

# ANATOMIA FOLIAR, FISIOLOGIA E PRODUTIVIDADE DE CAFEEIROS EM DIFERENTES NÍVEIS DE ADUBAÇÃO

Tamara Cubiaki Pires da Gama<sup>1</sup>, José Carlos Sales Junior<sup>2</sup>, Dalysse Toledo Castanheira<sup>3</sup>, Helbert Rezende de Oliveira Silviera<sup>4</sup>, Harianna Paula Alves de Azevedo<sup>5</sup>

(Recebido: 29 de março de 2016; aceito: 31 de agosto de 2016)

**RESUMO:** A nutrição mineral é importante para o desenvolvimento da estrutura interna das folhas do cafeeiro, podendo favorecer as características fisiológicas necessárias para otimizar o desenvolvimento e a produtividade da cultura. Objetivou-se identificar as possíveis modificações na anatomia, fisiologia e produtividade em cafeeiros irrigados em diferentes níveis de adubação aplicados em três anos consecutivos, a partir do segundo ano após a implantação da lavoura. A lavoura de *Coffea arabica* cultivar Topázio MG-1190 foi formada seguindo a recomendação padrão de Guimarães et al. (1999) para adubação em função de análise do solo, até o primeiro ano após implantação (2010-2011). A partir daí, no segundo ano após a implantação (2011-2012), os níveis de adubação utilizados foram: 40, 70, 100, 130 e 160% da adubação padrão. Repetiram-se os tratamentos nos anos de 2012-2013 e 2013-2014. As plantas foram avaliadas quanto às trocas gasosas e anatomia foliar em agosto de 2014. Também foi avaliada a produtividade dos anos de 2013 e 2014. Os diferentes níveis de adubação NPK provocaram diferenças na anatomia foliar do cafeeiro. A produtividade e trocas gasosas do cafeeiro não foram afetadas pelos diferentes níveis de adubação NPK.

**Termos para indexação:** *Coffea arabica*, nutrição mineral, irrigação, características morfofisiológicas.

## ANATOMY AND PHYSIOLOGY OF LEAF COFFEE PLANTS IN DIFFERENT FERTILIZING LEVELS

**ABSTRACT:** The mineral nutrition is important for the development of the internal structure of coffee leaves, which may favor the physiological characteristics required to optimize the development and productivity of the culture. This study aimed to identify possible changes in anatomy, physiology and productivity in coffee plants at different fertilization levels applied in three consecutive years, from the second year after the implementation of the crop. The *Coffea arabica* crop cultivar Topazio MG-1190 was formed following the standard recommendation by Guimarães et al. (1999) for fertilization on soil analysis function until the first year after implantation (2010-2011). Thereafter, in the second year after implantation (2011-2012), fertilization levels were: 40, 70, 100, 130 and 160% of the standard fertilization. Treatments were repeated in the years 2012-2013 and 2013-2014. The plants were evaluated for gas exchange and leaf anatomy in August 2014. It was also evaluated the productivity of the years 2013 and 2014. The different NPK levels caused differences in coffee leaf anatomy. Productivity and gas exchanges in the coffee trade were not affected by different levels of NPK fertilization.

**Index terms:** *Coffea arabica*, mineral nutrition, irrigation, morphophysiological characteristics.

## 1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura é uma das atividades mais importantes para a economia brasileira, pois o país é o maior produtor e exportador e o segundo maior consumidor mundial (CARVALHO et al., 2015), colhendo mais de 45,6 milhões de sacas beneficiadas na safra de 2014, sendo 32,6 milhões de café arábica e 13,0 milhões de *Conillon* (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2016).

Dentre os fatores de produção, a nutrição mineral é essencial para elevar a produtividade e melhorar a qualidade dos produtos, além de exercer importantes funções no metabolismo vegetal, influenciando fatores relacionados à fisiologia e crescimento das plantas (MATTA, 2007).

Os trabalhos realizados com anatomia das

folhas de cafeeiros tiveram início na década de 50 (DEDECCA, 1957), havendo uma longa pausa de pesquisas relacionadas a esse tema, por isso são poucas as informações encontradas na literatura, inclusive ligando características anatômicas e fisiológicas do cafeeiro, de ambas as espécies *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre ex A.Froehner.

A anatomia foliar varia em função da radiação solar, temperatura, quantidade de água disponível no ambiente e nutrientes do solo, conferindo assim características adaptativas para que a planta tenha um ótimo desenvolvimento (ROSOLEM; LEITE, 2007), apresentando alterações nas espessuras dos parênquimas esponjoso e paliádico, e dimensões estomáticas (BALIZA et al., 2012; NASCIMENTO et al., 2006; PINHEIRO et al., 2005).

<sup>1,2,3,5</sup> Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Agricultura/DAG - Cx. P. 3037- 37.200-000 - Lavras - MG [tcubiaki@hotmail.com](mailto:tcubiaki@hotmail.com), [josecarloslms@hotmail.com](mailto:josecarloslms@hotmail.com), [josecarloslms@hotmail.com](mailto:josecarloslms@hotmail.com), [harianna\\_tp@hotmail.com](mailto:harianna_tp@hotmail.com)

<sup>4</sup> Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais/EPAMIG - Cx. P. 176 - 37.200-000 - Lavras - MG - [herosrezende@yahoo.com.br](mailto:herosrezende@yahoo.com.br)

As modificações no ambiente podem afetar processos-chave do metabolismo da planta, como a fotossíntese, metabolismo dos carboidratos na folha, a abertura estomática, bem como a expressão gênica (PINHEIRO; CHAVES, 2011). As folhas também se modificam frente ao ambiente que são expostas, variando sua área, espessura, forma, concentração de nutrientes e capacidade de trocas gasosas (SACK; HOLBROOK, 2006), de forma a ajustá-las de acordo com a fotossíntese líquida e assim garantir uma alta condutância hidráulica (BRODRIBB; FEILD; JORDAN, 2007).

Para o cafeeiro, existem estudos que associam as modificações nas estruturas anatômicas, com suas respectivas funções (BALIZA et al., 2012; BATISTA et al., 2010; GOMES et al., 2008; NASCIMENTO et al., 2006), contudo, são necessários mais estudos que verifiquem a possibilidade de utilizar essas características anatômicas e fisiológicas.

Neste trabalho buscou-se verificar os efeitos da adubação, em diferentes níveis no segundo ano após a implantação, ou seja, após o primeiro ano de adubação padrão, aplicados em três anos consecutivos, observando assim possíveis modificações nas características de anatomia foliar, fisiologia e produtividade dos cafeeiros frente a fatores externos.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado em março de 2010 no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), a 910 metros de altitude, latitude sul de 21°14'06" e longitude de 45°00'00" W Gr. Foram utilizadas mudas de *C. arabica* cv. Topázio MG-1190, com espaçamento de 60 centímetros entre plantas e 2 metros entre linhas. A lavoura foi formada seguindo a recomendação padrão, descrita por Guimarães et al. (1999) para a adubação em função de análise do solo, até o primeiro ano após implantação (2010-2011). A partir daí, no segundo ano após a implantação (2011-2012), os níveis de adubação utilizados foram: 40, 70, 100, 130 e 160% da adubação padrão, recomendada por Guimarães et al. (1999) para adubação em função de análise do solo. Repetiram-se os tratamentos nos anos de 2012-2013 e 2013-2014, ou seja, buscou-se avaliar os efeitos dos diferentes níveis de adubação aplicados em três anos consecutivos, a partir do segundo ano, quando se iniciou os tratamentos.

Os fertilizantes, nitrogenado e potássico, foram aplicados pela água de irrigação em doze parcelamentos iguais, segundo recomendações de Sobreira (2011), enquanto que a adubação fosfatada foi distribuída nos sulcos de plantio considerando as mesmas porcentagens em relação à recomendação padrão de Guimarães et al. (1999), e os diferentes níveis continuaram sendo aplicados durante os anos.

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados (DBC), sendo 5 tratamentos e 4 repetições (blocos), totalizando 20 parcelas. Cada parcela foi composta de uma fileira com oito plantas, sendo as seis centrais consideradas como úteis. As avaliações anatômicas e fisiológicas foram realizadas em agosto do ano de 2014. Avaliou-se também, a produtividade média do cafeeiro (scs. ha<sup>-1</sup>), colheitas de 2013 e 2014.

Os estudos anatômicos foram conduzidos utilizando-se de duas folhas completamente expandidas no terceiro nó de ramos plagiotrópicos do terço médio de duas plantas de cada bloco (repetição) totalizando 8 folhas/tratamento, perfazendo um total de 20 amostras. As folhas foram coletadas e fixadas em F.A.A. 70 (formaldeído: ácido acético: álcool) (JOHANSEN, 1940), por 72 horas e posteriormente conservadas em etanol 70% (v.v<sup>-1</sup>). As seções transversais foram obtidas em micrótomo de mesa (modelo LPC) e as seções paradérmicas à mão livre com uso de lâmina de aço, sendo submetidas à clarificação com hipoclorito de sódio 50% (v.v<sup>-1</sup>), tríplice lavagem em água destilada, coloração com solução safrablau (azul de astra 0,1% e safranina 1% na proporção de 7:3), para as seções transversais e safranina 1%, para as seções paradérmicas, sendo posteriormente montadas em lâminas semipermanentes com glicerol 50% (v.v<sup>-1</sup>) (KRAUS; ARDUIN, 1997).

Para a caracterização dos estômatos foi analisada a densidade estomática, número de células epidérmicas, diâmetro polar dos estômatos e diâmetro equatorial dos estômatos, segundo Castro, Pereira e Paiva (2009).

Para determinação da espessura dos tecidos foliares foram avaliadas: espessura da cutícula da face adaxial, espessura do parênquima esponjoso, diâmetro dos vasos do xilema e espessura do floema.

Para as análises fisiológicas foram utilizadas as mesmas folhas utilizadas nas análises anatômicas. Para a avaliação das trocas gasosas, utilizou-se um sistema portátil de análise de gases por infravermelho (LI-6400XT Portable

Photosynthesis System, LI-COR, Lincoln, USA). Avaliou-se a condutância estomática, transpiração e a taxa fotossintética. As avaliações foram realizadas entre 9 e 11 horas (horário solar). Utilizou-se fonte artificial de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) em câmara fechada fixada em 600  $\mu\text{mol}$  de fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Blue + Red LED LI-6400-02B, LI-COR, Lincoln, USA) utilizando sempre folhas completamente expandidas de ramos plagiotrópicos do terço médio das plantas, localizadas no terceiro nó a partir do ápice do ramo.

As análises estatísticas foram feitas por meio do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013). As análises de variância e os ajustes de regressão polinomial foram realizados com a função *split2.crd* ( ) e *split2.rbd* ( ) da biblioteca *ExpDes* (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2011), para os ajustes das regressões não polinomiais, foram especificados os modelos com a função *lm* da biblioteca *stats* (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013) e os coeficientes, o desvio padrão e os testes de hipóteses foram obtidos por meio da função *summary*( ) e nestes casos, foram feitas as correções do F calculado e valores-*p* das análises de regressão e do erro padrão, t calculado e valores-*p* dos parâmetros das regressões. Após o ajuste dos modelos, procedeu-se a verificação dos pressupostos da análise de variância por meio da análise gráfica dos resíduos.

Para as variáveis anatômicas, foi considerado o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = m + \alpha_i + e_{ji} + \varepsilon_{ij}$$

Em que  $Y_{ij}$  é a observação na *j*-ésima repetição, do *i*-ésimo nível de adubação; *m* uma constante inerente a todas as observações;  $\alpha_i$  é o efeito devido ao *i*-ésimo nível de adubação (*i* = 10, 40, 70, 100, 130, 160);  $e_{ji}$  erro associado à parcela (*ij*);  $\varepsilon_{ijk}$  é o erro associado à sub parcela.

Para as variáveis fisiológicas, foi considerado o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = m + b_j + \alpha_i + e_{ji} + \varepsilon_{ij}$$

Em que  $Y_{ij}$  é a observação no *j*-ésimo bloco, da *i*-ésimo nível de adubação; *m* uma constante inerente a todas as observações;  $\alpha_i$  é o efeito devido ao *j*-ésimo bloco (*j* = 1, 2, 3, 4); é o

efeito devido ao *i*-ésimo nível de adubação (*i* = 40, 70, 100, 130, 160);  $e_{ji}$  erro associado à parcela (*ij*);  $\varepsilon_{ijk}$  é o erro associado à subparcela.

Para a variável produtividade (média de duas safras) foi ajustado o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = m + b_j + t_i + e_{ij}$$

Em que  $Y_{ij}$  é o valor observado da produtividade no *i*-ésimo nível de adubação no *j*-ésimo bloco; uma constante inerente a todas as observações;  $b_j$  é o efeito devido ao *j*-ésimo bloco (*j* = 1, 2, 3, 4);  $t_i$  o efeito devido ao *i*-ésimo nível de adubação (*i* = 10, 40, 70, 100, 130, 160);  $e_{ij}$  é o erro experimental.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação à densidade estomática (número de estômatos por  $\text{mm}^2$ ) (Figura 1a) o modelo de regressão polinomial foi significativo podendo-se dizer que à medida que se aumentou a adubação houve também um aumento no número de estômatos/ $\text{mm}^2$ . Desta maneira a adubação com NPK possivelmente foi responsável por esse aumento já que estes nutrientes estão relacionados ao crescimento, diferenciação e desenvolvimento da planta. Rosolem e Leite (2007) trabalhando com a deficiência de boro no cafeeiro observaram que plantas deficientes em boro apresentaram uma menor densidade estomática, assim como observado neste trabalho nas menores adubações.

Grisi et al. (2008) trabalhando com cafés irrigados e não irrigados, observaram diferença na densidade variando entre 15 ( $\text{n}^\circ$  por  $\text{mm}^2$ ) para a menor densidade estomática à 18 ( $\text{n}^\circ$  por  $\text{mm}^2$ ) para os maiores valores, verificando assim a existência de características de resistência ao déficit hídrico para os maiores valores de densidade estomática nos cafeeiros não irrigados. Batista et al. (2010) trabalhando com anatomia foliar na tolerância ao stress hídrico em cafeeiros observaram diferenças na densidade variando entre 16 ( $\text{n}^\circ$  por  $\text{mm}^2$ ) para a menor densidade estomática à 18,1 ( $\text{n}^\circ$  por  $\text{mm}^2$ ) para os maiores valores, e relacionando estes maiores valores a uma maior tolerância ao estresse hídrico. A natureza sésil das plantas exige que elas se adaptem constantemente as variações em seu ambiente, e estômatos são vitais para essa função (CASSON; GRAY, 2008).

Para o número de células epidérmicas, o modelo de regressão cúbico foi significativo apresentando seus maiores valores próximo a adubação de 100% NPK, e isto resulta em células de menores dimensões (Figura 1b).

A diminuição do tamanho das células epidérmicas é uma estratégia adaptativa que contribui para a resistência contra o colapso celular e para o controle da transpiração cuticular (GOMES et al., 2008; QUEIROZ-VOLTAN et al., 2014).

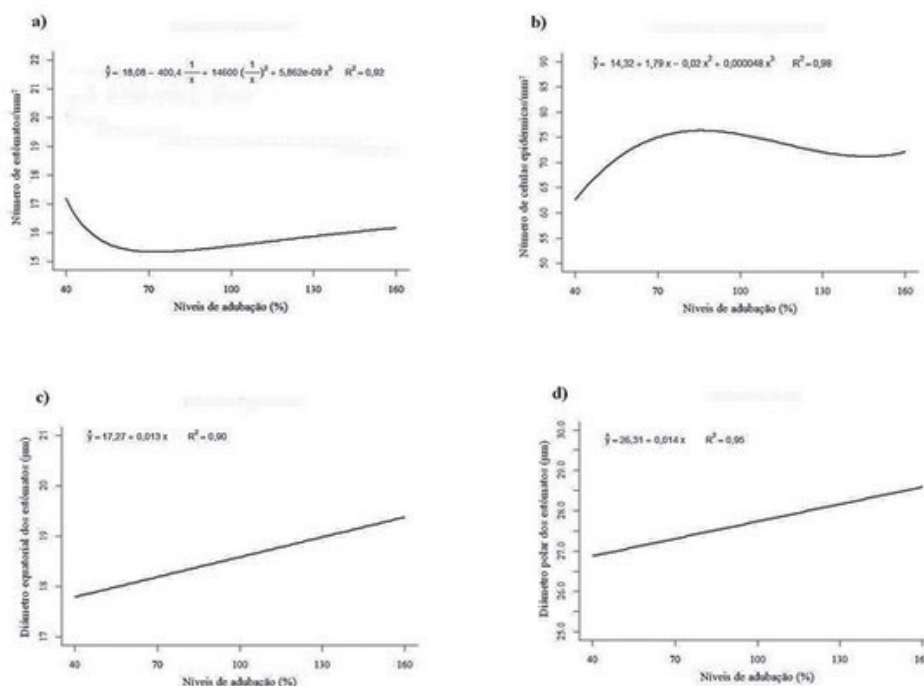
De acordo com a Tabela 1 pode-se inferir que não houve diferenças significativas na transpiração das plantas em função dos diferentes níveis de adubação NPK, o que pode ser explicado pela diminuição no tamanho das células quando ocorreu falta ou excesso de nutrientes (Figura 1b), favorecendo o controle da transpiração. Ou seja, em condição desfavorável de nutrição, a planta parece ter-se adaptado quanto à transpiração, diminuindo o tamanho das células epidérmicas, fazendo com que não houvesse diferenças na transpiração das plantas nas diferentes condições de nutrição.

Já para o diâmetro equatorial e polar dos estômatos, o modelo de regressão linear foi significativo apresentando um aumento no diâmetro com o aumento no nível de adubação NPK (Figura 1cd). Em ambientes sob condições

de estresse (falta ou excesso de nutrientes) e/ou com maior radiação solar, a frequência de estômatos é maior e suas dimensões menores, contribuindo para o equilíbrio das trocas gasosas (QUEIROZ-VOLTAN et al., 2014; SOUZA et al., 2010), conforme observado na Tabela 1.

Para a espessura da cutícula da face adaxial (Figura 2a), o modelo de regressão linear foi significativo apresentando uma pequena diminuição na espessura da cutícula com o aumento nos níveis de adubação NPK. Sabe-se que a cutícula mais espessada pode evitar a perda de água excessiva por transpiração (BALIZA et al., 2012; SOUZA et al., 2010), (Tabela 1). Batista et al. (2010) trabalhando com anatomia foliar na tolerância ao stress hídrico em cafeeiros observaram diferenças na cutícula variando entre 3,5 ( $\mu\text{m}$ ) para a menor espessura de cutícula a 5 ( $\mu\text{m}$ ) para os maiores valores, e relacionando estes maiores valores de espessamento de cutícula com uma maior tolerância ao estresse hídrico.

Para a espessura do parênquima paliádico (Figura 2b), o modelo de regressão cúbica foi significativo apresentando um aumento na espessura do parênquima a partir da adubação de 70% NPK e até 130% de adubação.



**FIGURA 1** - a) Número de estômatos, b) número de células epidérmicas, c) diâmetro equatorial dos estômatos, e d) diâmetro polar dos estômatos de folhas de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação NPK.



Neves (2009), trabalhando com a anatomia foliar de cafeeiro com e sem fornecimento de zinco também observou um aumento do parênquima paliçádico no tratamento com adição de zinco. O parênquima paliçádico está intimamente relacionado à fotossíntese, e um maior desenvolvimento desse tecido pode permitir maior fixação de CO<sub>2</sub> (CASSON; GRAY, 2008; QUEIROZ-VOLTAN et al., 2014), fato esse não observado no presente trabalho (Tabela 1).

Para a espessura do floema (Figura 2c), o modelo de regressão polinomial foi significativo apresentando um aumento na espessura do floema com o aumento no nível da adubação NPK. Porém foi verificado no tratamento com adubação de 40% NPK maior valor para espessura do floema, que pode ser uma adaptação da folha frente à falta de nutrientes para garantir seu desenvolvimento, pois no presente trabalho a produtividade não foi prejudicada nos tratamentos com menor nível de adubação.

Para o diâmetro dos vasos do xilema o modelo de regressão cúbico foi significativo apresentando um aumento com o aumento da adubação NPK (Figura 2d). O maior número de vasos com o menor diâmetro pode favorecer a

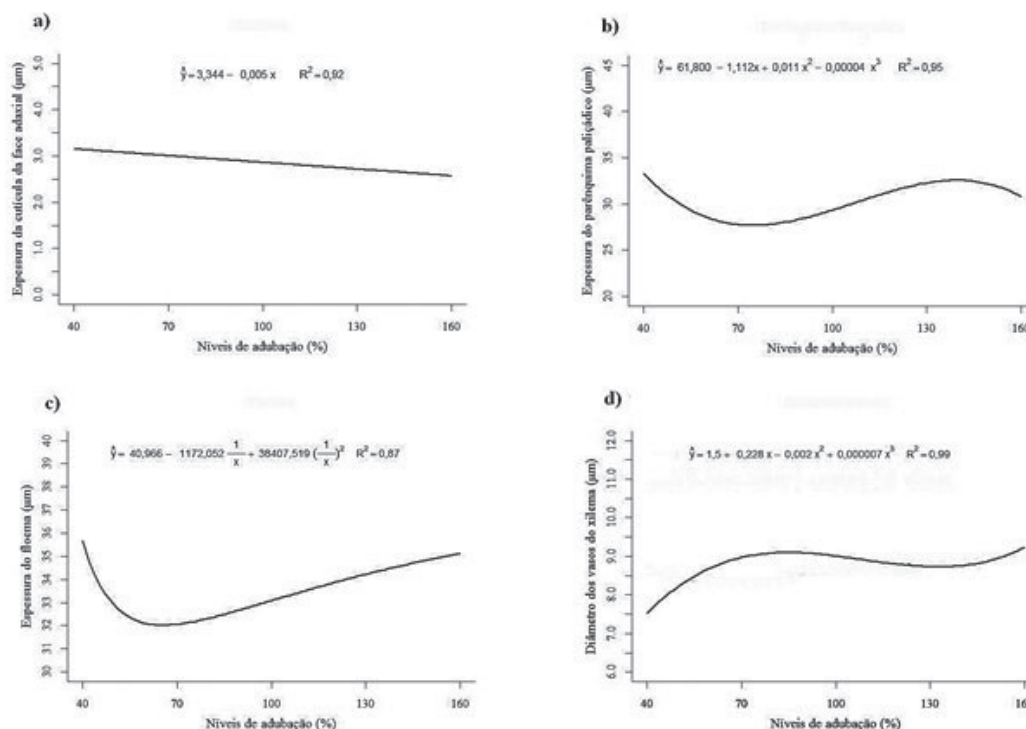
condutância hidráulica, reduzindo a cavitação e tornando a absorção de água e nutrientes mais eficiente (QUEIROZ-VOLTAN et al., 2014). Uma menor espessura de vasos do xilema em condições ambientais desfavoráveis (deficiência/excesso nutricional) pode permitir um transporte de água mais eficiente e seguro, melhorando a condutividade hidráulica (BATISTA et al., 2010), conforme observado nas menores adubações, onde ocorreu uma diminuição na espessura dos vasos, mas as trocas gasosas permaneceram iguais às das demais adubações (Tabela 1).

A produtividade do cafeeiro não apresentou diferenças significativas entre os diferentes níveis de adubação. Pode-se dizer que possivelmente a adubação feita no primeiro ano e que seguiu a recomendação padrão em todos os tratamentos pode ter influenciado na safra do segundo ano, e a safra seguinte ainda não ter sido comprometida por ser ainda pequena. Há também há a possibilidade de que a adubação de primeiro ano tenha amenizado os efeitos nas plantas com menor nível de adubação, o que pode ter causado diferenças menores em algumas características anatômicas ou mesmo a não observância de diferenças, como é o caso das trocas gasosas.

**TABELA 1** - Taxa fotossintética ( $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) e transpiração ( $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) e) de folhas de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação NPK.

Níveis de adubação	Taxa fotossintética	Condutância estomática	Transpiração
40%	9,9a	0,13a	2,2a
70%	10,5a	0,12a	2,5a
100%	10,7a	0,14a	2,7a
130%	10,2a	0,12a	2,6a
160%	9,6a	0,15a	2,7a

As médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de F ( $P < 0,05$ ).



**FIGURA 2** - a) Espessura da cutícula da epiderme adaxial, b) espessura do parênquima paliçádico, c) espessura do floema e d) diâmetro dos vasos do xilema de folhas de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação NPK.

#### 4 CONCLUSÕES

Os diferentes níveis de adubação NPK provocaram diferenças na anatomia foliar do cafeeiro, porém a produtividade e trocas gasosas do cafeeiro não foram afetadas.

#### 5 AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia. À Coordenação de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos. Ao CNPQ e ao Consórcio Pesquisa Café pelo apoio financeiro do projeto.

#### 6 REFERÊNCIAS

BALIZA, D. P. et al. Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, p. 250-258, 2012.

BATISTA, L. A. et al. Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse

hídrico. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 475-481, 2010.

BRODRIBB, T. J.; FEILD, T. S.; JORDAN, G. J. J. Leaf maximum photosynthetic rate and venation are linked by hydraulics. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 144, p. 1890-1898, 2007.

CARVALHO, L. M. et al. Aspectos morfofisiológicos das cultivares de cafeeiro Catuai-Vermelho e Conilon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 411-416, mar. 2015.

CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal: estrutura e função de órgãos vegetativos**. Lavras: Ed. UFLA, 2009. 234 p.

CASSON, S.; GRAY, J. E. Influence of environmental factors on stomatal development. **New Phytologist**, Cambridge, v. 178, n. 1, p. 9-23, Feb. 2008.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira, café: quarto levantamento**, janeiro/ 2016. Disponível

- em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_01\\_12\\_14\\_17\\_16\\_boletim\\_graos\\_janeiro\\_2016.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_01_12_14_17_16_boletim_graos_janeiro_2016.pdf)>. Acesso em: 10 mar. 2016.
- DEDDECA, D. M. Anatomia e desenvolvimento ontogenético de *Coffea arabica* L. var. *typica* Cramer. **Bragantia**, Campinas, v. 6, p. 315-366, 1957.
- FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. Experimental designs: um pacote R para análise de experimentos. **Revista da Estatística da UFOP**, Ouro Preto, v. 1, n. 1, p. 1-9, 2011.
- GOMES, I. A. C. et al. Alterações morfofisiológicas em folhas de *Coffea arabica* L. cv. “Oeiras” sob influência do sombreamento por *Acacia mangium* Willd. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 109-115, jan./fev. 2008.
- GRISI, F. A. et al. Avaliações anatômicas foliares em mudas de café ‘Catuaí’ e ‘Siriema’ submetidas ao estresse hídrico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1730-1736, nov./dez. 2008.
- GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ-VENEGAS, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. p. 289-302.
- JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw Hill, 1940. 523 p.
- KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Rio de Janeiro: EDUR, 1997. 319 p.
- MATTA, F. M. da et al. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campo dos Goytacazes, v. 19, n. 4, p. 485-510, 2007.
- NASCIMENTO, E. A. do et al. Alterações morfofisiológicas em folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) consorciado com seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 852-857, maio/jun. 2006.
- NEVES, P. Y. **Conteúdo foliar de zinco, produção, qualidade de grãos e plasticidade foliar do cafeeiro em resposta ao suprimento do nutriente**. 2009. 87 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.
- PINHEIRO, C.; CHAVES, M. M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 3, p. 869-882, 2011.
- PINHEIRO, H. A. et al. Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. **Annals of Botany**, London, v. 96, n. 1, p. 101-108, Jan. 2005.
- QUEIROZ-VOLTAN, R. B. et al. Caracterização da anatomia foliar de cafeeiros arábica em diferentes períodos sazonais. **Revista Biotemas**, Florianópolis, v. 27, n. 4, p. 1-10, dez. 2014.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 12 mar. 2013.
- ROSOLEM, C. A.; LEITE, V. M. Coffee leaf and stem anatomy under boron deficiency. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 477-483, 2007.
- SACK, L.; HOLBROOK, N. M. Leaf hydraulics. **The Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 57, p. 361-381, 2006.
- SOBREIRA, F. M. et al. Adubação nitrogenada e potássica de cafeeiro fertirrigado na fase de formação em plantio adensado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 1, p. 9-16, jan. 2011.
- SOUZA, T. C. de et al. Leaf plasticity in successive selection cycles of ‘Saracura’ maize in response to periodic soil flooding. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 1, p. 16-24, jan. 2010.