



TAMARA CUBIAKI PIRES DA GAMA

**CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS E
FISIOLÓGICAS DE CAFEEIROS IRRIGADOS
EM DIFERENTES NÍVEIS DE ADUBAÇÃO**

LAVRAS – MG

2015

TAMARA CUBIAKI PIRES DA GAMA

**CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS E FISIOLÓGICAS DE
CAFEEIROS IRRIGADOS EM DIFERENTES NÍVEIS DE ADUBAÇÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Rubens José Guimarães

LAVRAS – MG

2015

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Gama, Tamara Cubiaki Pires da.

Características anatômicas e fisiológicas de cafeeiros irrigados
em diferentes níveis de adubação / Tamara Cubiaki Pires da Gama. –
Lavras: UFLA, 2015.

78 p.: il.

Tese(doutorado)–Universidade Federal de Lavras, 2015.

Orientador(a): Rubens José Guimarães.

Bibliografia.

1. *Coffea arabica*. 2. Nutrição. 3. Anatomia foliar. 4. Fisiologia.
I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

TAMARA CUBIAKI PIRES DA GAMA

**CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS E FISIOLÓGICAS DE
CAFEEIROS IRRIGADOS EM DIFERENTES NÍVEIS DE ADUBAÇÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 07 de agosto de 2015.

Dr. Evaristo Mauro de Castro	UFLA
Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes	UFLA
Dr. César Elias Botelho	EPAMIG
Dra. Milene Alves de Figueiredo Carvalho	EMBRAPA

Orientador

Dr. Rubens José Guimarães

LAVRAS – MG

2015

*Aos meus pais José Silvio e Eva,
pelo apoio em todos os momentos.*

*À minha irmã Tati,
pelo companheirismo.*

*Ao meu esposo Flávio,
pelo amor e paciência.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre estar no controle da minha vida. Porque Dele, por ELE e para ELE são todas as coisas!

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, pela oportunidade de realizar o doutorado.

Ao meu orientador Prof. Rubens José Guimarães, pelo exemplo, confiança, apoio e orientação durante este trabalho.

À pós-doutoranda Janine Magalhães Guedes e aos pesquisadores Vânia Aparecida Silva e Rodrigo Luz da Cunha, pela disponibilidade e contribuições ao meu conhecimento.

Ao Prof. Virgílio e pesquisadores Edinaldo José Abrahão e Elifas Nunes de Alcântara, pela amizade e valiosas contribuições.

Às amigas e colegas do Laboratório de Anatomia, que me ajudaram, desde o início, na condução do trabalho.

Aos amigos, Tiago Teruel, José Carlos e Helbert Resende, por todas as colaborações.

Aos amigos Jackson, Mariana e Náglá, por todo apoio dado durante os últimos anos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao CNPQ pelo apoio financeiro do projeto.

Ao InovaCafé pela realização do experimento.

À secretária da pós-graduação em Fitotecnia, Marli, pelo apoio e auxílio sempre.

A todos que contribuíram para que este trabalho fosse realizado com sucesso, **muito obrigada!!!**

RESUMO

A nutrição mineral contribui para a composição da organização estrutural, causando modificações em sua estrutura anatômica que podem alterar a espessura de tecidos e os conteúdos de pigmentos. Objetivou-se identificar possíveis alterações na anatomia e fisiologia de cafeeiros irrigados em diferentes níveis de adubação (40, 70, 100, 130 e 160%) no primeiro e segundo ano após implantação da lavoura. O primeiro experimento foi constituído por cafeeiros adubados em diferentes níveis no primeiro ano após implantação da lavoura, sendo avaliados as características anatômicas e fisiológicas em duas épocas do ano, além da produtividade. Os diferentes níveis de adubação e época de avaliação provocaram diferenças na estrutura interna, ou seja, na anatomia foliar e na fisiologia do cafeeiro irrigado. Em geral, os melhores resultados nos parâmetros avaliados foram encontrados no nível de 100% da adubação, corroborando assim para a importância da nutrição mineral equilibrada e a maior produtividade foi obtida no nível de 126% da adubação. O segundo experimento foi realizado em cafeeiros adubados em diferentes níveis no segundo ano após implantação da lavoura onde foram avaliadas as características de trocas gasosas e anatomia foliar em duas épocas do ano e a produtividade. Os diferentes níveis de adubação e época de avaliação provocaram diferenças na estrutura interna, ou seja, na anatomia foliar e na fisiologia do cafeeiro irrigado. A maior produtividade ocorreu no nível de 104% da adubação.

Palavras-chave: *Coffea arabica*. Nutrição. Anatomia foliar. Fisiologia.

ABSTRACT

Mineral nutrition contributes to the composition of the structural organization, causing changes in its anatomical structure that can change the tissue thickness and pigment content. The objective was to identify changes in the anatomy and physiology of coffee in different fertilizer levels (40, 70 100, 130 and 160%) in the first and second year after deployment. The first experiment consisted of coffee fertilized at different levels in the first year after implantation of the crop, being evaluated on the anatomical and physiological characteristics, as well as productivity in two seasons. The different levels of fertilization and assessment time caused differences in the internal structure, ie, the leaf anatomy and physiology of irrigated coffee. In general, the best results in the evaluated parameters were found at the level of 100% of fertilization, thus confirming the importance of mineral nutrition; and increased productivity was achieved at the level of 126% of fertilization. The second experiment was conducted with coffee fertilized at different levels in the second year after plowing of implementation, where we evaluate the characteristics of gas exchange, leaf anatomy and productivity in both rainy and dry seasons. Different levels of fertilization and assessment time caused differences in the internal structure, ie, in the leaf anatomy and physiology of irrigated coffee. The highest yield occurred at the level of 104% of fertilizer.

Keywords: *Coffea arabica*. Nutrition. Foliar anatomy. Physiology.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

- Figura 1 a) Número de estômatos, b) número de células epidérmicas, c) diâmetro equatorial dos estômatos d) diâmetro polar dos estômatos e e) funcionalidade estomática de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação. Barras de erro representam o erro padrão da média..... 41
- Figura 2 Seção paradérmica de folhas de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação. (A – 40% de adubo em março; B – 40% de adubo em agosto; C – 100% de adubo em março; D – 100% de adubo em agosto; E – 160% de adubo em março; J – 160% de adubo em agosto). Barra 50 μm 44
- Figura 3 a) Espessura da cutícula da epiderme adaxial, b) espessura da epiderme adaxial, c) espessura da epiderme abaxial, d) espessura do parênquima paliçádico, e) espessura do parênquima esponjoso e f) espessura do mesofilo de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação, março (●) e agosto (□). Barras de erro representam o erro padrão da média..... 45
- Figura 4 Seção transversal de folhas de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação. (A – 40% de adubo em março; B – 40% de adubo em agosto; C – 100% de adubo em março; D – 100% de adubo em agosto; E – 160% de adubo em março; J – 160% de adubo em agosto). Barra 100 μm 46

Figura 5	a) Número de vasos do xilema, b) diâmetro do vaso do xilema e c) espessura do floema de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação, março (●) e agosto (□). Barras de erro representam o erro padrão da média.....	48
Figura 6	Detalhe do feixe vascular em seção transversal da nervura de folhas de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação. (A – 40% de adubo em março; B – 40% de adubo em agosto; C – 100% de adubo em março; D – 100% de adubo em agosto; E – 160% de adubo em março; J – 160% de adubo em agosto). Barra 100 μm.....	50
Figura 7	Potencial hídrico (MPa) de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação.....	52
Figura 8	Produtividade de café (sc/ha) de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação.....	53

CAPÍTULO 3

Figura 1	a) Número de estômatos, b) número de células epidérmicas, c) diâmetro equatorial dos estômatos, e d) funcionalidade estomática de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação, março (●) e agosto (□). Barras de erro representam o erro padrão da média.....	65
Figura 2	Seção paradérmica de folhas de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação. (A – 40% de adubo em março; B – 40% de adubo em agosto; C – 100% de	

	adubo em março; D – 100% de adubo em agosto; E – 160% de adubo em março; J – 160% de adubo em agosto). Barra 50 μ m.....	66
Figura 3	a) Espessura da cutícula da epiderme adaxial, b) espessura da epiderme adaxial e c) espessura do parênquima paliçádico de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação, março (●) e agosto (□). Barras de erro representam o erro padrão da média.....	67
Figura 4	Seção transversal de folhas de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação. (A – 40% de adubo em março; B – 40% de adubo em agosto; C – 100% de adubo em março; D – 100% de adubo em agosto; E – 160% de adubo em março; J – 160% de adubo em agosto). Barra 100 μ m.....	69
Figura 5	a) Número de vasos do xilema, b) diâmetro do vaso do xilema e c) espessura do floema de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação, março (●) e agosto (□). Barras de erro representam o erro padrão da média.....	70
Figura 6	Detalhe do feixe vascular em seção transversal da nervura de folhas de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação. (A – 40% de adubo em março; B – 40% de adubo em agosto; C – 100% de adubo em março; D – 100% de adubo em agosto; E – 160% de adubo em março; J – 160% de adubo em agosto). Barra 100 μ m.....	72

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1	Temperatura (°C), umidade relativa do ar (%), evapotranspiração de referência média (mm), evapotranspiração acumulada (mm) e precipitação acumulada (mm). UFLA, Lavras, 2014.....	34
Tabela 2	Caracterização química do solo antes da diferenciação dos tratamentos, na área onde foram montados os experimentos. UFLA, Lavras, 2014.....	35
Tabela 3	Variações no número de estômatos (ud), diâmetro equatorial (μm) e índice estomático (%) de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação.....	42
Tabela 4	Variações na taxa fotossintética ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), condutância estomática ($\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e transpiração ($\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação.....	50

CAPÍTULO 3

Tabela 1	Variações na taxa fotossintética ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), condutância estomática ($\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), transpiração ($\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e eficiência do uso da água ($\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$) de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação.....	73
----------	--	----

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1 Introdução geral.....	14
1	INTRODUÇÃO.....	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1	Importância e botânica do cafeeiro.....	17
2.2	Fertirrigação no cultivo do cafeeiro.....	18
2.3	Efeito da adubação na fisiologia e anatomia.....	19
3	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	23
	REFERÊNCIAS.....	24
	CAPÍTULO 2 Características anatômicas e fisiológicas de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação a partir do primeiro ano após a implantação da lavoura.....	29
1	INTRODUÇÃO.....	32
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	34
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4	CONCLUSÕES.....	54
	REFERÊNCIAS.....	55
	CAPÍTULO 3 Características anatômicas e fisiológicas de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação a partir do segundo ano após a implantação da lavoura.....	58
1	INTRODUÇÃO.....	61
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	63
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
4	CONCLUSÕES.....	75
	REFERÊNCIAS.....	76

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e segundo maior consumidor de café do mundo. Dentre as espécies comercializadas, *Coffea arabica* L. é responsável por 70% de todo o café produzido e comercializado no mundo. Originário das terras altas da Etiópia, é uma cultura adaptada à zona tropical e subtropical, sendo cultivado em países em desenvolvimento, como aqueles na África, Ásia e América Latina (CONAB, 2015).

No Brasil, o plantio de *Coffea arabica* L. pode ocorrer em períodos onde há deficit hídrico no solo, fazendo, assim, necessária a adesão de tecnologias alternativas para o suprimento de água para estas plantas (SANTINATO, 2001).

A utilização do próprio sistema de irrigação como condutor e distribuidor de fertilizantes combinados à água de irrigação é conhecida como fertirrigação. Esta técnica possibilita a otimização do uso de insumos em diferentes culturas irrigadas, principalmente em aspectos relacionados à produtividade dos produtos obtidos, sendo mais notável sua adoção em culturas irrigadas por sistemas de irrigação localizada, como é o caso do cafeeiro (BRANDO, 2003).

O nível de adubação utilizado pelos cafeicultores nem sempre corresponde ao recomendado pelas instituições de pesquisa, visto que o custo dos fertilizantes nem sempre é compatível com o preço do café pago aos cafeicultores.

Se um dos elementos químicos essenciais à planta está disponível em quantidades insuficientes, a deficiência deste elemento provocará desarranjos nos processos metabólicos da planta, podendo afetar a sua estrutura interna, havendo alterações na diferenciação vascular e estrutura foliar; além disso, a nutrição mineral influencia direta e indiretamente o metabolismo do carbono (MARSHNER, 1995).

As alterações morfológicas (crescimento das plantas) em função da nutrição deficiente já são conhecidas, bem como seus consequentes efeitos na produtividade. Porém as alterações anatômicas que levam ao menor crescimento e desenvolvimento dos cafeeiros necessitam ser estudadas.

Para se conhecer o efeito das diferentes tecnologias de produção sobre os cafeeiros a elas submetidos, é importante ter conhecimento sobre as mudanças por elas provocadas nas características anatômicas das plantas. Esse conhecimento possibilitará entender com clareza quais foram as mudanças anatômicas provocadas por determinada tecnologia, e assim abrir novas linhas de investigação que podem alterar a resposta da planta às situações adversas.

Há na literatura especializada trabalhos relacionados a modificações anatômicas decorrentes de estresse hídrico, fotoperíodo, sombreamento, mas quase nenhum relacionado a mudanças anatômicas em cafeeiros decorrentes da nutrição mineral.

No caso específico deste trabalho buscou-se entender os efeitos, no primeiro e segundo ano após o de implantação da lavoura cafeeira, nas características anatômicas e fisiológicas dos cafeeiros a partir da adubação em diferentes níveis. A hipótese mais provável é que as plantas submetidas a diferentes níveis de adubação apresentassem diferenças entre as características anatômicas e fisiológicas.

Objetivou-se, neste trabalho, identificar as possíveis alterações nas características anatômicas e fisiológicas de cafeeiro irrigados em diferentes níveis de adubação (40, 70, 100, 130 e 160% da adubação padrão, recomendada por Guimarães et al. (1999) para adubação de sequeiro em função de análise do solo), a partir do primeiro e segundo ano após a implantação da lavoura.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância e botânica do cafeeiro

O cultivo de café está entre as atividades socioeconômicas de maior importância no agronegócio mundial, sendo o Brasil o maior produtor e segundo maior consumidor de café do mundo. As principais espécies de café comercializadas para grãos no Brasil são *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre, sendo originárias das terras altas da Etiópia e das florestas baixas da África Equatorial, na bacia do rio Congo, respectivamente (CHARRIER, 1978).

O Brasil é maior produtor e exportador mundial de café e colheu, na safra 2014, mais de 45,3 milhões de sacas beneficiadas, sendo 32,3 milhões de café arábica e 13 milhões de conilon. O Vietnã, segundo maior produtor de café e onde predomina o cultivo de café conilon, deve produzir cerca de 29,3 milhões de sacas. Assim, como acontece com a produção mundial, o café arábica corresponde a mais de 70% da produção brasileira (CONAB, 2015).

As folhas do cafeeiro em plantas adultas normalmente estão presentes somente nos ramos plagiotrópicos, no mesmo plano e em posições opostas. A lâmina foliar de 12 a 24 cm é delgada e ondulada de forma elíptica, apresentando pequenas variações entre as variedades. A cor das folhas jovens é um importante descritor para as cultivares do grupo Mundo Novo (ALVES, 2008). A lâmina foliar possui uma ou mais camadas de células externas que constituem a epiderme, especializada na absorção de luz.

A epiderme é revestida por uma camada de cutícula (formada por cutina, ceras e pectinas) que reduz a perda espontânea de água e protege contra danos mecânicos. Apresenta grande diversidade anatômica e morfológica e, por estar em contato direto com o ambiente, está sujeita a modificações estruturais, em decorrência de vários fatores ambientais, entre eles a luz. Ela contém diferentes

tipos de células, tais como a dos estômatos, do parênquima paliçádico e lacunoso. A transpiração estomática é responsável por mais de 90% da água transpirada (CARVALHO et al., 2008).

Os estômatos do cafeeiro têm distribuição na epiderme da face abaxial, caracterizando a folha como hipoestomática (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009), e são do tipo paracítico.

2.2 Fertirrigação no cultivo do cafeeiro

O estado de Minas Gerais, maior produtor nacional de café, possui a segunda maior área irrigada (75 mil hectares) de café no país e boa parte dela se encontra no Cerrado (ITEM, 2000).

Na região Sul de Minas Gerais, devido à ocorrência de veranicos em fases fenológicas críticas da cultura quanto à demanda hídrica, a área de café irrigado tem crescido de forma expressiva nos últimos anos. A irrigação vem apresentando bons resultados (FERNANDES & DRUMOND, 2002), aliada à prática da fertirrigação.

A cultura do cafeeiro é muito exigente em água e sua exigência se baseia em relação à função das fases fenológicas, evaporação do tanque classe A, umidade relativa do ar, velocidade do vento, evapotranspiração de referência e área foliar média do cafeeiro (VILA NOVA et al., 2002).

A interação existente entre irrigação e adubação faz com que a resposta das culturas à aplicação de fertilizantes seja alterada pelo regime hídrico do solo. A fertirrigação vem sendo difundida entre os produtores brasileiros, uma vez que a técnica se mostra efetiva no aumento da produtividade e, conseqüentemente, na rentabilidade das culturas (MARTINS et al., 2011).

A recomendação de adubação para cafeeiros irrigados ainda é conflitante entre os autores, e o problema é ainda maior quando se considera a fertirrigação.

Quando a fertirrigação é realizada de maneira criteriosa, reduções nas doses de fertilizantes podem ser conseguidas sem afetar o desenvolvimento, e, conseqüentemente, a produtividade das culturas, como constatado por Clemente (2005) e Clemente et al. (2008).

A fertirrigação consiste na aplicação de fertilizantes juntos à água de irrigação. É uma técnica que possibilita a otimização do uso de insumos em diferentes culturas irrigadas, tanto em aspectos relacionados à produtividade quanto à qualidade dos produtos obtidos, sendo mais notável sua adoção em culturas irrigadas por sistemas de irrigação localizada. (OLIVEIRA e VILLAS BOAS, 2008).

Para se alcançar êxito na fertirrigação deve-se utilizar fontes de alta solubilidade para que a concentração de nutrientes na solução aplicada seja, de fato, aquela calculada. Outro aspecto importante da solubilidade é que alguns fertilizantes que não apresentam dissolução completa podem causar entupimento nos emissores, principalmente dos gotejadores (VILLAS BÔAS, et al, 1999).

Sobreira (2010), trabalhando com lavouras fertirrigadas, recomenda que a adubação de N e K₂O do cafeeiro fertirrigado em formação (1º e 2º anos após o 1º ano de formação da lavoura) deve ser 30% inferior à recomendada por Guimarães et al. (1999) para o cultivo em sequeiro. Já Pinto (2012) constatou que para adubação no primeiro ano em lavouras fertirrigadas, o melhor nível de adubação com nitrogênio, fósforo e potássio é 118,33% da adubação padrão utilizada para lavouras de sequeiro, porém em seus trabalhos o autor levou em consideração também a primeira produção da lavoura.

2.3 Efeito da adubação na fisiologia e anatomia

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 (MALAVOLTA, 2006).

O nitrogênio exerce importante função nos processos bioquímicos da planta. Ele é constituinte de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos, fitocromos e da clorofila (CANTARELLA, 1993). Além disso, ele afeta as taxas de iniciação e expansão foliar, o tamanho final e a intensidade de senescência das folhas (SCHRODER et al., 2000). Sob deficiência de nitrogênio, geralmente desenvolvem-se folhas pequenas, com estômatos com problemas no mecanismo de abertura e fechamento. Em muitas espécies, altas taxas de trocas gasosas estão associadas a altas concentrações de nitrogênio foliar (ELLSWORTH; REICH, 1992; ALMEIDA, 2001).

O potássio, após a absorção, é acoplado aos processos metabólicos, apresentando elevada mobilidade dentro da planta em todos os níveis: no interior das células, entre as células e tecidos e no transporte de longa distância via xilema e floema. O potássio não é metabolizado (assimilado em compostos orgânicos); forma ligações fracas, facilmente trocáveis. Ele atua na regulação osmótica, no balanço cátion/ânions, nas relações hídricas na planta, no movimento dos estômatos, no alongamento celular, na estabilização do pH do citoplasma, na ativação enzimática para grande número de enzimas, na síntese de proteínas, na fotossíntese e no transporte de açúcares no floema (FURLANI, 2004).

O fósforo é um elemento de dinâmica complexa em solos tropicais, sendo o nutriente que mais limita a produção nessas regiões (RAIJ, 1996). O fósforo tem função importante como elemento estrutural dos ácidos nucleicos (DNA e RNA), compostos orgânicos e absorção ativa de nutrientes. O fosfato inorgânico (Pi) absorvido pelas raízes é rapidamente incorporado aos açúcares, formando ésteres de açúcar-fosfato. Também atua como elemento transferidor de energia nas ligações energéticas do fosfato e pirofosfato com os açúcares, com o

gliceraldeído e com as coenzimas AMP, ADP, ATP, UTP e GTP e como elemento regulador: o Pi iônico armazenado no vacúolo é liberado no citoplasma e atua como regulador das diversas vias sintéticas (FURLANI, 2004).

O fechamento dos estômatos é um processo regulado por vários fatores como a concentração celular de CO₂ nas folhas, concentração de solutos celulares, íons específicos, pH e ABA produzido na folha ou importados a partir da raiz (BLUM, 2009). O estresse hídrico é um dos fatores ambientais mais limitantes à planta em todo o mundo. A resposta fotossintética de plantas C3 ao estresse hídrico tem sido bem estudada e avaliada, conforme indicado pelo grande número de pesquisas (CORNIC; FRESNEAU, 2002; FLEXAS et al., 2004).

Se um dos elementos químicos essenciais à planta está disponível em quantidades insuficientes ou em combinações químicas que são menos absorvidos, a deficiência deste elemento provocará desarranjos nos processos metabólicos da planta (EPSTEIN & BLOOM, 2006). Esses desarranjos podem afetar a estrutura interna da planta, podendo provocar alterações na diferenciação vascular, estrutura foliar, e ultraestrutura celular, bem como a perda da integridade da parede celular (DICKISON, 2000). A nutrição mineral, por sua vez, pode ter efeito secundário sobre a resistência de plantas ao ataque de pragas e doenças, ou seja, quando os efeitos da nutrição se realizam nas características físicas que possibilitam mais resistência (MARSCHNER, 1995).

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 (SACK & HOLBROOK, 2006; BRODRIBB et al., 2007). A anatomia foliar do cafeeiro demonstra alterações para fatores como as condições de radiação (BALIZA et al., 2012; MORAIS et al., 2004), deficiência hídrica (BATISTA et al., 2010; GRISI et al., 2008) e deficiências nutricionais (NEVES,

2009; POLTRONIERI et al., 2011) apresentando alterações nas espessuras do parênquima paliçádico e esponjoso, dimensões estomáticas entre outras (NASCIMENTO et al., 2006; PINHEIRO et al., 2005).

Dedecca (1957) descreveu a anatomia e o desenvolvimento ontogenético de *Coffea Arabica* L. var. *typica* Cramer. Posteriormente, poucos trabalhos em anatomia têm sido desenvolvidos com essa espécie.

Escassas foram as informações encontradas na literatura que relatam a influência de fontes e níveis de adubação no comportamento de características anatômicas, como as pesquisas de Chaves et al. (2002), Kaiser et al. (2005) e Sridhar et al. (2007). Trabalhos recentes de Sridhar et al. (2007) indicaram que há influência do acúmulo de nutrientes como zinco e cádmio na espessura de tecidos foliares de cevada, evidenciando que podem alterar parâmetros anatômicos de tecidos vegetais.

Os estudos anatômicos que visam estudar os efeitos e os níveis dos nutrientes na anatomia são importantes, visto que a anatomia da planta pode influenciar na translocação de nutrientes (ROSOLEM; LEITE, 2007). Estes autores observaram que a deficiência de boro, em plantas de *Coffea arabica* grupos Catuaí e Mundo Novo, causou redução do mesofilo foliar e redução das células do córtex e pouca diferenciação nos tecidos vasculares.

3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A técnica da irrigação aplicada à cultura do cafeeiro permitiu a viabilização agronômica e econômica da cafeicultura em regiões consideradas marginais quanto ao déficit hídrico ocupando, além das tradicionais áreas no Sul de Minas, Zona da Mata, São Paulo e Paraná, novas áreas no nordeste de Minas Gerais, leste de Goiás e Mato Grosso e Oeste Baiano, regiões essas com elevadas temperaturas que podem proporcionar ganhos de produtividade (SANTINATO, 2001).

O emprego de inovações tecnológicas relacionadas a insumos agrícolas, máquinas e implementos e à irrigação, tem sido item indispensável à obtenção de produções sustentáveis e produtividades crescentes ao longo do tempo (REETZ et al., 2012).

Além do fornecimento de água em fases fenológicas críticas, a fertirrigação permite aumentar a produtividade das lavouras e melhorar a qualidade dos frutos de café, reduzindo os custos com mão de obra durante as adubações (GOMES; LIMA; CUSTÓDIO, 2007).

Espera-se que estudos que relacionem as estruturas anatômicas com suas respectivas funções fisiológicas auxiliem na recomendação dos níveis de adubação a serem utilizados, uma vez que a nutrição mineral é importante para o desenvolvimento da estrutura interna das folhas do cafeeiro que podem favorecer as características fisiológicas necessárias para otimizar o desenvolvimento e a produtividade dessa cultura.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L.P. Germinação, crescimento inicial e anatomia foliar de plantas jovens de *Cryptocarya aschersoniana* Mez. sob diferentes níveis de radiação. 96p. **Dissertação Mestrado em Fisiologia Vegetal** – Curso de Agronomia/Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Lavras, 2001.
- ALVES, J. D. **Morfologia do cafeeiro**. In: CARVALHO, C. H. (Ed.). Cultivares de café: origem, características e recomendações. Brasília: EMBRAPA Café, p. 35-58, 2008.
- BALIZA, D. P. et al. Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, v.7, p.250-258, 2012.
- BATISTA, L.A.; GUIMARÃES, R.J.; PEREIRA, F.J.; CARVALHO, G.R.; CASTRO, E.M. de. 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.
- BLUM, A. Sorghum physiology. In: Nguyen HT, Blum A (eds) **Physiology and biotechnology integration for plant breeding**, Marcel Dekker, New York. 2009.
- BRANDO, C.H.J. Vantagens e vulnerabilidade da cafeicultura brasileira. In: FNP Consultoria & Agroinformativos. **Agriannual Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria e Agroinformativos, p.251-254, 2003.
- 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.
- CANTARELLA, H. 1993. Calagem e adubação do milho. In: BÜL, L.T.; CANTARELLA, H. (Eds). Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: **POTAFOS**, p.147-198.
- CARVALHO, C. H. S. **Cultivares de café**: origem, características e recomendações. Brasília: EMBRAPA Café, 2008. 334 p.
- CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal**: estrutura e função de órgãos vegetativos. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.

CHARRIER, A. La structure génétique des caféiers spontanés de la region Malgashe (*Mascarocoffea*). Leurs relations avec les caféiers d'origine africaine (Eucoffea). **Memories ORSTOM**, Paris, n. 87, p. 1-221, 1978.

CHAVES, A. L. F.; SILVA, E. A. M.; AZEVEDO, A. A.; CANO, M. A. O.; MATSUOKA, K. Ação do flúor dissolvido em chuva simulada sobre a estrutura foliar de *Panicum maximum* Jacq. (colonião) e *Chloris gayana* Kunth. (capim-rhodes) – Poaceae. **Acta Botanica Brasilica**, v. 6, n. 4, p. 395-406, 2002.

CLEMENTE F. M. V. T. **Faixas críticas de teores foliares de macro e micronutrientes em no cafeeiro (*Coffea arabica* L.) no primeiro ano de formação da lavoura**. 2005. 63p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

CLEMENTE, F.M.V.T.; CARVALHO, J.G.D.; GUIMARÃES, R.J.; MENDES, A.N.G. Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes no cafeeiro em pós-plantio - primeiro ano. **Coffee Science**. v. 3, n. 1, p. 47-57, 2008.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira café: estimativa de safra 2014: terceiro levantamento**. Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 29 agosto 2015.

CORNIC, G.; FRESNEAU, C. Photosynthetic carbon reduction and oxidation cycles are the main electron sinks for photosystem II activity during a mild drought. **Annals of Botany**, London, v. 89, p. 887–894, 2002.

DEDECCA, D.M. Anatomia e desenvolvimento ontogenético de *Coffea arabica* L. Var. Typica Cramer. *Bragantia*, v.16, p.315-366, 1957.

DICKISON, W.C. **Integrative plant anatomy**. San Diego: Academic Press, 2000. 533p.

ELLSWORTH, D.S.; REICH, P.B. 1992. Leaf mass per area, nitrogen content and photosynthetic carbon gain in *Acer saccharum* seedlings in contrasting forest light environments. **Functional Ecology** 6: 423-435.

EPSTEIN, M.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas**. 2ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

FERNANDES, A. L. T.; DRUMOND, L. C. D. Cafeicultura irrigada: alternativas para vencer o deficit hídrico. **Cafeicultura A Revista do Cafeicultor**, Patrocínio, v. 1, n. 3, p. 2124, 2002.

FLEXAS, J. et al. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. **Plant Biology**, Stuttgart, v. 5, p. 1–11, 2004.

- FURLANI, A.M.G. 2004. Nutrição Mineral. In: KERBAUY, G.B. **Fisiologia Vegetal**, Rio de Janeiro: Guanabara Kooga S.A; p.40-75.
- GOMES, N. M.; LIMA, L. A.; CUSTÓDIO, A. A. P. Crescimento vegetativo e produtividade do cafeeiro irrigado no sul do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, p. 564-570, 2007.
- GRISI, F. A.; ALVES, J.D.; CASTRO, E.M.; OLIVEIRA, C.; BIAGIOTTI, G.; MELO, L.A. 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, 2008.
- GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ-VENEGAS, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG, p. 289-302, 1999.
- ITEM Irrigação e Tecnologia Moderna. **Cafeicultura irrigada**. Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, n.48, set. 2000.
- KAISER, B. N.; GRIDLEY, K. L.; BRADY, J. N.; PHILLIPS, T.; TYERMAN, S. D. The role of molybdenum in agricultural plant production. **Annals of Botany**, v. 96, n. 5. p. 745-754, 2005.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 683 p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995.
- MARTINS, A. N. et. al. Irrigação e adubação potássica via fertirrigação em bananeira “Willians” – produção e qualidade de frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal – SP, Volume Especial, E. 743-751, Outubro 2011.
- MORAIS, H. et al. Modifications on leaf anatomy of *Coffea arabica* caused by shade of Pigeonpea (*Cajanus cajan*). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 47, n. 6, p. 863-871, Nov./Dec. 2004.
- 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. 87p. **Tese (Doutorado)** – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa
- OLIVEIRA, V.A.N e VILLAS BOAS R.L. Uniformidade de distribuição do potássio e do nitrogênio em sistema de irrigação por gotejamento. In: **Revista de Engenharia Agrícola**. Jaboticabal/SP., v.28, n.1, p.95-103, jan/mar. 2008.
- 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.
- PINTO, C. G. **Faixas críticas de teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio para o cafeeiro (*Coffea arabica* L.) fertirrigado no primeiro ano pós plantio**. 2012. 65p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras – MG.
- POLTRONIERI, Y. Anatomia foliar de cafeeiros sob deficiência de zinco. VII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Araxá. MG, Anais. Brasília, D.F.: Embrapa Café, 2011.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H; QUAGGIO, J.A; FURLANI, A.M.C. (eds.) 1996. **Recomendações de adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Boletim Técnico 100, 285 p.
- REETZ, E. R. et al. **Anuário brasileiro do café 2012**. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2012. 136 p.
- ROSOLEM, C. A.; LEITE, V. M. Coffee leaf and stem anatomy under boron deficiency. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 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.
- SANTINATO, R. Avanços de tecnologia na cultura do café. In: SANTOS, C.M. **Irrigação da cafeicultura no Cerrado**: palestras. Uberlândia: UFU, p.79-82, 2001.
- SCHRÖDER, J.J. 2000. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of art. **Field Crops Research**, 66: 151-164.
- SRIDHAR, B. M.; HAN, F. X.; DIEHL, S. V.; MONTS, D. L.; SU, Y. Effects of Zn and Cd accumulation on structural and physiological characteristics of barley plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 1, p. 15-22, 2007.

SOBREIRA, F. M. **Adubação do cafeeiro fertirrigado em fase de formação no sul de Minas Gerais**. 2010. 104 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

VILA NOVA et al. Estimativa do coeficiente de cafeeiro em função de variáveis climatológicas e fitotécnicas, 2002. **Bragantia**, Campinas, v.61, n.1, p.81-88.

VILLAS BÔAS, R. L. et al. Fertilizantes em Fertirrigação. In: FOLEGATTI, M. V. (Coord.) **Fertirrigação: Citrus, Café, Flores, Hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999.1v. p. 293-320.

CAPÍTULO 2

CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS E FISIOLÓGICAS DE CAFEIEIRO IRRIGADO EM DIFERENTES NÍVEIS DE ADUBAÇÃO A PARTIR DO PRIMEIRO ANO APÓS A IMPLANTAÇÃO DA LAVOURA

RESUMO

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. Objetivou-se identificar possíveis alterações anatômicas e fisiológicas em cafeeiros irrigados em diferentes níveis de adubação a partir do primeiro ano após a implantação da lavoura. A lavoura foi formada com diferentes níveis de adubação (40, 70, 100, 130 e 160%), em relação à recomendação padrão para lavouras de sequeiro em função de análise do solo, a partir do primeiro ano após a implantação da lavoura. As plantas foram avaliadas quanto às trocas gasosas e anatomia foliar em duas épocas do ano, além da produtividade desse cafeeiro. Os diferentes níveis de adubação e época de avaliação provocaram diferenças na estrutura interna, ou seja, na anatomia foliar e na fisiologia do cafeeiro irrigado. Em geral, os melhores resultados nos parâmetros avaliados foram encontrados no nível de 100% da adubação, corroborando assim para a importância da nutrição mineral equilibrada e a maior produtividade foi obtida no nível de 126% da adubação.

Palavras-chave: *Coffea arabica*. Nutrição. Anatomia foliar. Fisiologia.

ABSTRACT

Mineral nutrition is essential for increasing productivity and improving product quality, and it plays important roles in plant metabolism, influencing factors related to physiology and plant growth. The aim of this paper was to identify the anatomical and physiological mechanisms in fertirrigated coffee under different fertilizer levels from the first year after of the crop implantation. The crop was formed with different levels of fertilizer (40, 70, 100, 130 and 160%) compared to the standard recommendation for fertilization on dry land farming in function of soil analysis from the first year after the crop implantation. The plants were evaluated comparing gas exchanges, productivity and leaf anatomy during rainy and dry seasons the year 2014. The increase in levels of fertilizer caused an increase in number of xylem vessels and phloem thickness, and reduction in the diameter of the xylem vessels. The highest photosynthesis rate occurred during the rainy season, and increased stomatal conductance and transpiration. The highest yield was obtained at the level of 112% of fertilizer.

Keywords: *Coffea arabica*. Nutrition. Foliar anatomy. Physiology.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente no Brasil existem mais de 230 mil hectares de lavouras de café irrigadas, o que representa 10% da área total cultivada com a cultura. Essa área contribui com 20 a 25% da produção anual de café. Desses 230 mil hectares, entre 4,5% e 5% concentram-se em Minas Gerais, 3,0 a 3,5% no Espírito Santo, 1,0 a 1,5% na Bahia e de 0,5 a 1,0%, em Goiás (SANTINATO; FERNANDES; FERNANDES, 2008).

A fertirrigação consiste na aplicação dos nutrientes combinados à água de irrigação. Quando comparada ao sistema convencional de adubação, possibilita ao cafeeiro aumento de produtividade, melhoria na qualidade dos frutos, diminuição da compactação do solo pelo menor tráfego de máquinas, redução nos gastos com mão de obra e principalmente maior eficiência na utilização dos nutrientes devido à possibilidade de parcelamento e de uniformização da distribuição dos mesmos (GOMES; LIMA; CUSTÓDIO, 2007; SILVA; FARIA; REIS, 2003; VIVANCOS, 1993).

A assimilação e alocação de nutrientes nas plantas são alteradas por fatores ambientais como luminosidade, água, disponibilidade de nutrientes e concentrações atmosféricas de CO₂. Entre os fatores que regulam a quantidade de nutrientes absorvidos pelas raízes das plantas estão: concentração de nutrientes, profundidade da camada superficial do solo, textura e estrutura do solo, tipo de subsolo, pH e compactação do solo (BERNACCHI et al., 2007).

A nutrição mineral contribui para a composição da organização estrutural, ou seja, quando a planta recebe ou deixa de receber macro e micronutrientes, evidenciam-se modificações em sua estrutura anatômica que podem alterar a espessura de tecidos e os conteúdos de pigmentos. Deficiências minerais reduzem a capacidade fotossintética da folha e aumentam a concentração de CO₂, induzindo o fechamento dos estômatos (CONTIN, 2009).

Segundo Castro, Pereira e Paiva (2009) fatores ambientais influenciam diretamente a anatomia foliar. As modificações na anatomia vegetal têm sido pouco estudadas e essas podem ser relacionadas às funções fisiológicas, tornando mais fácil a compreensão dos mecanismos de adaptação envolvidos e desenvolvidos pelas plantas em diferentes ambientes (GRISI et al., 2008; GOMES et al., 2008; MORAIS et al., 2004; NASCIMENTO et al., 2006; PAIVA, 2001).

Devido aos poucos estudos entre nutrição mineral, anatomia e fisiologia, objetivou-se, neste trabalho, identificar alterações anatômicas e fisiológicas em cafeeiros irrigados em diferentes níveis de adubação (40, 70, 100, 130 e 160%) em relação à adubação padrão para lavouras de sequeiro a partir do primeiro ano após a implantação da lavoura.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), a 910 metros de altitude. As coordenadas geográficas da área são 21°14'0,6" latitude sul e 45°00'00" longitude oeste. O clima da região é classificado como Cwa, segundo a classificação de Köppen (mesotérmico com verões brandos e suaves e estiagem de inverno). As principais informações climáticas encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 Temperatura (°C), umidade relativa do ar (%), evapotranspiração de referência média (mm), evapotranspiração acumulada (mm) e precipitação acumulada (mm). UFLA, Lavras, 2014.

MÊS	T (°C) (média)	UR (%) (média)	Eto (mm) (Média)	Eto (mm) (acumulada)	Precipitação (mm) (Acumulada)
Fevereiro	23,65	68,61	3,89	108,82	33,8
Março	22,78	78,53	3,14	97,21	76,98
Abril	21,26	82,83	2,48	74,33	141,4
Mai	19,14	76,92	1,97	61,04	25
Junho	20,15	78,38	1,59	47,58	7,2
Julho	17,31	76,57	2,82	54,21	44
Agosto	19,05	63,34	2,62	81,23	1,6
Setembro	20,83	63,00	3,31	99,22	20,2
Média	20,52	73,52	2,73	77,96	43,77
Total	-	-	-	623,64	350,18

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Escuro Distroférrico de textura argilosa (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, 2006). As amostras para análise

química e física foram coletadas nas camadas de 0 a 20 cm e de 21 a 40 cm de profundidade, e os resultados podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2 Caracterização química do solo antes da diferenciação dos tratamentos, na área onde foram montados os experimentos. UFLA, Lavras, 2014.

Característica	0-20 cm	20-40 cm
pH (H ₂ O)	5,5	5,2
P-rem - (mg L ⁻¹)	23,48	14,87
P - (mg.dm ⁻³)	76,08	10,43
K - (mg.dm ⁻³)	108	58
Ca - (cmol _c .dm ⁻³)	3,77	2,12
Mg - (cmol _c .dm ⁻³)	0,88	0,35
Al - (cmol _c .dm ⁻³)	0,20	0,40
H + Al - (cmol _c .dm ⁻³)	4,70	6,44
T - (cmol _c .dm ⁻³)	9,62	9,06
Mg - T%	9,12	3,89
K - T%	2,87	1,64
Ca - T%	39,18	23,36
m - (%)	2,23	7,76
V - (%)	51,2	28,9
Matéria org. - dag.kg ⁻¹	3,84	3,28
Zn - (mg.dm ⁻³)	-	-
Fe - (mg.dm ⁻³)	-	-
Mn - (mg.dm ⁻³)	-	-
Cu - (mg.dm ⁻³)	-	-
B - (mg.dm ⁻³)	-	-

A correção da acidez do solo e aplicação dos fertilizantes nos sulcos de plantio foram feitas seguindo as recomendações de Guimarães et al. (1999) para

lavoura de sequeiro.

O experimento foi implantado em março de 2010 com mudas de cafeeiro da cultivar Topázio MG-1190, com espaçamento de 60 centímetros entre plantas e 2 metros entre linhas. A lavoura foi formada com diferentes níveis de adubação (40, 70, 100, 130 e 160%), em relação à recomendação padrão, recomendada por Guimarães et al. (1999) para adubação de sequeiro a partir do primeiro ano após a implantação da lavoura até a data da coleta.

Foram utilizadas quatro repetições, totalizando 20 parcelas. Cada parcela foi composta de uma fileira com oito plantas, sendo as seis centrais consideradas como úteis. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados (DBC), sendo os tratamentos dispostos no esquema fatorial 5 x 2. As avaliações foram realizadas em duas épocas do ano (março e agosto) do ano de 2014.

Os fertilizantes, nitrogenado e potássico, foram aplicados pela água de irrigação em doze parcelamentos iguais, segundo recomendações de Sobreira (2010), 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 sistema de fertirrigação consta de uma unidade central de controle (sistema de bombeamento, filtros de areia e tela, injetor de fertilizantes, manômetros e conexões), linha principal de tubos PVC PN80, linhas de derivação de PVC PN 40, linhas laterais com tubo flexível de polietileno PN 40, gotejadores e registros. Os gotejadores (vazão nominal de 3,8 L.hora⁻¹) estão espaçados de 30 em 30 cm na linha, formando uma faixa molhada ao longo da fileira de plantas. O controle da irrigação é feito por meio de dados climatológicos diários monitorados por uma estação meteorológica automática instalada nas proximidades da área do experimento.

As fontes de nutrientes foram as seguintes: ureia (N), superfosfato simples (P, Ca e S), cloreto de potássio (K), sulfato de magnésio (Mg), ácido bórico (B), sulfato de cobre (Cu) e sulfato de zinco (Zn). Os micronutrientes foram aplicados somente em pulverizações e sem variações de doses, conforme recomendações de Guimarães, et al. (1999).

Os estudos anatômicos foram conduzidos utilizando-se o terço médio de folhas completamente expandidas do terceiro nó de ramos plagiotrópicos do terço superior das plantas. As folhas foram coletadas de oito plantas por tratamento e, essas foram fixadas em F.A.A. 70 (JOHANSEN, 1940), por 72 horas e posteriormente conservadas em etanol 70% (v.v⁻¹). As seções transversais foram obtidas em micrótomo de mesa tipo 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⁻¹), 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⁻¹) (KRAUS; ARDUIN, 1997).

As lâminas foram observadas e fotografadas em microscópio ótico modelo, Olympus BX 60, acoplado à câmera digital Canon A630. As imagens foram analisadas no software para análise de imagens, UTHSCSA-Imagetool, totalizando nove medições para cada tratamento. Foram avaliadas: espessura da cutícula da face adaxial, espessura da epiderme da face adaxial, espessura da epiderme da face abaxial, espessura do parênquima paliçádico, espessura do parênquima esponjoso, espessura do mesofilo foliar, número de vasos do xilema, diâmetro dos vasos do xilema e espessura do floema. Para a caracterização dos estômatos foi analisado o número de estômatos, número de células epidérmicas, diâmetro polar dos estômatos, diâmetro equatorial dos estômatos, funcionalidade estomática (DP/DE) e índice estomático (NE/NCE).

Para a avaliação das trocas gasosas, utilizou-se um sistema portátil de análise de gases a infravermelho (IRGA LICOR – 6400XT). Avaliou-se a condutância estomática (gs), transpiração (E), taxa fotossintética (A) e eficiência no uso da água (A/E). As avaliações foram realizadas entre 9 e 11 horas da manhã, sob luz artificial ($600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), 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 foram feitas em quatro plantas de cada tratamento.

O potencial hídrico foliar foi determinado utilizando-se uma câmara de pressão, modelo 1000-PMS Instrument Company. A determinação constituiu na coleta de amostras de duas folhas ativas por planta, isentas de sintomas de doenças, deficiências nutricionais e ataque de pragas, sendo essa realizada às 5h da manhã. As folhas foram coletadas em ramos plagiotrópicos no terço médio das plantas, localizadas no terceiro nó a partir do ápice do ramo (SILVA et al., 2008). Elas foram embaladas em papel-alumínio, colocadas em sacos plásticos dentro de isopor com gelo e posteriormente avaliadas na câmara, aplicando-se uma pressão até que ocorresse exsudação pelo corte feito no pecíolo da folha. As análises foram feitas em quatro plantas de cada tratamento.

Avaliou-se também, a produtividade média do café (sc/ha), colheita de 2012, 2013 e 2014.

Para o potencial hídrico, foi considerado o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = m + b_j + \alpha_i + e_{ji} + \gamma_k + (\alpha\gamma)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Em que Y_{ijk} é a observação no j-ésimo bloco, da i-ésimo nível de adubação e do k-ésimo nível de coleta; m uma constante inerente a todas as observações; b_j é o efeito devido ao j-ésimo bloco ($j = 1, 2, 3, 4$); α_i é o efeito devido ao i-ésimo nível de adubação ($i = 40, 70, 100, 130, 160$); e_{ji} erro

associado à parcela (ij); γ_k é o efeito devido ao i-ésimo nível de coleta ($i = 1, 2$); $(\alpha\gamma)_{jk}$ é o efeito da interação dos fatores; ε_{ijk} é o erro associado à subparcela.

Para a variável produtividade, 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; m 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 ($i = 40, 70, 100, 130, 160$); e_{ij} é o erro experimental.

As análises estatísticas foram feitas por meio do software R (R Development Core Team, 2013). 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 respostas que tiveram efeito significativo do fator época foi realizado teste de médias, utilizando-se o teste F. Os efeitos de tratamentos, bem como os desdobramentos das interações foram avaliados pelo teste F. As médias foram comparadas por meio da sobreposição do erro padrão da média. Já para algumas variáveis foi feita também a análise de regressão para avaliar os seus comportamentos em função dos níveis de adubação, procedeu-se ao ajuste de regressão polinomial por meio da função *split2.crd* () e *split2.rbd* () da biblioteca *ExpDes* (FERREIRA et al., 2011), 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.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis analisadas, número de estômatos, número de células epidérmicas, diâmetro equatorial dos estômatos, diâmetro polar dos estômatos e funcionalidade estomática tiveram efeito significativo para os tratamentos. Para os níveis de adubação, à medida que se aumentou a adubação houve também um aumento no número de estômatos e das células epidérmicas das folhas (Figura 1ab). Este fato provavelmente foi o responsável pelo índice estomático não ter sido alterado pelos níveis de adubação, pois o índice estomático representa o investimento da planta na produção de estômatos em relação ao total de células epidérmicas. A contagem do número de estômatos é de grande importância, pois tem relação direta com a realização da fotossíntese nas plantas e, assim, com a fixação de carbono e, conseqüentemente, a produtividade (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

Os estômatos são poros na epiderme que tem como função diminuir a resistência para a difusão e circulação de gases e vapor de água entre a planta e o ambiente. O desenvolvimento do estômato e o ajuste da abertura do poro estomático são regulados por complexas redes reguladoras que incorporam estímulos ambientais para otimizar a capacidade de fotossíntese e minimizar a perda de água. Alguns genes envolvidos na regulação, diferenciação ou densidade estomática também estão envolvidos em respostas a estresses hormonais e ambientais, sendo que estes podem fornecer uma ligação entre a modulação do desenvolvimento estomático ou função, em resposta às alterações no ambiente (PILLITTERI; DONG, 2013).

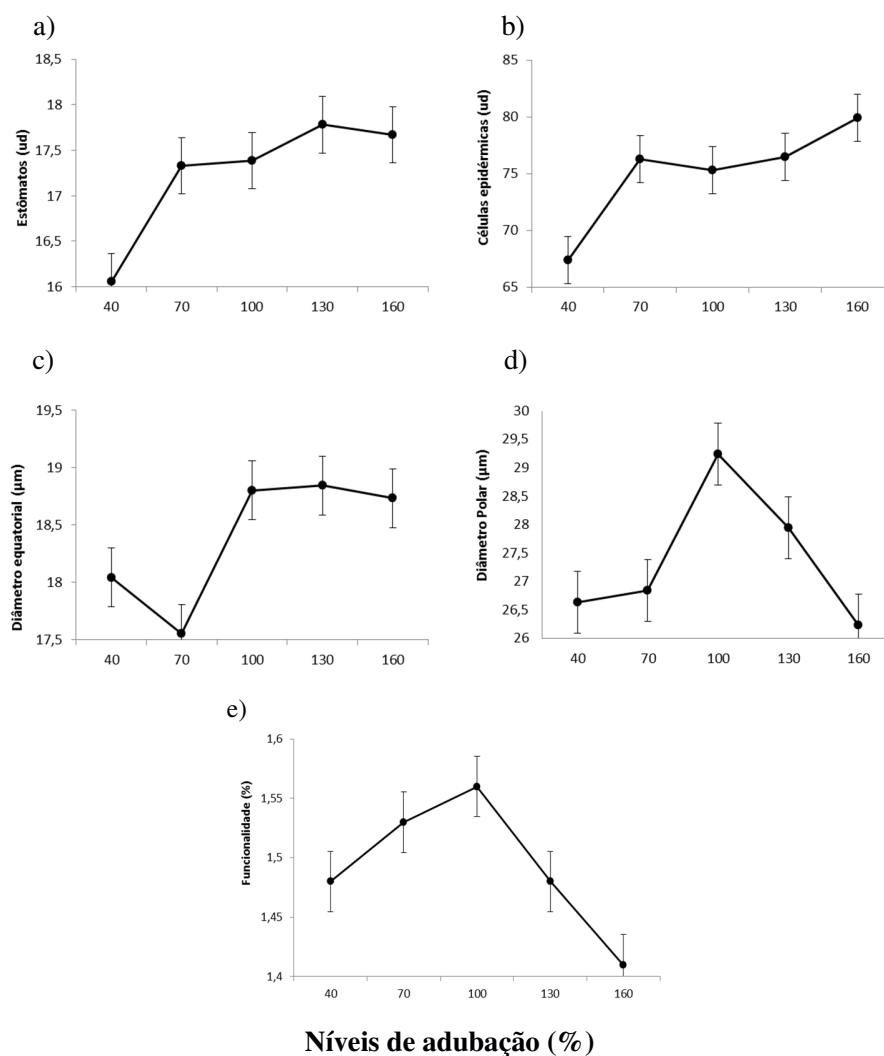


Figura 1. a) Número de estômatos, b) número de células epidérmicas, c) diâmetro equatorial dos estômatos, d) diâmetro polar dos estômatos e e) funcionalidade estomática de cafeeiros irrigados em diferentes níveis de adubação. Barras de erro representam o erro padrão da média.

O diâmetro equatorial dos estômatos foi reduzido nos menores níveis de adubação 40 e 70 %, possivelmente porque a planta se encontrava nutricionalmente deficiente e os demais tratamentos houve semelhança entre as médias (Figura 1c). O diâmetro polar e a funcionalidade estomática foram maiores no nível de 100% da adubação (Figura 1de), ou seja, a planta quando com a nutrição equilibrada, seus estômatos são mais funcionais. Geralmente, o diâmetro polar tende a responder mais que o diâmetro equatorial às diferentes condições. A maior funcionalidade estomática pode ser relacionada a uma menor transpiração da folha, pois os estômatos se tornam mais elípticos (BATISTA et al., 2010; SOUZA et al., 2010). Essa redução na transpiração pode ainda estar relacionada a uma maior densidade estomática, pois permite uma abertura em um espaço de tempo menor, permitindo uma captação adequada de CO₂ e reduzindo o tempo em que esses estômatos ficam abertos (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). Dessa forma, a redução da transpiração observada em agosto de 2014 pode ser atribuída também ao aumento no número de estômatos verificado no mesmo período (Tabelas 3 e 4). Segundo resultados obtidos por Baliza et al. (2012) em um estudo com cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação, foi observado que as estruturas anatômicas das folhas do cafeeiro e suas respectivas funções apresentam significativas adaptações anatômicas e fisiológicas aos diferentes níveis de radiação.

Tabela 3. Variações no número de estômatos (ud), diâmetro equatorial (μm) e índice estomático (%) de cafeeiros irrigados em diferentes níveis de adubação, em duas épocas do ano.

Época	Número de estômatos	Diâmetro equatorial	Índice estomático
Março	16,18b	18,21b	0,18b
Agosto	18,31a	18,57a	0,20a

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

Comparando o resultado entre as duas épocas do ano (Tabela 3), notou-se que a densidade estomática e o índice estomático foram maiores em agosto de 2014. Segundo Pillitteri e Dong (2013), condições ambientais alteram o tamanho e a densidade dos estômatos, com intuito de auxiliar a planta na tolerância dessa condição. Em ambientes com maior disponibilidade de luz, verifica-se a diminuição no tamanho dos estômatos, para que haja uma menor perda de água da planta para o ambiente, havendo simultâneo aumento de sua densidade, contribuindo para o equilíbrio das trocas gasosas. Nos vegetais, o aumento da temperatura é inversamente proporcional à atividade fotossintética, e a densidade estomática e funcionalidade estão diretamente relacionadas à fotossíntese (GRISI, 2008), o que também foi constatado em agosto, quando ocorreu um aumento no diâmetro equatorial dos estômatos em comparação a março. A relação diâmetro polar e diâmetro equatorial indica o formato dos estômatos e, quando apresenta maior valor, indica uma maior funcionalidade do estômato (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009; KHAN et al., 2002). Grisi et al. (2008), observaram que em relação ao diâmetro equatorial, houve diferenças entre tratamentos irrigado e não irrigado, tendo os maiores valores sido encontrados nos tratamentos irrigados.

Já para as variáveis espessura da cutícula da epiderme adaxial, espessura da epiderme adaxial, espessura da epiderme abaxial, espessura do parênquima paliádico, espessura do parênquima esponjoso e espessura do mesofilo observou-se o efeito significativo da interação entre os diferentes níveis de adubação e a época da avaliação.

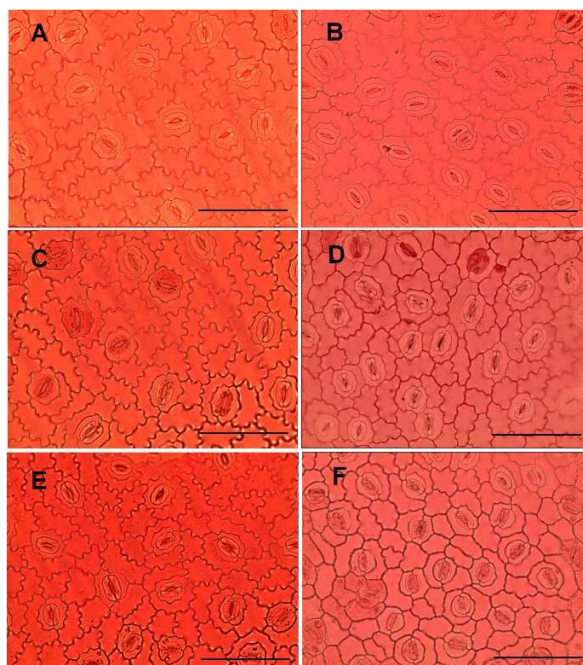


Figura 2. Seção paradérmica de folhas de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação. (A – 40% de adubo em março; B – 40% de adubo em agosto; C – 100% de adubo em março; D – 100% de adubo em agosto; E – 160% de adubo em março; J – 160% de adubo em agosto). Barra 50 µm.

Sabe-se que a cutícula mais espessada pode evitar a perda de água excessiva por transpiração, sendo, portanto, um importante mecanismo de tolerância ao déficit hídrico (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). Em cafeeiros a espessura da cutícula pode não variar; isso foi observado por Voltan, Fahl e Carelli (1992) em trabalho realizado com mudas de diferentes cultivares de *C. Arabica*. No presente estudo, no período março, a diferença na espessura da cutícula foi mínima e não representativa. Em agosto, o maior valor espessamento da cutícula foi verificado no nível de 100% de adubação (Figura 3^a); ou seja, quando bem nutrido, o cafeeiro tende a apresentar maior espessura

de cutícula, evitando assim a perda de água excessiva.

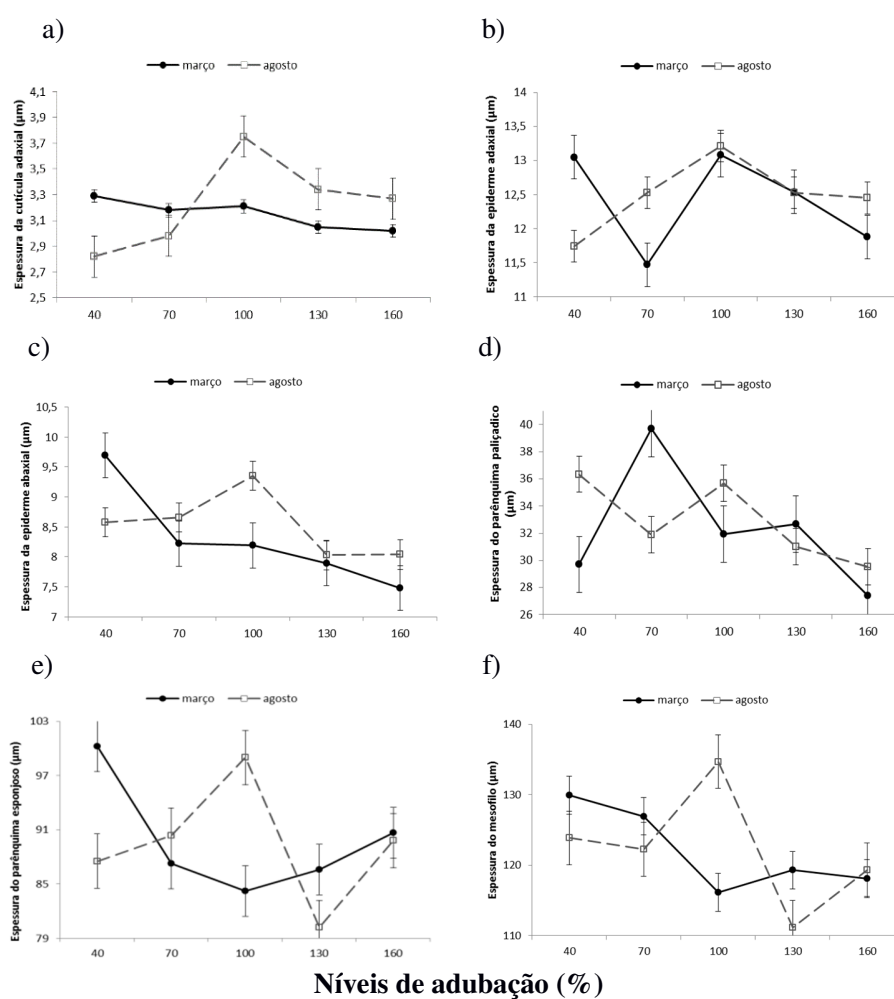


Figura 3. a) Espessura da cutícula da epiderme adaxial, b) espessura da epiderme adaxial, c) espessura da epiderme abaxial, d) espessura do parênquima paliçádico, e) espessura do parênquima esponjoso e f) espessura do mesofilo de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação, em março (●) e agosto (□) de 2014. Barras de erro representam o erro padrão da média.

A espessura da epiderme abaxial diminui com o aumento da adubação nas duas épocas do ano (Figura 3c). Já a espessura da epiderme adaxial apresentou um comportamento diverso, porém com maiores valores no nível de 100% da adubação nas duas épocas (Figura 3b), quando a adubação estava equilibrada. Oliveira (2013), estudando plantas de café submetidas a tratamento com polímero hidrorretentor, também obteve diferenças significativas em relação à espessura da epiderme abaxial. A espessura da epiderme da face adaxial pode estar relacionada às condições hídricas ou às condições de intensidade de radiação (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009; SOUZA et al., 2007), atenuando a radiação incidente e reduzindo a taxa de transpiração.

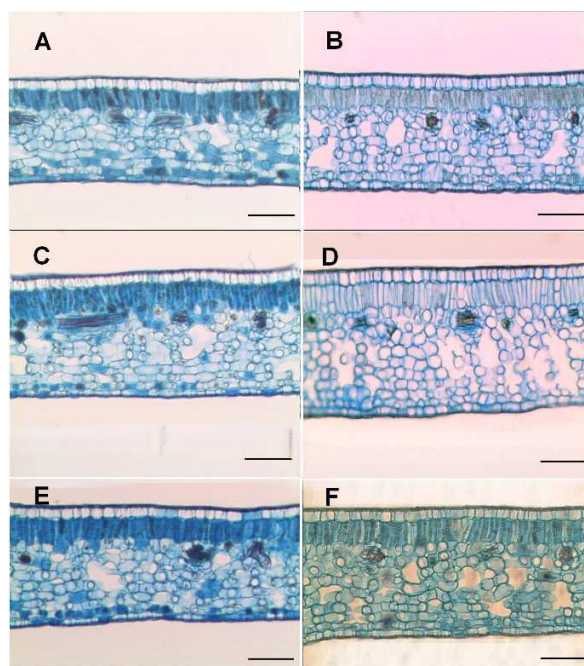


Figura 4. Seção transversal de folhas de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação. (A – 40% de adubo em março; B – 40% de adubo em agosto; C – 100% de adubo em março; D – 100% de adubo em agosto; E – 160% de adubo em março; J – 160% de adubo em agosto). Barra 100 μm .

O parênquima paliçádico diminuiu com o aumento no nível de adubação nas duas épocas analisadas (Figura 3d). O parênquima paliçádico está intimamente relacionado à fotossíntese, e um maior desenvolvimento desse tecido pode permitir maior fixação de CO₂ (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). A maior espessura do parênquima paliçádico está relacionada ao aumento significativo do volume do mesofilo por área foliar, o que pode influenciar nas trocas gasosas em condições de restrição hídrica e irradiação elevada (VOLTAN; FAHL; CARELLI, 1992). Segundo trabalhos desenvolvidos por esses autores, com *Coffea arabica*, há um decréscimo na espessura do parênquima paliçádico e esponjoso à medida que se diminui o nível de radiação.

Analisando as duas épocas, nota-se um maior espessamento do mesofilo foliar e do parênquima esponjoso no nível de 100% da adubação (Figura 3ef), possivelmente porque em condições de adubação equilibradas as plantas desenvolvem estruturas foliares com maior potencial para a fotossíntese, possibilitando melhores condições de aumento da produção em campo.

Para o número de vasos do xilema e espessura do floema houve um aumento com o aumento da adubação e uma diminuição no diâmetro desses vasos nas duas épocas avaliadas (Figura 5abc).

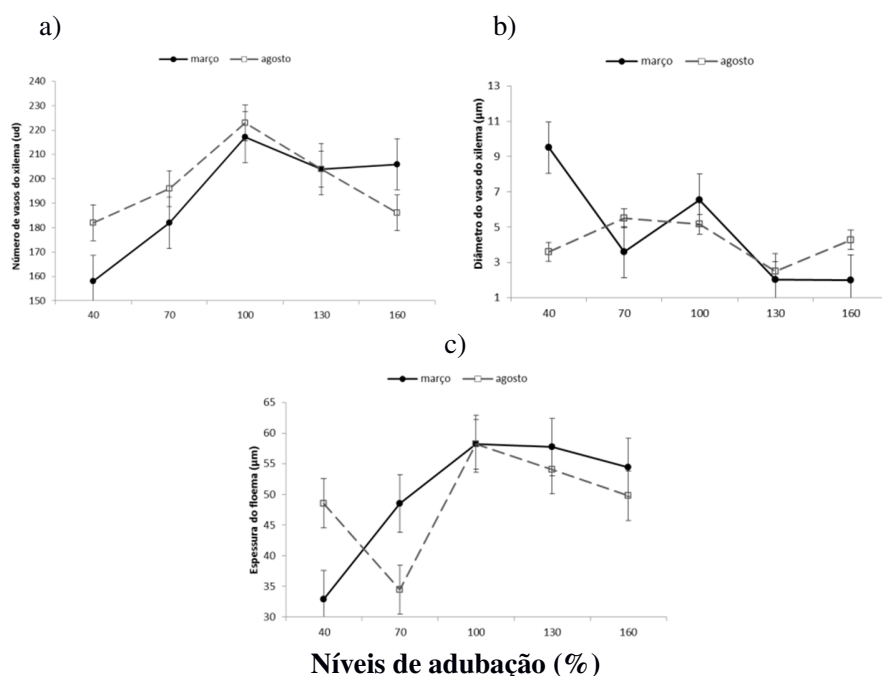


Figura 5. a) Número de vasos do xilema, b) diâmetro do vaso do xilema e c) espessura do floema de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação em março (●) e agosto (□) de 2014. Barras de erro representam o erro padrão da média.

Esses tecidos são responsáveis pela distribuição de água, sais minerais e fotoassimilados, sendo assim, essenciais para o metabolismo vegetal, pois o número e o diâmetro de vasos de xilema estão intimamente ligados com a condutância hidráulica e a funcionalidade do mesmo (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). Modificações no diâmetro e no número dos vasos do xilema podem representar uma forma de adaptação da planta quando exposta às condições ambientais que afetam o transporte. Uma menor espessura de vasos do xilema em condições ambientais desfavoráveis pode permitir um transporte mais eficiente e seguro, melhorando a condutividade hidráulica. 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 (HACKE; SPERRY, 2001), assim o maior número dos vasos do xilema na adubação de 100%, considerada ideal, pode ser atribuído a maior produtividade verificada no mesmo nível de adubação.

As modificações no floema quanto a diâmetro, quantidade, área do vaso entre outros fatores influenciam de forma significativa a fotossíntese, o crescimento e o desenvolvimento (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009), assim os maiores valores de espessura do floema verificados nas duas épocas na adubação de 100%, como também o maior número de vasos do xilema, contribuíram para maiores incrementos na produção. Consequentemente, resultaram na maior produtividade para este nível de adubação.

Comparando os resultados entre as duas estações do ano, notou-se que a taxa fotossintética, condutância estomática e transpiração foram maiores em março, enquanto que em agosto essas variáveis apresentaram os menores valores (Tabela 4).

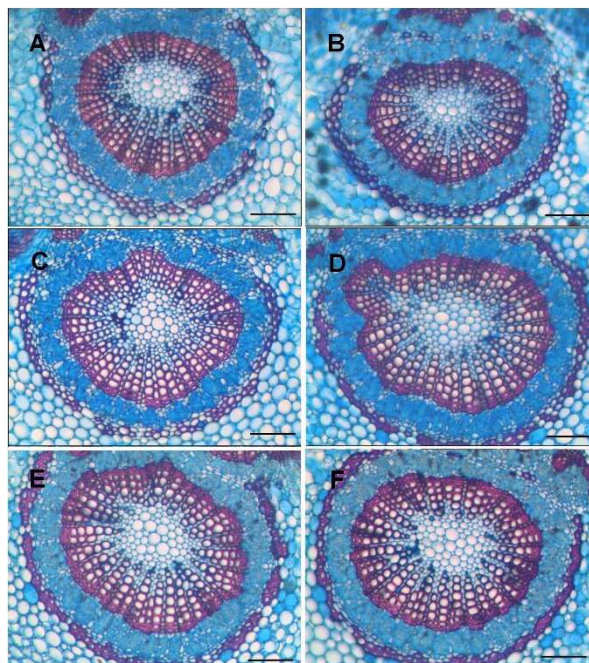


Figura 6. Detalhe do feixe vascular em seção transversal da nervura de folhas de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação. (A – 40% de adubo em março; B – 40% de adubo em agosto; C – 100% de adubo em março; D – 100% de adubo em agosto; E – 160% de adubo em março; J – 160% de adubo em agosto). Barra 100 μm .

Tabela 4. Variações na taxa fotossintética ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), condutância estomática ($\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e transpiração ($\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação.

Época	Taxa fotossintética	Condutância estomática	Transpiração
Março	11,47a	0,23a	3,16a
Agosto	7,73b	0,06b	2,27b

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

Esses resultados comprovam que em março (temperaturas maiores) as plantas estão mais fotossinteticamente ativas necessitando, portanto de nutrição adequada e equilibrada. Segundo Taiz e Zeiger (2004), a fotossíntese aumenta de acordo com o aumento da condutância estomática, este aumento na condutância está relacionado a uma maior abertura estomática o que conseqüentemente ocasiona uma maior taxa de transpiração, conforme verificado em março. A fotossíntese corresponde à entrada básica de energia para as plantas e é essencial para o desenvolvimento do vegetal, sendo ligada diretamente à estrutura das folhas (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). Em geral, observou-se uma redução da taxa fotossintética em agosto, indicando que mesmo sendo fertirrigado, há uma maior demanda evaporativa da atmosfera que pode ter limitado a taxa fotossintética do cafeeiro, principalmente devido ao fechamento estomático.

A condutância estomática e a transpiração são características diretamente relacionadas com a perda de água. A relação entre a assimilação de CO₂ e transpiração é um indicador da eficiência do uso da água. Não se constatou diferenças significativas para a eficiência do uso da água em nenhum dos tratamentos e nem em relação às duas épocas de avaliação, possivelmente devido à irrigação suficiente e padronizada em todos os tratamentos propostos.

Os resultados obtidos com o emprego dos diferentes níveis de adubação mostram que o potencial hídrico (PH) das folhas não foi afetado pela época da avaliação, mas foram afetados pela adubação, sendo observado pelo efeito dos níveis de adubação sobre o PH (Figura 7). O estado hídrico da lavoura é essencial ao entendimento do potencial produtivo do cafeeiro, pois este fator pode afetar diretamente a produtividade. Vários fatores podem afetar o potencial hídrico das plantas: a concentração de solutos na solução do solo, que variam com a quantidade de fertilizantes aplicadas na cultura, a cultivar, a época do ano e o horário do dia. Valores de potencial hídrico até -1,5 MPa parecem não afetar

a fotossíntese em condições de campo (DA MATTA et al., 2007). Apesar de ter ocorrido uma alteração no potencial hídrico nos diferentes níveis de adubação, podemos dizer que essa diferença foi muito pequena ao ponto de possivelmente não afetar a fotossíntese ou mesmo a anatomia foliar.

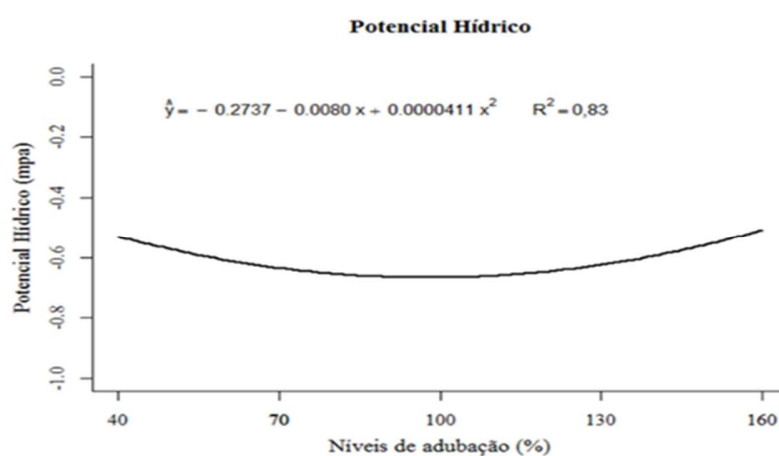


Figura 7. Potencial hídrico (MPa) de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação.

Observou-se o efeito quadrático dos níveis de adubação sobre a produtividade de frutos de café, com o ponto de máxima em 126% da adubação padrão (produtividade de 57 sc/ha) utilizadas para lavoura de sequeiro em produção e foi obtido a partir da derivação da equação de regressão constante na Figura 8. Ou seja, abaixo de 126% da adubação padrão as plantas eram deficientes e acima desse valor estavam em condição de excesso, possibilitando assim detectar adaptações das estruturas internas nas duas condições comparadas ao estado nutricional considerado ideal. Esse resultado corrobora com Pinto (2012), avaliando a produtividade de frutos de café em função de níveis de

adubação NPK, encontrou uma produtividade máxima no nível de 118% para café fertirrigado, comprovando o efeito dos diferentes níveis de adubação na produtividade do cafeeiro.

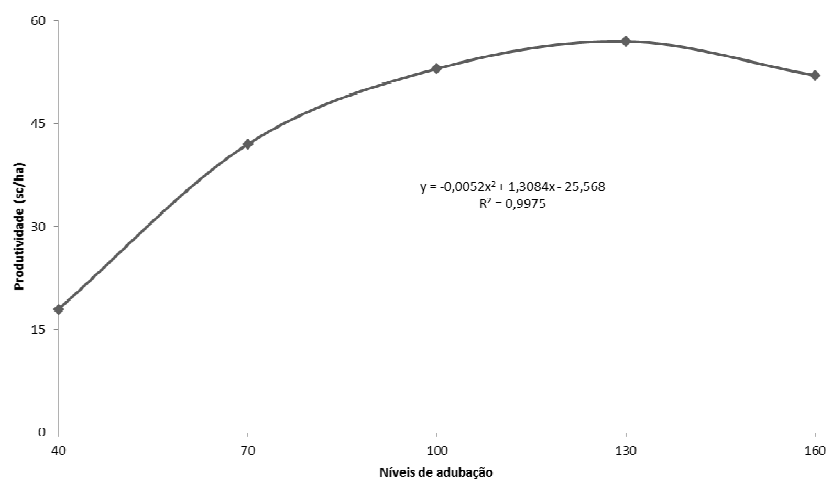


Figura 8. Produtividade de café (sc/ha) de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação.

4 CONCLUSÕES

Os diferentes níveis de adubação e época de avaliação provocaram diferenças na estrutura interna, ou seja, na anatomia foliar e na fisiologia do cafeeiro irrigado.

Em geral, os melhores resultados nos parâmetros avaliados foram encontrados no nível de 100% da adubação, corroborando assim para a importância da nutrição mineral equilibrada.

A maior produtividade ocorreu no nível de 126% da adubação.

REFERÊNCIAS

- BALIZA, D. P. et al. Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, 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.
- BERNACCHI, C. J.; THOMPSON, J. N.; COLEMAN, J.S. & MCCNNAUGHAY, D.M. Allometric analysis reveals relatively little variation in nitrogen versus biomass accrual in four plant species exposed to varying light, nutrients, water and CO₂. **Plant, Cell and Environment**, 30:1p.216–1222, 2007.
- CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal**: estrutura e função de órgãos vegetativos. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.
- CONTIN, D.R. Alterações anatômicas e fisiológicas em plantas de *Mikania glomerata* Sprengel e *Mikania laevigata* Schultz Bip. ex Baker, sob diferentes condições luminosas e nutricionais. 2009. 142p. **Dissertação** (Mestrado em Biologia Comparada) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- DA MATTA, F. M. et al. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 04, p. 485-510, 2007.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306 p.
- 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.
- GOMES, N. M.; LIMA, L. A.; CUSTÓDIO, A. A. P. Crescimento vegetativo e produtividade do cafeeiro irrigado no sul do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, p. 564-570, 2007.
- GRISI, F. A.; ALVES, J.D.; CASTRO, E.M.; OLIVEIRA, C.; BIAGIOTTI, G.; MELO, L.A. 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, 2008.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO A. C.; GUIMARÃES, P.T. G.; ALVAREZ-VENEGAS, V. H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: **5ª aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. p. 289-302.

HACKE, U. G.; SPERRY, J. S. **Functional and ecological xylem anatomy**. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, Jena, v. 4-2, p. 97-115, 2001.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw Hill, 1940. 523 p.

KHAN, P. S. S. V. et al. Growth and net photosynthetic rates of *Eucalyptus tereticornis* Smith under photomixotrophic and various photoautotrophic micropropagation conditions. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, Amsterdam, v. 71, n. 2, p. 141-146, Feb. 2002.

KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Rio de Janeiro: EDUR, 1997. 319p.

MORAIS, H. et al. Modifications on leaf anatomy of *Coffea arabica* caused by shade of Pigeonpea (*Cajanus cajan*). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 47, n. 6, p. 863-871, Nov./Dec. 2004.

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.

OLIVEIRA, N. K. Características de anatomia foliar de cafeeiros implantados com o uso de polímero hidrorretentor. 2013. 54 p. **Dissertação** (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

PAIVA, L. C. Produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em diferentes níveis de sombreamento e seus reflexos na implantação. 2001. 55 p. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

PILLITTERI, L. J.; DONG, J. Stomatal Development in Arabidopsis. **The Arabidopsis Book**, 2013.

PINTO, C. G. Faixas críticas de teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio para o cafeeiro (*Coffea arabica* L.) fertirrigado no primeiro ano pós plantio. 2012. 65p. **Dissertação** (mestrado) – Universidade Federal de Lavras - MG.

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.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. 2. ed. Uberaba: O Lutador, 2008. 476p.

SILVA, A. L.; FARIA, M. A.; REIS, R. P. Viabilidade técnico-econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, p. 37-44, 2003.

SILVA, C. A. et al. Produtividade e potencial hídrico foliar do cafeeiro Catuai em função da época de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 21-25, ago. 2008.

SOBREIRA, F. M. Adubação do cafeeiro fertirrigado em fase de formação no sul de Minas Gerais. 2010. 104 p. **Dissertação** (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SOUZA, T. C. et al. Leaf plasticity in successive selection cycles of 'Saracura' maize in response to periodic soil flooding. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 46, n. 1, p. 16-24, jan. 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 4th ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 715 p.

VIVANCOS, A. D. **Fertirrigacion**. Madrid: Mundi-Prensa, 1993. 217 p.

VOLTAN, R. B. Q.; FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C. Variação na anatomia foliar de cafeeiro submetidos a diferentes intensidades luminosas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 99-105, 1992.

CAPÍTULO 3

CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS E FISIOLÓGICAS DE CAFEIEIRO IRRIGADO EM DIFERENTES NÍVEIS DE ADUBAÇÃO A PARTIR DO SEGUNDO ANO APÓS A IMPLANTAÇÃO DA LAVOURA

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 dessa cultura. Objetivou-se identificar as possíveis alterações anatômicas e fisiológicas em cafeeiros irrigados em diferentes níveis de adubação a partir do segundo ano após a implantação da lavoura. A lavoura foi formada seguindo a recomendação padrão, recomendada por Guimarães et al. (1999) para adubação em função de análise do solo, até o primeiro ano após implantação. A partir daí, no segundo ano após a implantação, os níveis de adubação utilizados foram: 40, 70, 100, 130 e 160% da adubação padrão. As plantas foram avaliadas quanto às trocas gasosas e anatomia foliar em duas épocas do ano e produtividade. Os diferentes níveis de adubação e época de avaliação provocaram diferenças na estrutura interna, ou seja, na anatomia foliar e na fisiologia do cafeeiro irrigado. A maior produtividade ocorreu no nível de 104% da adubação.

Palavras-chave: *Coffea arabica*. Nutrição. Anatomia foliar. Fisiologia.

ABSTRACT

Differences in fertilizer levels may cause changes in anatomy, physiology and coffee productivity. There is little information about different sources and fertilizer levels associated to leaf adaptations made by the coffee plant. The aim of this paper was to identify the possible anatomical and physiological changes in fertirrigated coffee in different fertilizer levels in the second year after the implementation of crop. The crop was formed following the standard recommendation, recommended by Guimarães et al. (1999) for fertilization on soil analysis function until the first year following the year of implementation. Thereafter, in the second year after implantation, fertilization levels were: 40, 70, 100, 130 and 160% of standard fertilization. The plants were evaluated for gas exchange, productivity and leaf anatomy in the rainy and dry season. The increase in fertilization causes increase in number of xylem vessels and diameter of xylem vessels, in addition to different behavior in phloem. Most photosynthetic rate occurred in the rainy season, and increased stomatal conductance and transpiration, resulting in less efficient use of water. The leaf water potential and productivity were not affected by fertilization levels.

Keywords: *Coffea arabica*. Nutrition. Foliar anatomy. Physiology.

1 INTRODUÇÃO

O cultivo de café está entre as atividades socioeconômicas de maior importância no agronegócio mundial, sendo o Brasil o maior produtor e segundo maior consumidor de café do mundo. A área total plantada com a cultura de café no país totaliza 2.221.816,2 hectares, sendo que em Minas Gerais está concentrada a maior área; 1.204.208 hectares, com predominância da espécie arábica, com 98,8% no estado (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2015).

A fertirrigação consiste na fertilização combinada com a irrigação, isto é, os adubos minerais são injetados na água de irrigação para formar “água de irrigação enriquecida” (VITTI et al., 1994).

Diversos fatores, como a disponibilidade de radiação solar, água, nutrientes, além da presença de pragas e patógenos, podem alterar a estrutura interna da folha. Assim, o manejo da cultura exige atenção especial, pois o corpo do vegetal está dinamicamente relacionado às condições de cultivo (SILVA; ALQUINI; CAVALLET, 2005).

A nutrição mineral contribui com a composição da organização estrutural, ou seja, quando a planta recebe ou deixa de receber macro e micronutrientes evidenciam-se alterações em sua estrutura (MARSCHNER, 1995).

Os estudos de anatomia na produção vegetal, em suma, são relacionados às grandes culturas e suas relações com a nutrição mineral ou às interações que fatores como solo, água, luz, e temperatura exercem sobre as características estruturais do vegetal (SILVA; ALQUINI; CAVALLET, 2005).

Tendo em vista a carência de estudos que associem as alterações nas estruturas anatômicas e fisiológicas sob diferentes níveis de adubação, objetivou-se, identificar alterações na anatomia e fisiologia de cafeeiros

irrigados em diferentes níveis de adubação (40, 70, 100, 130 e 160%) da adubação padrão, a partir do segundo ano após a implantação da lavoura.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado em março de 2010 com mudas de cafeeiro da cultivar Topázio MG-1190, e sua condução se deu conforme descrito no capítulo 2. As análises realizadas também foram realizadas conforme capítulo 2.

A diferença entre os dois experimentos se deu na época quando foi implantada a diferença nos níveis de adubação.

A lavoura foi formada seguindo a recomendação padrão, descrita por Guimarães et al. (1999) para adubação em função de análise do solo, até o primeiro ano após o ano de implantação. A partir daí, no segundo ano após a implantação, 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 até a colheita.

Avaliou-se também, a produtividade média do café (sc/ha), colheita de 2013 e 2014.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as variáveis analisadas houve um efeito significativo da interação entre os diferentes níveis de adubação e a época de avaliação. Analisando as duas épocas de avaliação, o número dos estômatos e número de células epidérmicas foram maiores em agosto, sendo os maiores valores encontrados nos níveis de 100 e 130% da adubação (Figura 1ab), ou seja, quando o cafeeiro estava com a nutrição equilibrada. O aumento da densidade estomática pode ser relacionado com uma maior capacidade das plantas em captar o CO₂ da atmosfera e, dessa forma, aumentar a eficiência fotossintética por permitir que mais desse gás seja fixado (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). Além disso, maior quantidade de estômatos por unidade de área pode ser considerada como uma estratégia de conservação de água das folhas que se desenvolvem em solos com menor capacidade de reter água e sob alta luminosidade (LLERAS, 1977; LARCHER, 2000). Este fato provavelmente foi o responsável pelo índice estomático não ter sido alterado, pois o índice estomático representa o investimento da planta na produção de estômatos em relação ao total de células epidérmicas (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

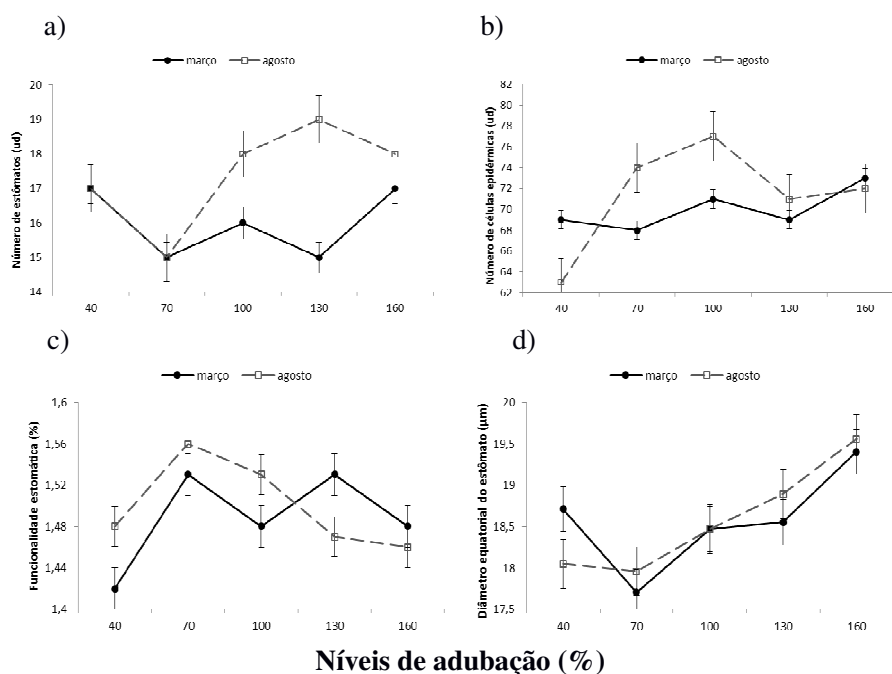


Figura 1. a) Número de estômatos, b) número de células epidérmicas, c) diâmetro equatorial dos estômatos, e d) funcionalidade estomática de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação, março (●) e agosto (□) de 2014. Barras de erro representam o erro padrão da média.

Em geral houve um aumento no diâmetro equatorial dos estômatos com o aumento no nível de adubação nas duas épocas de avaliação (Figura 1c). Assim, provavelmente podemos dizer que em uma adubação mais equilibrada o diâmetro equatorial alterou de maneira favorável, o que pode facilitar as trocas gasosas das folhas das plantas. A relação diâmetro polar e diâmetro equatorial indica o formato dos estômatos e, quando apresenta maior valor, indica uma maior funcionalidade do estômato (Castro; Pereira; Paiva, 2009; Khan et al., 2002).

A funcionalidade estomática apresentou comportamento diverso nas duas épocas, apresentando seus maiores valores nas adubações de 70, 100 e

130% (Figura 1d), ou seja, quando cafeeiro melhor adubado, ou próximo a adubação adequada, seus estômatos foram mais funcionais. A maior funcionalidade estomática pode ser relacionada a uma menor transpiração da folha, pois os estômatos se tornam mais elípticos (BATISTA et al., 2010; SOUZA et al., 2010).

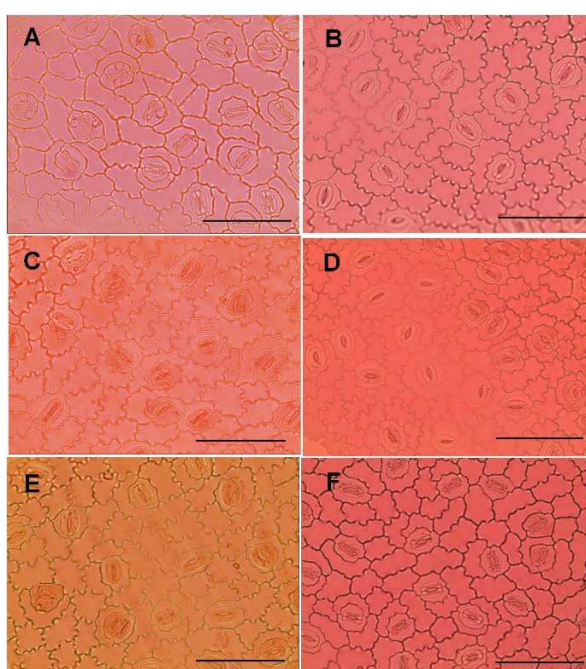


Figura 2. Seção paradérmica de folhas de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação. (A – 40% de adubo em março; B – 40% de adubo em agosto; C – 100% de adubo em março; D – 100% de adubo em agosto; E – 160% de adubo em março; J – 160% de adubo em agosto). Barra 50 µm.

O aumento na adubação causou a diminuição na espessura da cutícula da face adaxial em março (Figura 3a). Devido à sua natureza lipídica, a cutícula mais espessada pode evitar a perda de água excessiva por transpiração, sendo, portanto, um importante mecanismo de tolerância ao déficit hídrico (CASTRO;

PEREIRA; PAIVA, 2009). Dessa forma, por ser tratar de um cafeeiro irrigado, nesse período a perda de água não foi acentuada e, conseqüentemente, a planta não necessitou investir energia no espessamento da cutícula. Em agosto, as plantas submetidas a 100% de adubação apresentaram o maior espessamento da cutícula, possivelmente devido a melhor nutrição do cafeeiro, ele investiu no espessamento de sua cutícula para controle de perda de água.

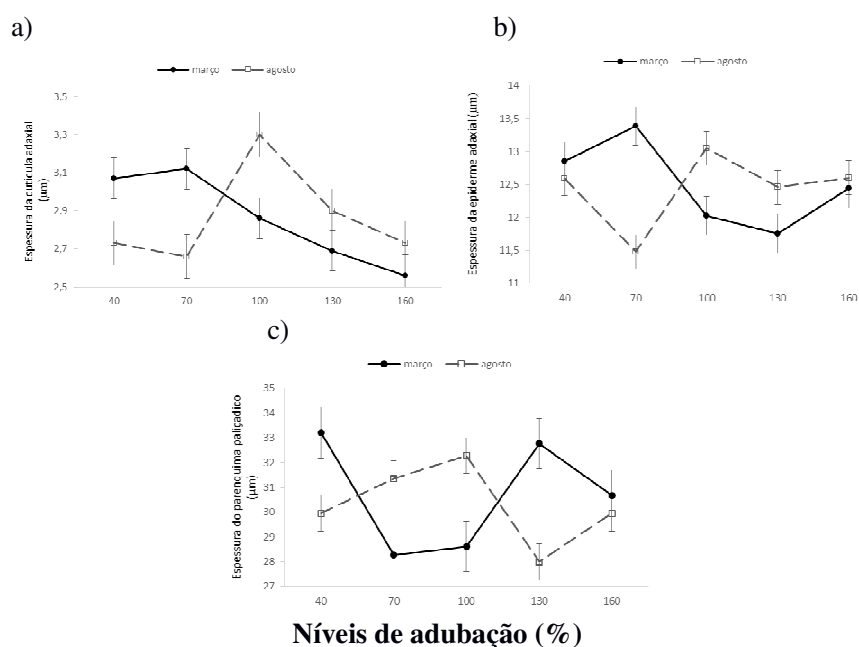


Figura 3. a) Espessura da cutícula da epiderme adaxial, b) espessura da epiderme adaxial e c) espessura do parênquima paliçádico de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação, março (●) e agosto (□). Barras de erro representam o erro padrão da média.

Entre as duas épocas do ano, observou-se uma maior espessura da epiderme adaxial com o aumento da adubação em agosto, enquanto comparada a março, que ocorreu uma diminuição na espessura com o aumento da adubação (Figura 3b). A espessura da epiderme da face adaxial pode estar relacionada às

condições hídricas ou às condições de intensidade de radiação (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009; SOUZA et al., 2007), atenuando a radiação incidente e reduzindo a taxa de transpiração.

Algumas características das plantas como a redução da área foliar, a maior densidade estomática e a maior espessura do parênquima paliçádico, em ambientes com restrição hídrica, são entendidas como mecanismos de retenção de água, diminuindo a transpiração. A menor área foliar é também associada ao aumento da espessura da lâmina, devido à presença de tecidos de sustentação e ao incremento do número de camadas do parênquima paliçádico (FAHN; CUTLER, 1992). Neste sentido, a espessura do parênquima paliçádico foi maior em 100% da adubação em agosto, pois como resposta a uma adubação equilibrada a planta aumentou seu parênquima para controlar a transpiração excessiva. Segundo Medri e Perez (1980), características de resistências das plantas em condições de estresse são dadas pela forte compactação mesoflica, com abundante parênquima paliçádico, em relação ao esponjoso. Já em março, o parênquima paliçádico apresentou comportamento diverso devido à água não ser um fator limitante.

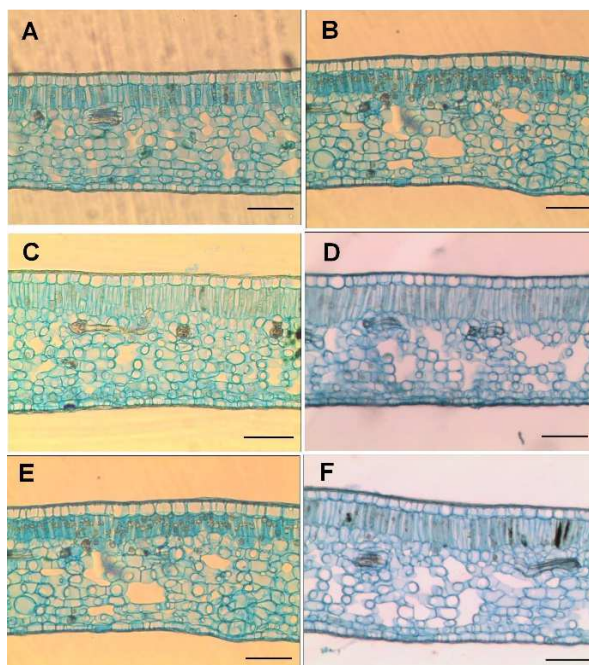


Figura 4. Seção transversal de folhas de café irrigado em diferentes níveis de adubação. (A – 40% de adubo em março; B – 40% de adubo em agosto; C – 100% de adubo em março; D – 100% de adubo em agosto; E – 160% de adubo em março; J – 160% de adubo em agosto). Barra 100 μm .

Para o número de vasos do xilema, em agosto, o maior número ocorreu na adubação de 100% e em março para as adubações de 70 e 160% (Figura 5a). Já o diâmetro dos vasos aumentou com o aumento da adubação nas duas épocas (Figura 5b). Normalmente o maior número de vasos com menor diâmetro favorece a condutância hidráulica, reduzindo a cavitação e tornando a absorção de água e nutrientes minerais mais eficientes (HACKE; SPERRY, 2001).

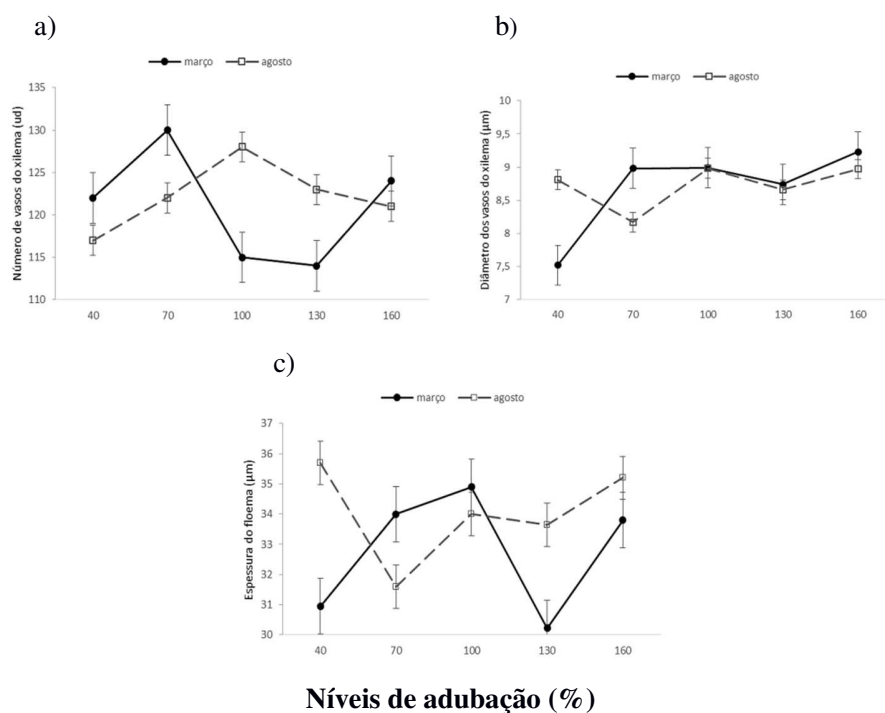


Figura 5. a) Número de vasos do xilema, b) diâmetro do vaso do xilema e c) espessura do floema de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação, março (●) e agosto (□). Barras de erro representam o erro padrão da média.

As modificações no número e no diâmetro dos vasos do xilema podem representar uma forma de adaptação da planta diante das alterações no ambiente que afetam o transporte. A redução da espessura de vasos de xilema pode permitir um transporte mais seguro, quando a planta está submetida a algum tipo de estresse, melhorando a condutividade hidráulica por meio destes (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). Esse resultado pode ser justificado pelas condições hídricas adequadas durante o período.

Já para a espessura do floema, em março foi verificado uma maior espessura no nível de 100% da adubação, ou seja, na adubação ideal. Em agosto

os maiores valores de espessura foram para as adubações de 40 e 160% da adubação. Plantas com maior espessura do floema podem demonstrar maior potencial para a translocação de fotoassimilados, visto que o floema é um tecido especializado no transporte desses, que são componentes do metabolismo da planta (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

Pode-se observar nas Figuras 1, 3 e 5 que ocorrem modificações nos tecidos foliares, em função das épocas do ano, o que demonstra que o cafeeiro apresenta adaptação foliar de acordo com as condições ambientais. Roças, Scarano e Barros (2001) observaram esse mesmo comportamento em um estudo com angiospermas, onde verificaram que à medida que as plantas eram expostas a variações climáticas, como déficit hídrico e luz, ocorriam modificações nos tecidos foliares. Isso corrobora com o resultado obtido por Baliza et al. (2012) em um estudo com cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação, no qual foi observado que as estruturas anatômicas das folhas do cafeeiro e suas respectivas funções apresentam significativa adaptação morfoanatômica aos diferentes níveis de radiação solar, adaptando sua forma conforme a quantidade de radiação.

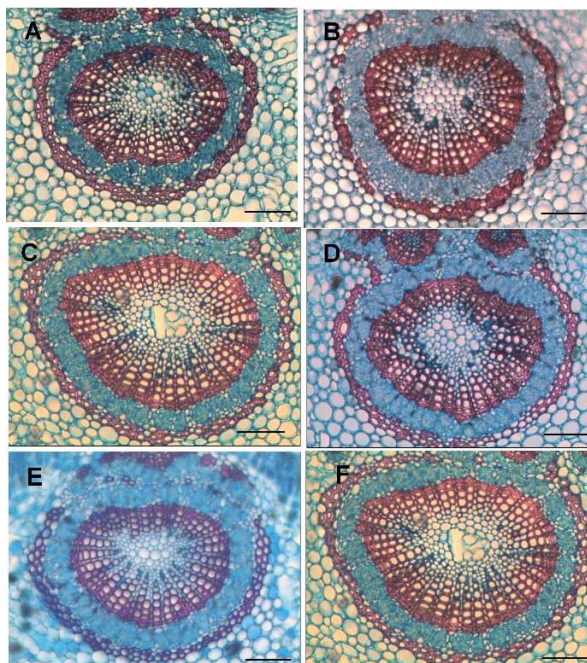


Figura 6. Detalhe do feixe vascular em seção transversal da nervura de folhas de cafeeiro irrigado em diferentes níveis de adubação. (A – 40% de adubo em março; B – 40% de adubo em agosto; C – 100% de adubo em março; D – 100% de adubo em agosto; E – 160% de adubo em março; J – 160% de adubo em agosto). Barra 100 μ m.

Comparando os resultados entre as duas épocas do ano, notou-se que a taxa fotossintética, condutância estomática e transpiração foram maiores em março, enquanto que em agosto apresentaram os menores valores. Já a eficiência do uso da água foi maior em agosto (Tabela 3).

Esses resultados comprovam que em março (e com temperaturas maiores) as plantas estão mais fotossinteticamente ativas necessitando, portanto de nutrição adequada e equilibrada. A fotossíntese corresponde à entrada básica de energia para as plantas e é essencial para o desenvolvimento do vegetal, sendo ligada diretamente à estrutura das folhas (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

Tabela 1 Variações na taxa fotossintética ($\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), condutância estomática ($\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), transpiração ($\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e eficiência do uso da água ($\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$) de folhas de café fertirrigado, submetidos a diferentes níveis de adubação NPK.

Época	Taxa fotossintética	Condutância estomática	Eficiência do uso da água	Transpiração
Chuvosa	12,04a	0,22a	3,91b	3,12a
Seca	8,32b	0,04b	4,64a	1,97b

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

Segundo Taiz e Zeiger (2004), a fotossíntese aumenta de acordo com o aumento da condutância estomática, este aumento na condutância está relacionado a uma maior abertura estomática o que consequentemente ocasiona uma maior taxa de transpiração.

A relação entre a assimilação de CO_2 e transpiração, é um indicador da eficiência do uso da água. O cultivo do cafeeiro irrigado contribui para que a perda de água por meio da evapotranspiração excessiva seja reduzida e, consequentemente, a eficiência do uso da água deve aumentar (Da MATTA, 2004). Em geral, os maiores valores da eficiência do uso da água foram encontrados em agosto, e isso é traduzido em benefícios para a produção de cafeeiros.

O potencial hídrico foliar e a produtividade do cafeeiro não apresentaram diferenças em nenhuma das épocas analisadas e nem entre os diferentes níveis de adubação. Analisando a variável produtividade, pode-se dizer que possivelmente a adubação feita no primeiro ano e que seguiu a recomendação padrão em todo o cafeeiro pode ter sido responsável por uma nutrição eficiente logo após o plantio e com isso, mesmo fazendo-se a diferenciação dos níveis de adubação a partir do segundo ano, o cafeeiro não foi afetado nutricionalmente ou metabolicamente a fim de que houvesse uma

diferenciação na produtividade do mesmo quando se analisou os diferentes níveis de adubação empregados no segundo ano após a implantação da lavoura.

4 CONCLUSÕES

Os diferentes níveis de adubação e época de avaliação provocaram diferenças na estrutura interna, ou seja, na anatomia foliar e na fisiologia do cafeeiro irrigado.

O potencial hídrico foliar e a produtividade do cafeeiro não apresentaram diferenças em nenhuma das épocas analisadas e nem entre os diferentes níveis de adubação.

REFERÊNCIAS

- BALIZA, D. P. et al. Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, 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.
- CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal**: estrutura e função de órgãos vegetativos. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira café**: estimativa de safra 2014: terceiro levantamento. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 29 agosto 2015.
- DA MATTA, F. M. Exploring drought tolerance in coffee: a physiological approach with some insights for plant breeding. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 16, n. 1, p. 1-6, Jan/Apr. 2004.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306 p.
- FAHN, A.; CUTLER, D. **Xerophytes**. Berlin: Gebrüder Borntraeger, 1992.
- 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.
- GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ-VENEGAS, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. p. 289-302.
- HACKE, U. G.; SPERRY, J. S. Functional and ecological xylem anatomy. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, Jena, v. 4-2, p. 97-115, 2001.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw Hill, 1940. 523 p.

KHAN, P. S. S. V. et al. Growth and net photosynthetic rates of *Eucalyptus tereticornis* Smith under photomixotrophic and various photoautotrophic micropropagation conditions. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, Amsterdam, v. 71, n. 2, p. 141-146, Feb. 2002.

KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Rio de Janeiro: EDUR, 1997. 319p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000.

LLERAS, E. Differences in stomatal number per unit area within the same species under different microenvironmental conditions: a working hypothesis. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 7, n. 4, p. 473-476, 1977.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995.

MEDRI, M. E.; PEREZ, E. L. Aspectos da anatomia ecológica de folhas de *Hevea brasiliensis* Mell. Arg. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 10, n. 3, p. 463-493, 1980.

PINTO, C. G. Faixas críticas de teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio para o cafeeiro (*Coffea arabica* L.) fertirrigado no primeiro ano pós plantio. 2012. 65p. **Dissertação** (mestrado) – Universidade Federal de Lavras - MG.

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.

ROÇAS, G.; SCARANO, F. R.; BARROS, C. F. Leaf anatomical variation in *Alchornea triplinervia* (Spreng) Mull.Agr. (Euphorbiaceae) under distinct light and soil water regimes. **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v. 136, n. 2, p. 213-238, June 2001.

SILVA, L. M.; ALQUINI, Y.; CAVALLET, V. J. Inter-relações entre anatomia vegetal e produção vegetal. **Acta Botânica Brasílica**, Porto Alegre, v.19, n. 1, p.183-194, 2005.

SILVA, C. A. et al. Produtividade e potencial hídrico foliar do cafeeiro „Catuai” em função da época de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 21-25, ago. 2008.

SOBREIRA, F. M. **Adubação do cafeeiro fertirrigado em fase de formação no sul de Minas Gerais**. 2010. 104 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SOUZA, G. S. et al. Estrutura foliar e de cloroplastídeos em *Mikania laevigata* Shultz Bip. Ex Baker em diferentes condições de qualidade de luz. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 1, p. 78-80, jul. 2007.

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.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2004. **Fisiologia Vegetal**, ed. ARTMED, 3ªed, PortoAlegre/RS,.

VITTI, G.C.; BOARETO, A.E.; PENTEADO, S.R. Fertilizantes e fertirrigação. In: VITTI, G.C.; BOARETO, A.E. **Fertilizantes fluidos**. Piracicaba: Potafos, 1994. p.261- 281.