (BACARIN *et al.*, 2008).

Ao avaliar as doses de fósforo na fotossíntese líquida, só houve efeito ao nível de 75% da dose, com máxima TFL em 385g de P₂O₅ (Figura 1C). Para a fotossíntese de forma geral, as maiores respostas com a dose de fósforo são verificadas quando o nível de água disponível se aproxima do ideal, com maiores médias em 100% do nível de irrigação. A menor disponibilidade de água no solo diminui o fluxo de absorção de nutrientes presentes na solução do solo (FAQUIN *et al.*, 2006). Com a menor absorção geral de nutrientes na raiz, a planta passa por uma carência generalizada, o que pode reprimir a resposta das doses de fósforo nos menores níveis de irrigação. O fósforo é também um elemento altamente dependente de umidade no solo para que ocorra sua mobilidade até as raízes (difusão), como já observado em trabalho de Dominghetti *et al.*, (2014).

A disponibilidade de água no solo está diretamente relacionada ao crescimento da planta (VALENTINE *et al.*, 2013). Ao desdobrar a interação de doses de fósforo em níveis de irrigação, foi verificado aumento de TFB e TFL com o aumento dos níveis de irrigação, consequência da maior disponibilidade de água (TAIZ; ZAIGER, 2013). (Figura 1B e 1D). Ao desdobrar o nível de irrigação em doses de fósforo, foi possível verificar, na condutância e transpiração, tendência semelhante à taxa de fotossíntese bruta. No nível de 50%, houve aumento linear para COND e TRANS nas maiores doses de fósforo. No nível de 75%, houve um comportamento quadrático, com valor máximo estimado na dose de 385g e 445g de P₂O₅ para COND e TRANS respectivamente (Figura 1E e 2A). Comportamento semelhante também foi encontrado no desdobramento da dose de fósforo nos níveis de irrigação em condutância e transpiração (Figura 1F e 2B). A maior disponibilidade de água no solo favorece maior transporte de água na planta e, conseqüentemente, maior transpiração.

De forma geral, nos desdobramentos realizados para a interação (D*I), nota-se que, para as plantas em déficit hídrico (25% de irrigação), não há variação alguma sobre as doses de fósforo no desenvolvimento de parâmetros fisiológicos (Figura 1A, 1C, 1E e 2A). Para níveis próximos ao ideal (75% e 100% da capacidade de campo), as doses de fósforo apresentaram resultados semelhantes (Figura 1B, 1D, 1F e 2B), o que sugere que qualquer ganho em crescimento ou desenvolvimento com o aumento das doses de fósforo só é possível quando há suprimento adequado de água. Dados semelhantes foram observados por (SCALCO *et al.*, 2014).

Variações na concentração de carbono interno (CI) e na razão de carbono interno e externo (CI.CA⁻¹) foram encontradas apenas para o fator níveis de irrigação. Com o aumento do nível de irrigação, ocorre redução em CI e CI.CA⁻¹, sendo mais evidente esta redução em CI, conforme indicado pelo maior coeficiente angular da equação ajustada (Figura 3A e 3B).

Foram encontradas variações na MSPL tanto para o fator doses de fósforo como para o fator níveis de irrigação, porém ambos agindo isoladamente. Para esse parâmetro, também houve pouca influência do fósforo quando o cafeeiro passa por estresse hídrico. Conforme Fontes *et al.* (2005), a avaliação da massa seca de planta é de fundamental importância para quantificar o acúmulo de biomassa. Estes autores também observaram que, nas irrigações de 100%, houve maior crescimento das plantas. Esse fato é explicado pela lógica de maior absorção de nutrientes pela planta em solo mais úmido, refletindo em maior acúmulo de massa seca (FONTES; DIAS; SILVA, 2005).

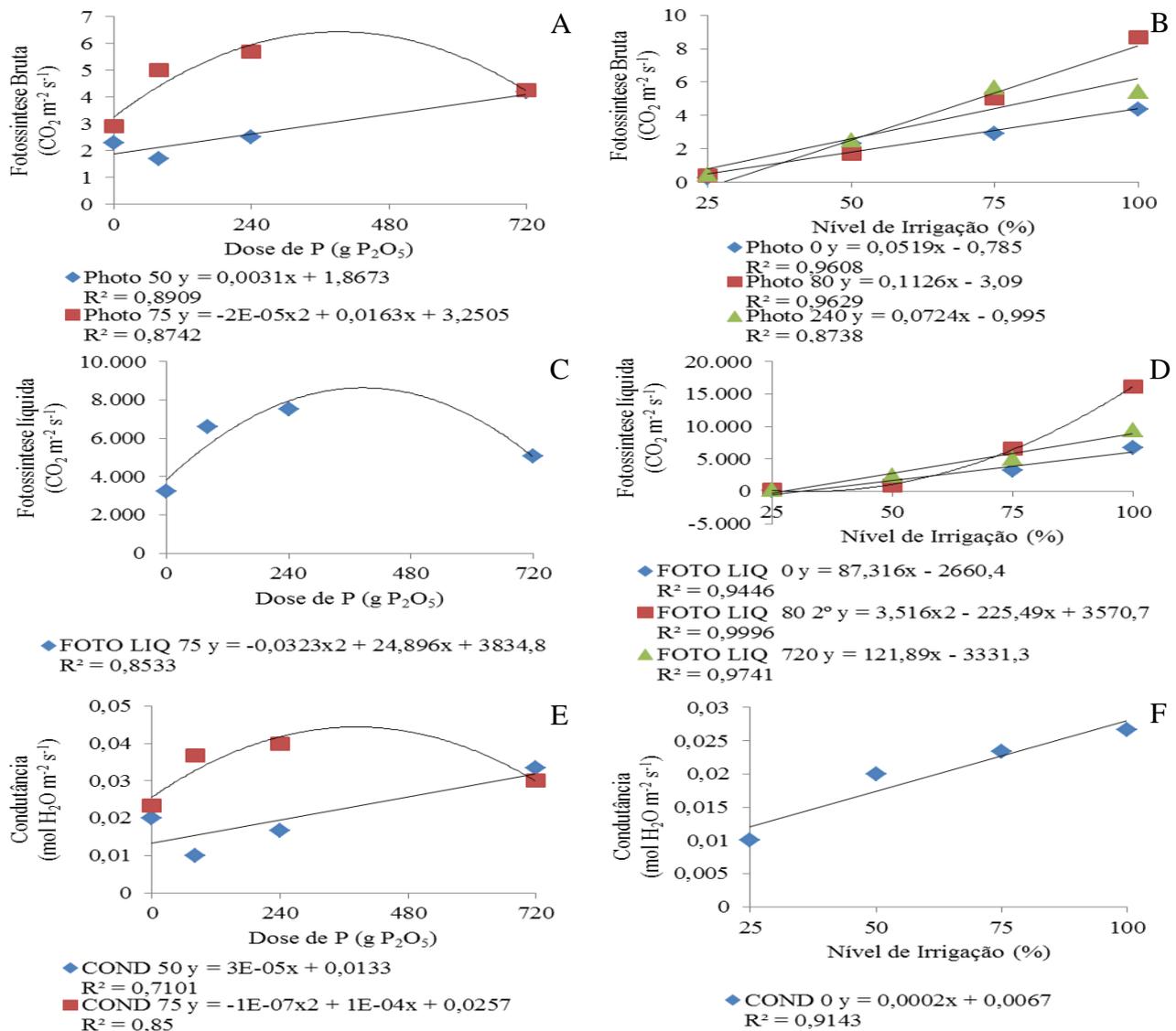
A máxima MSPL (28,6g) de cafeeiros foi observada na dose de 315g de P₂O₅ (Figura 3C). Resultados semelhantes foram encontrados por Souza *et al.* (2014), avaliando altas doses de fósforo em cafeeiros implantados em vasos aos 102 dias. Os pesquisadores observaram máximo desenvolvimento MSPL (10,7g) em 559g de fósforo, discordando de Nazareno *et al.* (2003), que não observaram efeito em MSPL em doses de fósforo (14g a 70g P₂O₅ por planta), possivelmente por serem muito inferiores às adotadas no presente trabalho.

Nas avaliações anatômicas de raiz, foi observado efeito isolado da dose de fósforo para epiderme e de nível de irrigação na área de xilema. Com o aumento das doses de fósforo, houve uma diminuição linear na espessura da epiderme da raiz (Figura 4A). Em altas concentrações de fósforo no solo, as células da epiderme ficaram menores, apresentaram menor diâmetro e parede periclinal celular mais fina. Acredita-se que o fósforo exerce efeitos sinérgicos e antagonísticos no processo de absorção radicular (ÁVILA *et al.*, 2012). Tal efeito tem sua expressão acentuada nas células epidérmicas por serem as primeiras em contato com a solução do solo, causando as modificações observadas. Outra hipótese a ser considerada em relação à grande concentração do íon fosfato na solução do solo em contato direto com as células

epidérmicas seria a ocorrência de algum tipo de fitotoxidez, que prejudicaria o crescimento celular. Assim, um estudo mais detalhado deve ser realizado para que mais informações elucidem o fenômeno.

Para níveis de irrigação, a diminuição na quantidade de água disponível causou um aumento linear na área da secção transversal da raiz ocupada por xilema (Figura 4B). Foi observado que, quando a planta é submetida a condições de estresse hídrico, ocorre aumento no número de vasos na raiz, diminuição do diâmetro radicular e, conseqüentemente, menor relação entre o diâmetro dos vasos e o seu número por milímetro quadrado (índice de vulnerabilidade de Carlquist IV) (apud Carvalho; Castro, 2012). Tal modificação é uma variação da planta para suportar maior déficit hídrico e maior pressão negativa, evitando-se o risco de embolias e, conseqüentemente, cavitação. Dados semelhantes foram encontrados nos trabalhos de Ogasa, Miki e Yoshikawa (2010).

Sendo maior a xeromorfia, torna-se menor a vulnerabilidade do sistema de condução hidráulica do cilindro vascular (CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R., 2009). Trata-se de um aperfeiçoamento no sistema para o uso da água, uma vez que a diminuição no diâmetro interno e o aumento no número de feixes não diminuem a área útil de transporte de seiva, de conforme com os trabalhos de Kulkarni; Phalke (2009).



* Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade

Fig. 1. Taxa de fotossíntese bruta, taxa de fotossíntese líquida e condutância em desdobramento de doses de fósforo (P_2O_5) dentro de níveis de irrigação (A, C, E) e em desdobramento de níveis de irrigação dentro de doses de fósforo (P_2O_5) (B, D, F), em plantas de café cultivar Mundo Novo.

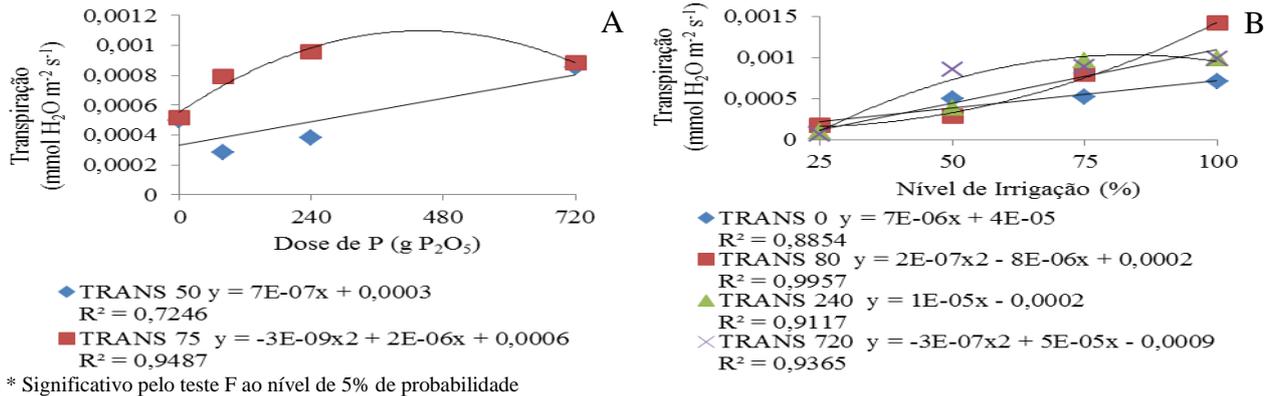


Fig. 2. Transpiração em desdobramento de doses de fósforo (P₂O₅) dentro de níveis de irrigação (A) e níveis de irrigação dentro de doses de fósforo (P₂O₅) (B), em plantas de café cultivar Mundo Novo.

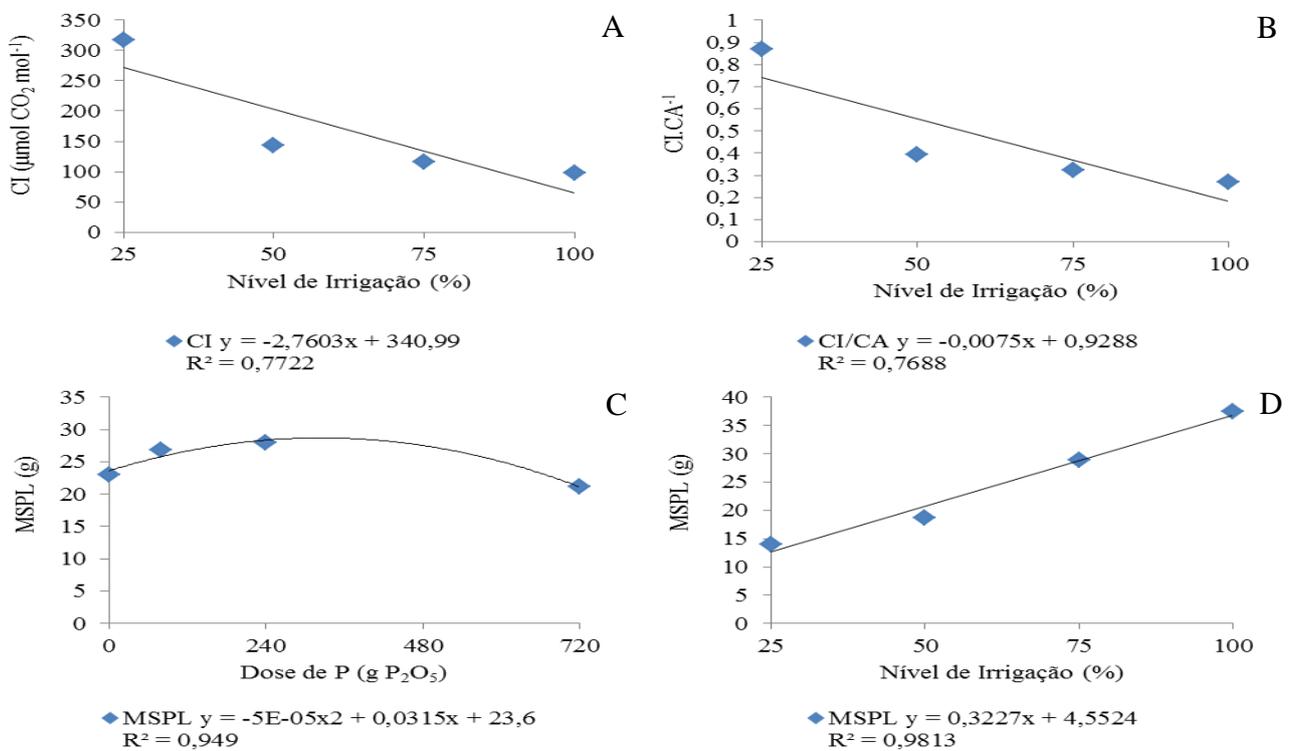


Fig. 3. Carbono interno (A), razão carbono interno e externo (B), matéria seca de planta (D) em níveis de irrigação em plantas de café e matéria seca de planta em doses de fósforo (C) em plantas de café.

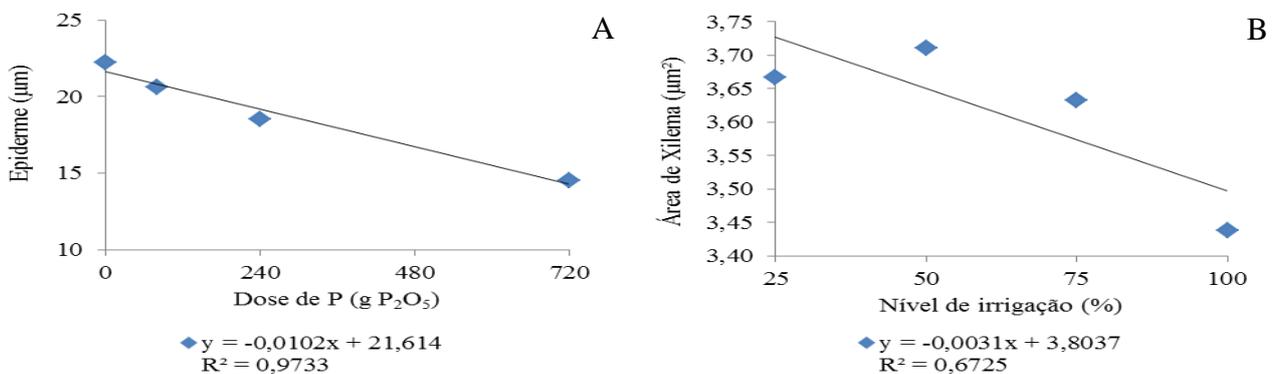


Fig. 4. Espessura de epiderme em função de doses de fósforo (A) e Área de xilema em função de níveis de irrigação (B), em plantas de café cultivar Mundo Novo.

CONCLUSÕES

1. Maiores doses de fósforo favorecem o crescimento e desenvolvimento do cafeeiro.
2. Em baixa disponibilidade de água, há pouca ou nenhuma resposta do cafeeiro às diferentes doses de fósforo.
3. Maiores doses de fósforo e níveis de irrigação alteram as estruturas anatômicas das raízes do cafeeiro.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Café – INCT, por concessão de bolsa de pesquisa.

À UFLA (Agência Inovacafé), pelo apoio na realização do experimento.

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, J. F. T. do; MARTINEZ, H. E. P.; LAVIOLA, B. G.; TOMAZ, M. A.; FERNANDES FILHO, E. I.; CRUZ, C. D. Produtividade e eficiência de uso de nutrientes por cultivares de cafeeiro. *Coffee Science*, v.6, p.65-74, 2011.
- AQUINO, L. A. de; AQUINO, R. F. B. A.; SILVA, T. C.; SANTOS, D. F. dos; BERGER, P. G. Aplicação do fósforo e da irrigação na absorção e exportação de nutrientes pelo algodoeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, p.355-361, 2012.
- ÁVILA, F. W. *et al.* Effects of phosphite and phosphate supply in a weathered tropical soil on biomass yield, phosphorus status and nutrient concentrations in common bean. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, v. 10, n. 2, p. 312-317, 2012.
- BACARIN, M. A. *et al.* Oxygen evolution rate of rice cultivars. *Photosynthetica*, v. 46, n. 1, p. 148-150, 2008.
- CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. *Histologia Vegetal: Estrutura e Função de Órgãos Vegetativos*. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.
- CARVALHO, J. G. de; GUIMARÃES, R. J.; BASTOS, A. R. R.; BALIZA, D. P.; GONTIJO, R. A. N. Sintomas de desordens nutricionais em cafeeiro. In: GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; BALIZA, D. P. (Ed.). *Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitária e fisiológicas*. Lavras: UFLA, 2010. p. 30-66.
- CARVALHO, S. P. de; CASTRO, E. M. de. *Anatomia foliar de mandioca em função do potencial para tolerância à seca*. Trabalho foi conduzido no campo experimental. 2012, p. 354-361.
- DOMINGHETTI, A. W. *et al.* Doses de fósforo e irrigação na nutrição foliar do cafeeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 12, p. 1235-1240, 2014.
- FAQUIN, V. *et al.* Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do serrado. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 25, n. 1, p. 453-466, 2006.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FONTES, P. C. R.; DIAS, E. N.; SILVA, D. J. H. Dinâmica do crescimento, distribuição de matéria seca na planta e produção de pimentão em ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*, v. 23, n. 1, p. 94-99, 2005.
- KULKARNI, M.; PHALKE, S. Evaluating variability of root size system and its constitutive traits in hot pepper (*Capsicum annum* L.) under water stress. *Scientia Horticulturae*, v. 120, n. 2, p. 159-166, 2009.
- LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ, E. M. P.; SALOMÃO, L. C. C.; CRUZ, C. D.; MENDONÇA, S. M.; PAULA NETO, A. Alocação de fotoassimilados em folhas e frutos de cafeeiro cultivado em duas altitudes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, p. 1521-1530, 2007.
- NAZARENO, R. B.; OLIVEIRA, C. A. S.; SANZONOWICZ, C.; SAMPAIO, J. B. R.; SILVA, J. C. P.; GUERRA, A. F. Crescimento inicial do cafeeiro Rubi em resposta a doses de nitrogênio, fósforo e potássio e a regimes hídricos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 38, n. 8, p. 903-910, 2003.
- OGASA, M.; MIKI, N.; YOSHIKAWA, K. Changes of hydraulic conductivity during dehydration and rehydration in *Quercus serrata* Thunb. and *Betula platyphylla* var. japonica Hara: the effect of xylem structures. *Tree physiology*, v. 30, n. 5, p. 608-617, 2010.
- REIS, T. H. P.; GUIMARÃES, P. T. G.; FURTINI NETO, A. E.; GUERRA, A. F.; CURI, N. Dinâmica do fósforo no solo, disponibilidade e produtividade do cafeeiro irrigado. *Revista Brasil. de Ciência do Solo*, v.35, p.503-512, 2011.
- SANTOS, H. G. dos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3. ed. Brasília: EMBRAPA, 2013. 353 p.
- SCALCO, M. S.; ALVARENGA, L. A.; GUIMARÃES, R. J.; DOMINGHETTI, A. W.; COLOMBO, A.; ASSIS, G. A.; ABREU, G. F. Teores foliares de fósforo e zinco, produtividade e crescimento de café irrigado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 49, n. 2, p. 95-101, 2014.
- SOUZA, A. J. de J.; GUIMARÃES, R. J.; DOMINGHETTI, A. W.; SCALCO, M. S.; COLOMBO, A. Doses de fósforo no desenvolvimento inicial de cafeeiros em solos com diferentes texturas. *Coffee Science*, v. 9, n. 2, p. 284-288, 2014.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.
- VALENTINE, A. *et al.* Infrared gas analysis technique for the study of the regulation of photosynthetic responses. *Methods in Molecular Biology*, p. 261-269, 2013.