



ESTEVAM ANTÔNIO CHAGAS REIS

**CARACTERIZAÇÃO DE CULTIVARES DE
CAFEEIROS RESISTENTES À FERRUGEM
SUBMETIDAS À PODA TIPO
ESQUELETAMENTO**

LAVRAS – MG

2016

ESTEVAM ANTÔNIO CHAGAS REIS

**CARACTERIZAÇÃO DE CULTIVARES DE CAFEEIROS
RESISTENTES À FERRUGEM SUBMETIDAS À PODA TIPO
ESQUELETAMENTO**

Dissertação 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 Mestre.

Prof. Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes

Orientador

LAVRAS – MG

2016

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

Reis, Estevam Antônio Chagas.

Caracterização de cultivares de cafeeiros resistentes à ferrugem
submetidas à poda tipo esqueletamento / Estevam Antônio Chagas
Reis. – Lavras : UFLA, 2016.

74 p. : il.

Dissertação(mestrado acadêmico)–Universidade Federal de
Lavras, 2016.

Orientador: Antônio Nazareno Guimarães Mendes.

Bibliografia.

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

ESTEVAM ANTÔNIO CHAGAS REIS

**CARACTERIZAÇÃO DE CULTIVARES DE CAFEEIROS
RESISTENTES À FERRUGEM SUBMETIDAS À PODA TIPO
ESQUELETAMENTO**

**CHARACTERIZATION OF COFFEE CULTIVARS RESISTANT TO
RUST SUBMITTED TO FRAMEWORK PRUNING**

Dissertação 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 Mestre.

APROVADA em 16 de setembro de 2016.

Prof. Dr. Rubens José Guimarães
Dra. Milene Alves de Figueiredo Carvalho
Dr. Rodrigo Luz da Cunha

UFLA
EMBRAPA
EPAMIG

Prof. Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes
Orientador

LAVRAS – MG

2016

*Aos meus pais, Estevam Mário de Rezende Reis e
Maura Vilela Chagas Reis, que nunca mediram
esforços para me ajudar a alcançar meus sonhos,*

DEDICO.

*À minha irmã, Marina Chagas Reis pela
amizade e carinho,*

OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por fazer de meus sonhos Seus planos;

À Universidade Federal de Lavras que me proporcionou um ensino de qualidade para minha formação acadêmica no curso de Agronomia;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado;

Ao NECAF, GHPD e à INOVACAFÉ, pelo engrandecimento pessoal e profissional;

Ao professor Antônio Nazareno Guimarães Mendes, pela orientação neste trabalho e pelos ensinamentos que não se encontram em livros;

À pesquisadora da Embrapa Café Dra. Milene Alves de Figueiredo Carvalho, pela coorientação e pelo apoio constante e conhecimentos passados;

A minha namorada Tainah pelo incentivo, apoio, carinho e compreensão nos momentos difíceis;

Aos amigos da turma 2009/1 que sempre estiveram presentes em minha vida acadêmica, propiciando grandes momentos;

Aos amigos formados na República Pé-de-Cana, pelo companheirismo, conselhos e ótimos momentos vividos;

Aos meus avós, pelas orações e proteção;

Aos meus tios, primos e padrinhos, pela torcida e carinho;

A todos que de uma forma ou de outra ajudaram na realização desse trabalho.

MUITO OBRIGADO!

*“Cada sonho que você deixa pra trás, é um
pedaço do seu futuro que deixa de existir.”*

Steve Jobs

RESUMO

A utilização de técnicas que visam a aprimorar os métodos convencionais de seleção de cafeeiros é de suma importância para o desenvolvimento da cafeicultura nacional. Essas técnicas, como a poda por esqueletamento, favorecem a identificação de cultivares mais produtivas e responsivas às técnicas de manejo. Com isso, objetivou-se, neste trabalho, avaliar características anatômicas, fisiológicas e agronômicas, bem como a relação entre elas em cultivares de cafeeiros oriundos de germoplasma supostamente resistente à ferrugem e sua resposta à realização da poda tipo esqueletamento. O experimento foi instalado na área experimental do Departamento de Agricultura, Setor de Cafeicultura da Universidade Federal de Lavras, utilizando delineamento em blocos casualizados, com três repetições, no espaçamento de 3,5 x 0,7m e parcelas de 12 plantas. Foram avaliadas 25 cultivares de cafeeiro, sendo 23 oriundas de germoplasma supostamente resistente à ferrugem e 2 cultivares comerciais consideradas suscetíveis. Foram analisados densidade e funcionalidade estomática; número e diâmetro de vasos do xilema; espessuras do floema, cutícula da face adaxial, epidermes adaxial e abaxial, parênquimas paliádico e esponjoso, mesófilo e limbo; comprimento de ramo plagiotrópico e número de nós; taxa fotossintética líquida; taxa transpiratória; eficiência de uso da água; fluorescência e índice de clorofila; índice de área foliar, incidência de ferrugem e produtividade. Concluiu-se que as cultivares Catucaí Amarelo 20/15 cv 479, Araponga MG1 e Tupi IAC 1669-33 mostram-se altamente responsivas à poda de esqueletamento por apresentarem alta produtividade aliada à alta funcionalidade estomática, taxa fotossintética, eficiência do uso da água e baixa taxa transpiratória. Além disso, as duas últimas cultivares apresentam baixa incidência de ferrugem. Já a cultivar Acauã apresenta boa resposta à realização dessa poda por apresentar alta produtividade associada à maior espessura da cutícula e menor incidência da doença. A cultivar Catucaí Vermelho 785/15 não é responsiva à poda tipo esqueletamento, por apresentar menor produtividade, além de alta incidência de ferrugem, baixo crescimento vegetativo e baixa eficiência do uso da água.

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

ABSTRACT

The use of techniques with the aim of improving conventional methods for coffee selection is of great importance for the development of national coffee production. These techniques, such as framework pruning, favor the identification of more productive cultivars, responsive to management techniques. Thus, we aimed at evaluating the anatomical, physiological and agronomic traits, as well as the relation between them, in coffee cultivars originated from germplasm supposedly resistant to rust, and its response to framework pruning. The experiment was installed in an experimental area of the Department of Agriculture, coffee culture sector of the Universidade Federal de Lavras, using a randomized blocks design, with three replicates, in spacings of 3.5 x 0.7 m and plots of 12 plants. We evaluated 25 coffee cultivars, with 23 originated from germplasm supposedly resistant to rust and 2 commercial cultivars considered susceptible. We analyzed density and stomata functionality; number and diameter of the xylem vessels; thickness of the phloem, adaxial cuticle, adaxial and abaxial epidermis, palisade and spongy parenchyma, mesophyll and limbus; length of the plagiotropic branch and number of knots; net photosynthetic rate; transpiratory rate; water use efficiency; fluorescence and chlorophyll index; foliar area index, incidence of rust and productivity. In conclusion, cultivars Catuaí Amarelo 20/15 cv 479, Araponga MG1 and Tupi 1669-33 presented high response to framework pruning given their high productivity allied to high stomata functionality, photosynthetic rate, water use efficiency and low transpiratory rate. In addition, the two last cultivars presented low incidence of rust. Cultivar Acauã presented good response to this type of pruning for presenting high productivity associated with greater cuticle thickness and lower disease incidence. Cultivar Catuaí Vermelho 785/15 was unresponsive to the framework pruning for presenting lower productivity, high incidence of rust, low vegetative growth and low water use efficiency.

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

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Relação de cultivares de cafeeiro estudadas para características fisiológicas, anatômicas e agronômicas em Lavras-MG. UFLA, 2016. (Continua) 32
- Tabela 2 - Relação de cultivares de cafeeiro estudadas para características fisiológicas, anatômicas e agronômicas em Lavras-MG. UFLA, 2016. (conclusão)..... 33
- Tabela 3 - Resumo da análise de variância para densidade estomática (DE), número de vasos do xilema (NVX), diâmetro de vasos do xilema (DVX), espessura do floema (EF), espessura do parênquima paliçádico (EPP), número de nós do ramo plagiotrópico (NNRP), fluorescência da clorofila (F_0) e teor de clorofila (T_{clo}), de 25 cultivares de cafeeiro após a poda de esqueletamento, em Lavras MG. UFLA, 2016. 42
- Tabela 4 - Médias das cultivares para as características densidade estomática (DE), número de vasos do xilema (NVX), diâmetro de vasos do xilema (DVX), espessura do floema (EFL), espessura da epiderme abaxial (EEAb), espessura do parênquima paliçádico (EPP), número de nós do ramo plagiotrópico (NNP), fluorescência da clorofila a (F_0) e teor de clorofila (T_{clo}), de 25 cultivares de cafeeiro após a poda de esqueletamento, em Lavras MG. UFLA, 2016. (Continua) 43
- Tabela 5 - Resumo da análise de variância para funcionalidade estomática (FE), espessura da cutícula (EC), espessura da epiderme adaxial (EEAd), espessura do parênquima esponjoso (EPE), espessura do mesofilo (EM), espessura do limbo (EL), comprimento de ramo plagiotrópico (CRP), taxa

	<p>fotossintética líquida (TFL), taxa transpiratória (<i>E</i>), eficiência no uso da água (EUA), índice de área foliar (IAF), incidência de ferrugem (IF) e produtividade (Prod) de 25 cultivares de cafeeiro após a poda de esqueletamento, em Lavras-MG. UFLA, 2016.</p>	45
Tabela 6 - Médias das cultivares para as características funcionalidade estomática (FE), espessura da cutícula (EC), comprimento de ramo plagiotrópico (CRP), taxa fotossintética líquida (TFL), taxa transpiratória (<i>E</i>), eficiência no uso da água (EUA), índice de área foliar (IAF), incidência de ferrugem (IF) e produtividade (Prod), de 25 cultivares de cafeeiro após a poda de esqueletamento, em Lavras-MG. UFLA, 2016. (Continua)		47
Tabela 7 - Médias das cultivares para as características funcionalidade estomática (FE), espessura da cutícula (EC), comprimento de ramo plagiotrópico (CRP), taxa fotossintética líquida (TFL), taxa transpiratória (<i>E</i>), eficiência no uso da água (EUA), índice de área foliar (IAF), incidência de ferrugem (IF) e produtividade (Prod), de 25 cultivares de cafeeiro após a poda de esqueletamento, em Lavras-MG. UFLA, 2016. (Conclusão)		48
Tabela 8 - Médias das cultivares para as características espessura da epiderme adaxial (EEAd), espessura do parênquima esponjoso (EPE), espessura do mesofilo (EM) e espessura do limbo (EL), de 25 cultivares de cafeeiro após a poda de esqueletamento, em Lavras-MG. UFLA, 2016.		49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Importância socioeconômica da cultura do cafeeiro	17
2.2	Melhoramento genético do cafeeiro e resistência a ferrugem	18
2.3	Podas do cafeeiro	21
2.3.1	Esqueletamento	24
2.4	Fisiologia e anatomia do cafeeiro	26
3	MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1	Instalação e condução do experimento	34
3.2	Delineamento experimental	34
3.3	Características avaliadas	34
3.3.1	Características Fisiológicas	35
3.3.2	Características Anatômicas	36
3.3.3	Características de crescimento	38
3.3.4	Incidência de ferrugem	38
3.3.5	Produtividade	39
3.4	Análises estatísticas	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5	CONCLUSÕES	61
	REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura é considerada uma das atividades de maior importância para o agronegócio brasileiro, gerando muitos empregos diretos e indiretos. O Brasil se destaca como sendo o maior produtor e exportador de “café verde” do mundo (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2015). O sucesso da atividade cafeeira está relacionado ao desenvolvimento das pesquisas realizadas, proporcionando importantes avanços nos sistemas de cultivo.

O sistema de condução do cafeeiro determina a necessidade e forma de realização ou não das práticas de poda as quais direcionam, corrigem e mantêm a estrutura vegetativa adequada do cafeeiro (SANTOS, 2009).

A poda tipo esqueletamento é uma técnica que consiste na retirada de grande extensão da porção terminal de todos os ramos plagiotrópicos, que são cortados à cerca de 20 a 40 cm do tronco, sendo considerada uma operação relativamente drástica por reduzir grande porção da parte aérea e, conseqüentemente, do sistema radicular, que será recuperado à medida que a brotação da parte aérea se intensifica (QUEIROZ-VOLTAN et al., 2006). Sendo assim, para a aplicação dessa técnica, é preciso associar a utilização de cultivares adequadas com um manejo correto, a fim de aumentar, a curto prazo, a produtividade em relação ao livre crescimento.

O melhoramento genético contribui para avanços na cafeicultura, propiciando inúmeros ganhos em produtividade, adequação da arquitetura de plantas, introdução de genes de resistência a doenças e a introdução de novos modelos de produção com a utilização adequada de podas programadas visando à seleção de cultivares com melhor desempenho produtivo. Contudo, novos esforços são exigidos dos programas de melhoramento genético do cafeeiro, visto que a cafeicultura atual passa por grandes desafios (ASSAD et al., 2004; CARVALHO, 2008).

Embora o Brasil seja o maior produtor mundial de café, sabe-se que a produtividade das lavouras é baixa (CAIXETA et al., 2008). Um dos motivos é a presença da ferrugem alaranjada (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.), considerada a principal doença do cafeeiro (*Coffea arabica* L.), afetando diretamente a produção das plantas quando não se executam os tratamentos fitossanitários adequados (MARIOTTO et al., 1979).

Cafeeiros resistentes à ferrugem tem se mostrado a melhor opção para o manejo da doença (ZAMBOLIM; VALE, 2003), entretanto, produtores e técnicos têm observado que esses cafeeiros, apesar de apresentarem altas produtividades nas primeiras produções, com o passar dos anos têm reduzido seu vigor vegetativo, acarretando perda de produtividade. Dessa forma, a falta de conhecimento científico reforça a necessidade de realizar estudos relacionados à restauração da capacidade produtiva desses materiais. A utilização da poda, principalmente o esqueletamento, é uma técnica viável para recuperação do vigor vegetativo dessas plantas ao longo dos anos.

Diante do exposto, a utilização de técnicas que visam a aprimorar os métodos convencionais de seleção de cafeeiros é de suma importância, favorecendo a identificação de cultivares mais produtivas e responsivas às práticas de manejo, em especial às podas usualmente empregadas na condução da lavoura.

Estudos anatômicos e fisiológicos têm se destacado como importantes meios para otimizar os trabalhos de melhoramento (BATISTA et al., 2010). Alterações na morfologia e anatomia de cafeeiros têm sido pouco estudadas e informações básicas referentes aos aspectos fisiológicos relacionados a tais variações podem ser bastante úteis para observação em condições de campo. As variações na estrutura das folhas estão relacionadas, em grande parte, com o hábitat, representando uma importante resposta plástica das plantas às condições ambientais (DIAS et al., 2005).

Assim, objetivou-se, neste trabalho, avaliar características anatômicas, fisiológicas e agronômicas, bem como a relação entre elas em cultivares de cafeeiros oriundos de germoplasma supostamente resistente à ferrugem e sua resposta à realização da poda tipo esqueletamento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância socioeconômica da cultura do cafeeiro

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2015), com produção estimada na safra 2016 de aproximadamente 49,7 milhões de sacas de 60 quilos de café beneficiado, sendo 40,3 milhões de café arábica (*Coffea arabica* L.) e 9,4 milhões de café robusta (*Coffea canephora* Pierre) (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2016).

Dentre os estados produtores de café no Brasil, Minas Gerais destaca-se como o maior, contribuindo com mais de 50% da produção nacional, destacando-se o cultivo de *C. arabica* L. (CONAB, 2016). O Espírito Santo é o segundo maior estado produtor, cultivando predominantemente *C. canephora* Pierre sendo responsável por produzir quase 80% da safra brasileira dessa espécie.

Vale ressaltar que, apesar do Brasil ser o segundo maior consumidor de café do mundo, perdendo apenas para os Estados Unidos da América (INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION, 2015), o consumo de café per capita, no Brasil, tem crescido ao longo do tempo, observando-se um aumento de 1 kg nos últimos dez anos, atingindo em 2014 o valor de 6,2 kg de café em grão cru por habitante por ano (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2015).

Com relação ao aspecto social, a cafeicultura é uma das atividades agrícolas que mais gera empregos, tornando-se importante fator de distribuição de renda no país, além de apresentar importância relevante como fator de fixação de mão de obra na zona rural. Ademais, são cerca de 287 mil produtores, predominando mini e pequenos, em aproximadamente 1.900 municípios

distribuídos em 15 estados (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2015). Além disto, 30,3% da produção de café têm como origem a agricultura familiar (FRANÇA; DEL GROSSI; MARQUES, 2009), gerando mais de oito milhões de empregos de maneira direta e indireta (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2015).

2.2 Melhoramento genético do cafeeiro e resistência a ferrugem

O melhoramento genético do cafeeiro no Brasil pode ser dividido em duas fases distintas, sendo a primeira iniciada com a introdução da cultivar Típica, no ano de 1727, estendendo-se até o início da década de 1930. Nesse período, o melhoramento era realizado de forma empírica pelos próprios cafeicultores que utilizavam materiais exóticos introduzidos de outras regiões do mundo ou mutantes e recombinantes que surgiram em suas lavouras. A segunda fase, que se estende até os dias atuais, teve início em 1932 e é marcada pelo melhoramento científico, a partir da criação da Seção de Genética do Instituto Agrônomo de Campinas - IAC (MENDES et al., 1996).

Até a década de 1960, os objetivos dos programas de melhoramento do cafeeiro estavam direcionados à obtenção de cultivares com alta produtividade, vigor, longevidade e com ampla adaptação às mais diversas condições edafoclimáticas, para serem cultivadas em extensas regiões. Assim, as seleções preconizavam linhagens que mostrassem pouca interação genótipo x ambiente. Com o aparecimento da ferrugem, após 1970, e sua rápida dispersão nas lavouras, foi dada enorme ênfase ao melhoramento para resistência a essa doença e também a seleção de cafeeiros de porte reduzido foi intensificada (MEDINA FILHO; BORDIGNON; CARVALHO, 2008).

Embora o Brasil seja o maior produtor mundial de café, sabe-se que a produtividade das lavouras é baixa (CAIXETA et al., 2008). Um dos motivos é a

presença da ferrugem alaranjada (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.), considerada a principal doença do cafeeiro (*Coffea arabica* L.), afetando diretamente a produtividade das plantas quando não se executam os tratamentos fitossanitários adequados (MARIOTTO et al., 1979). As condições ambientais de temperatura, umidade e precipitação apresentam estreita relação com a incidência e a severidade da ferrugem. Outros fatores como ambientes sombrios, espaçamentos mais fechados, adubação e tratos culturais inadequados e alta carga favorecem a doença (BOCK, 1962; CHALFOUN; LIMA, 1986; ZAMBOLIM; MARTINS; CHAVES, 1985).

Embora fungicidas cúpricos ou sistêmicos sejam bastante eficientes no controle do patógeno, o desenvolvimento de cultivares com resistência genética tem se mostrado, economicamente, a melhor alternativa para o controle da doença.

Várias cultivares apresentam resistência completa para a maioria das raças de ferrugem, como 'Iapar 59', 'Obatã IAC 1669-20', 'Oeiras', 'Tupi IAC 1669-33' e outras, sendo a maioria derivada dos germoplasmas Catimor e Sarchimor (VÁRZEA et al., 2002).

Populações de cafeeiro resistentes à *H. vastatrix* têm sido desenvolvidas nos principais países produtores de café, como a cultivar Icatu no Brasil (CARVALHO et al., 1993). A maioria das cultivares resistentes à ferrugem, no Brasil, tem como fonte de resistência o material denominado de Híbrido de Timor, resultante do cruzamento entre *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre. Esse híbrido e suas progênies derivadas do cruzamento dele com outras cultivares vêm sendo estudados em diversas regiões cafeeiras do mundo (VARZEA et al., 2002). Segundo pesquisas, esse germoplasma tem sido valioso para os programas de melhoramento visando à resistência ao agente da ferrugem.

Além das introduções desse Híbrido manterem-se resistentes a todas as raças conhecidas do patógeno, ela é tetraploide e se cruza facilmente com as cultivares de *C. arabica*, favorecendo a transferência de sua resistência (CARVALHO; FAZUOLI; COSTA, 1989). A existência de outros genes em derivados de “Híbrido de Timor” e em outros híbridos interespecíficos tem sido confirmada, em razão da quebra de resistência por novas raças de *H. vastatrix* em alguns desses cafeeiros (VÁRZEA; MARQUES, 2005). Os acessos de Híbrido de Timor são caracterizados por apresentarem fontes de resistência à ferrugem, sendo portadores dos fatores de resistência SH5, 6, 7, 8 e 9 e outros não identificados (FAZUOLI et al., 2005).

O Híbrido de Timor tem sua origem, possivelmente, em um cruzamento natural entre *C. arabica* x *C. canephora*, identificado por volta de 1917, em uma plantação de *C. arabica* no Timor Português. As plantas desse material apresentam fenótipo próximo ao de *Coffea arabica* L. e mostram grande variabilidade na expressão de caracteres agronômicos como vigor vegetativo, produtividade, tamanho e formato de fruto (BETTENCOURT; CARVALHO, 1968).

A resistência das seleções de Híbrido de Timor foi aproveitada, por meio de cruzamentos feitos em Portugal, com cultivares de *C. arabica*, como a cultivar ‘Caturra Vermelho’, sendo a descendência resultante do cruzamento designados de Catimor. Embora algumas seleções iniciais dessa população apresentassem baixo vigor vegetativo, algumas progênies vêm se sobressaindo com elevada resistência à ferrugem e com produções semelhantes às cultivares de Catuaí (SEVERINO et al., 2000; ZAMBOLIM et al., 2000).

Elevado vigor vegetativo correlaciona-se, positivamente, com a adaptação da cultivar ao ambiente, refletindo em plantas com menor depauperamento (SEVERINO et al., 2002).

Em trabalho realizado por Carvalho et al. (2012), verificou-se que as cultivares Sabiá 398 e Pau Brasil MG1 tiveram destaque positivo quanto ao desempenho vegetativo, em locais distintos de avaliação, fazendo com que as características de bienalidade do cafeeiro fossem reduzidas. Cultivares como Catucaí Vermelho 785/15 e Oeiras 6851 apresentaram resultado inverso, comprovando assim baixa adaptabilidade ao ambiente, o que pode estar relacionado ao material de origem.

Já os acessos de Dilla & Alghe foram introduzidos da Etiópia e são caracterizados por possuírem resistência à *Pseudomonas syringae* pv. *Garcae* (agente causal da mancha aureolada) e a algumas raças de *Hemileia vastatrix*, (MORAES et al., 1974).

Embora o progresso no melhoramento genético ocorra de forma expansiva, desafios ainda são encontrados para a obtenção de cultivares com produtividades superiores as variedades atuais, com qualidade de bebida, resistência a doenças, pragas e às diversidades ambientais, boas características agronômicas e baixos custos de produção. Entretanto, mesmo com os grandes progressos genéticos executados em diversos centros de pesquisa, o melhoramento do cafeeiro ainda enfrenta alguns entraves que dificultam a sua realização, em decorrência de muitos fatores como: ciclo longo, período juvenil longo, cultura perene de grande diâmetro de copa, bienalidade de produção e altos custos (IVOGLIO et al., 2008).

2.3 Podas do cafeeiro

O sistema de condução do cafeeiro determina a necessidade e forma de realização ou não das práticas de poda, as quais direcionam, corrigem e mantêm a estrutura vegetativa adequada do cafeeiro (SANTOS, 2009).

A poda consiste em eliminar partes das plantas que perderam ou diminuíram a capacidade produtiva, onde sua recuperação seja praticamente nula quando de forma natural (THOMAZIELLO; PEREIRA, 2008).

Thomaziello et al. (2000) relataram que a poda é uma prática indispensável e que deve ser empregada evitando-se o fechamento da lavoura, com o objetivo de renovar os cafezais, por meio da eliminação dos tecidos vegetativos improdutivos e o desenvolvimento de novos ramos, propiciando aumento da luminosidade e produção.

Por meio da poda, a dominância apical é suprimida como consequência da alteração do equilíbrio hormonal, havendo assim um estímulo na emissão e no desenvolvimento dos brotos a partir de gemas latentes. A regulação da indução e a diferenciação das gemas em cafeeiro são promovidas por fatores bioquímicos e fisiológicos, relacionados com o fotoperíodo, a intensidade de luz, água, temperatura e relação C/N (CAMAYAO-VÉLEZ et al., 2003).

As reservas contidas nos caules como fonte de energia para a rebrota foram verificadas por Livramento et al. (2002), que observaram que plantas de cafeeiros com maiores teores de amido nos ramos e nos caules após a colheita proporcionam brotações mais vigorosas, mantendo maior crescimento até 12 meses depois. O maior vigor foi associado ao maior teor de amido alocado do caule e sugere que o aproveitamento do amido das raízes para as brotações pode ocorrer, caso o amido do caule não seja suficiente. Sendo assim, o aproveitamento de amido de caules e raízes deve influenciar o número e o vigor das brotações.

Livramento et al. (2003), também afirmaram que o crescimento e o desenvolvimento das plantas envolvem uma complexa relação entre parte aérea e sistema radicular, na qual fotoassimilados produzidos na parte aérea são translocados para toda a planta, a fim de suprir a demanda de formação de tecidos jovens.

Reduções no espaçamento de plantio entre as linhas e entre as plantas nas linhas refletem em maior altura do ramo plagiotrópico primário, causam morte mais intensa dos ramos plagiotrópicos, no terço inferior dos cafeeiros e diminuem a área útil produtiva de cada planta, representada pelo diâmetro e o comprimento da copa (MATIELLO et al., 2002). Com esse nível significativo de fechamento, tanto entre quanto dentro das linhas de plantio, é constatada a necessidade da poda, uma vez que a produtividade tende a diminuir com o avanço da idade das plantas, desencadeada pelo aumento da competição entre elas (CARVALHO et al., 2006).

A poda em cafeeiros pode ser agrupada em dois tipos principais, sendo a leve e as drásticas. A poda leve abrange o decote e o desponte; as drásticas incluem recepa e esqueletamento (MATIELLO; GARCIA; ALMEIDA, 2007).

O decote é realizado entre 1,5 a 2,0 metros de altura, eliminando a parte superior do ramo ortotrópico da planta, estimulando o crescimento de ramos plagiotrópicos, de forma a manter a lavoura em um porte adequado (MATIELLO, 1991; MENDES et al., 1995).

A recepa, conhecida como poda de renovação, consiste em podar o ramo ortotrópico a 30 – 40 cm do solo, sendo utilizada em lavouras que sofreram danos severos na parte aérea ou perderam seu potencial produtivo, em decorrência da perda de ramos plagiotrópicos da base (GONÇALVES, 1970; MIGUEL et al., 1986). Em situações onde há possibilidade de deixar ramos plagiotrópicos no terço inferior, realiza-se a recepa alta sendo a planta podada entre 0,5 a 1,0 metro do solo (MIGUEL; MATIELLO; ALMEIDA, 1986; MATIELLO et al., 1987).

O desponte e esqueletamento consistem na poda dos ramos plagiotrópicos, onde se pretende obter grande ramificação secundária; sendo associado a um decote. No desponte, os ramos laterais são cortados apenas nas extremidades a uma distância de 40 a 60 cm da haste ortotrópica (MATIELLO,

1991). No esqueletamento, os ramos são podados a cerca de 20 a 40 cm do tronco, reduzindo grande porção da parte aérea e, conseqüentemente, do sistema radicular, que será recuperado à medida que a brotação da parte aérea se intensificar (QUEIROZ-VOLTAN et al., 2006).

De acordo com Matiello et al. (2002), esse tipo de poda drástica apresenta três finalidades principais. Primeiramente, visa à recuperação da ramagem lateral produtiva, necessária na condição em que os ramos se encontram, muito longos e finos ou embatumados. A segunda finalidade é a recuperação da copa como um todo, para isso recomenda-se poda mais baixa do tronco e deve-se conduzir à brotação ortotrópica. E a última, mais buscada atualmente, consiste em zerar a safra seguinte, tornando a produtividade nula no ano seguinte ao ano em que houve uma elevada produtividade, com alternância de safras, o que facilita o manejo da lavoura pela simplificação dos tratamentos culturais.

Dentre os tipos de poda, o esqueletamento representa a maior fração, sendo de grande importância o conhecimento do mesmo para sua aplicação correta.

2.3.1 Esqueletamento

A poda tipo esqueletamento é uma prática imprescindível para evitar o fechamento da lavoura, pois visa a eliminar os tecidos vegetativos improdutivos (THOMAZIELLO et al., 2000), favorecendo o desenvolvimento de novos ramos e proporcionando aumento da luminosidade e produção (CUNHA et al., 1999).

Japiassú et al. (2010) observaram que lavouras esqueletadas a cada dois ou quatro anos, seguidas de decote a 2 metros de altura do solo, apresentaram produtividades semelhantes a plantas sem poda e superiores a cafeeiros esqueletados e submetidos a decote em alturas inferiores ou apenas decotados.

Em trabalho realizado por Carvalho et al. (2013), foi verificado que progênies de cafeeiros submetidas ao esqueletamento após a oitava colheita diferiram quanto ao comprimento de ramo lateral, porém foram similares quanto ao número de nós dos ramos plagiotrópicos. Os autores ainda constataram que a produtividade das progênies estudadas foi superior após a poda, quando comparada à média das oito colheitas anteriores.

A poda, a cada dois anos, também conhecida como sistema Safra Zero, visa a otimizar a utilização de mão de obra, diminuindo os custos, principalmente de colheita que têm maior participação no custo final da saca de café beneficiado (JAPIASSÚ et al., 2010).

Barros et al. (2004), analisando custo de colheita em uma lavoura adensada, cujo espaçamento era 2,0 x 1,0 m, encontraram que o custo por saca colhida no Sistema Safra Zero que apresentou produtividade média de 80 sacas.ha⁻¹ com colheita a cada dois anos, foi de R\$ 25,00; já no sistema tradicional de colheita, com produtividade média de 40 sacas.ha⁻¹ ano, o custo por saca foi de R\$ 45,00.

Matiello et al. (2003), estudando os custos de colheita de quatro safras em duas propriedades, verificaram que em altas produtividades, 62 sacas.ha⁻¹, o custo por saca de café beneficiado apresentou valores inferiores comparados à área com baixa produtividade, 21 sacas.ha⁻¹, proporcionando uma redução de 55% nos gastos finais. Dessa forma, verifica-se que o custo da produção de café é muito influenciado pela produtividade da lavoura, ou seja, quanto menor a produtividade, maior o custo de produção por saca de café. Em razão desta relação direta, a utilização do esqueletamento como forma de otimizar manejo e tratos culturais, bem como a produtividade, torna-se uma ferramenta importante para a obtenção de maior retorno econômico.

2.4 Fisiologia e anatomia do cafeeiro

A caracterização de espécies vegetais visa a estabelecer uma identidade para cada acesso, por meio do conhecimento de uma série de dados que permitam estudar a variabilidade genética do material (RAMOS; QUEIROZ, 1999). Dessa forma, a caracterização pode ser feita com base em caracteres morfológicos, fisiológicos, citológicos, bioquímicos ou moleculares. O café apresenta base genética muito estreita, diante disso, é importante que se faça sua caracterização não apenas de morfologia externa, como é mais comumente utilizada, como também de morfologia interna, para que elas possam ser associadas (ANTHONY et al., 2002).

A folha é o principal órgão responsável pela produção de energia e metabólitos, e o estudo de suas alterações anatômicas correlacionado com as fisiológicas torna-se importante para o entendimento do funcionamento da planta. Este estudo pode contribuir para seleção de materiais adaptados a diferentes formas de manejo e a mecanismos de tolerância a doenças e pragas.

As folhas podem apresentar modificações em sua anatomia, buscando adaptar-se aos diferentes ambientes, evidenciando sua plasticidade (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). Os trabalhos com anatomia foliar de cafeeiros tiveram início na década de 1950 (DEDECCA, 1957a, 1957b), porém houve uma longa pausa nas pesquisas relacionadas a esse tema, fazendo com que se encontrem poucos trabalhos atualmente na literatura, principalmente sobre a relação entre estrutura interna com as funções fisiológicas destas.

As variações na estrutura das folhas estão, na maioria das vezes, relacionadas com o hábitat, apresentando resposta importante na plasticidade das plantas às condições adversas, especialmente disponibilidade hídrica (DIAS et al., 2005). Podem apresentar alterações nas espessuras dos parênquimas esponjoso e paliádico, e dimensões estomáticas (NASCIMENTO et al., 2006;

PINHEIRO et al., 2005) e também características relacionadas à radiação solar (BALIZA et al., 2012). Portanto, as folhas variam em área, espessura, forma, concentração de nutrientes e capacidade de troca gasosa que, necessariamente, precisam ser ajustadas à economia de carbono, incluindo massa seca foliar por área, longevidade e taxa fotossintética líquida máxima, para resultar em folhas com alta condutância hidráulica. Folhas que apresentam alta densidade de nervuras e tecidos xilemáticos desenvolvidos nas nervuras possuem alta condutância hidráulica que, por sua vez, está relacionada com a maior espessura do parênquima paliçádico, com a razão entre os parênquimas paliçádico e o esponjoso do mesofilo foliar e, com a espessura foliar (BRODRIBB et al., 2005; SACK; HOLBROOK, 2006).

O cultivo de cafeeiros a pleno sol tornou-se uma prática comum nas diversas regiões produtoras, sendo que o cultivo sombreado, normalmente, reduz a taxa de assimilação de carbono e a produtividade (DAMATTA et al., 2007). O nível de radiação pode afetar as características morfológicas, anatômicas e fisiológicas da folha, interferindo diretamente sobre o desenvolvimento, função e estrutura foliar, estrutura dos cloroplastos e componentes do processo fotossintético. As plantas, quando cultivadas a pleno sol, apresentam folhas bastante espessas, em razão do desenvolvimento dos parênquimas paliçádico e esponjoso, o qual é induzido pela alta intensidade de luz, acarretando um aumento da área do mesofilo (ABRAMS et al., 1994; BOARDMAN, 1977; CUI et al., 1991; LEE et al., 2000).

A anatomia foliar das plantas é altamente especializada para a absorção de luz: a camada epidérmica é geralmente transparente aos raios solares e suas células são de forma convexas, favorecendo a focar a luz, atingindo os cloroplastos em quantidades muito superiores à ambiente (TAIZ; ZEIGER, 1998).

Abaixo das células epidérmicas estão localizadas as células do tecido paliçádico, que são alongadas. Sua forma ajuda a canalizar a luz para o interior da folha. Sob a camada de células paliçádicas estão as células do tecido lacunoso, de formato irregular, com grandes espaços vazios. Esses espaços vazios, juntamente com a interface ar-água refletem e refratam a luz, formando o processo chamado “dispersão da luz”, especialmente importante em folhas, pois aumenta o caminho da luz em até quatro vezes a espessura foliar (TAIZ; ZEIGER, 1998).

Estudos realizados por Baliza et al. (2011) mostraram que a taxa fotossintética tem comportamento semelhante à espessura do mesófilo e à espessura do parênquima paliçádico, os quais apresentaram valores reduzidos quando o cafeeiro é submetido ao nível de 90% de sombreamento. Os autores também verificaram que maior densidade estomática pode favorecer o fluxo de CO₂ para o interior da folha, e, sendo esse gás imprescindível para a fotossíntese (ZHOU; HAN, 2005), uma maior captação de CO₂ pode ser favorável.

Gomes et al. (2008) observaram em cafeeiros sombreados menor espessura das folhas e espaços intercelulares maiores no tecido lacunoso. Nos cafeeiros a pleno sol, esses autores verificaram mudança na forma dos cloroplastos, os quais se apresentaram mais alongados quando comparados aos cafeeiros arborizados.

Em condições de alta radiação solar e baixa disponibilidade de água, as folhas do cafeeiro têm maior espessamento da cutícula da face adaxial. O aumento da disponibilidade de radiação provoca aumento da espessura foliar, e da densidade estomática, além da redução no tamanho dos estômatos de cafeeiro em fase de formação (BALIZA, 2011).

Nascimento et al. (2006) avaliaram os efeitos da variação dos fatores do clima e dos sistemas de cultivo sobre características fisiológicas e anatômicas foliares do cafeeiro, encontrando resultados que se comportaram de forma

semelhante. Foram verificadas as maiores médias para café em monocultivo para os dados de transpiração, temperatura foliar, condutância estomática, fotossíntese, eficiência de carboxilação e fotoquímica, assim como para as espessuras dos parênquimas esponjoso e paliçádico e para o índice estomático.

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 vegetal está dinamicamente relacionado às condições de cultivo (SILVA; ALQUINI; CAVALLET, 2005).

Lourenço et al. (2011) constataram que a quantificação e localização dos estômatos, tricomas, parênquimas, epiderme e presença de lignina são importantes na verificação da relação entre a disposição dessas estruturas e a incidência e severidade de doenças, e com o conhecimento dessas diferenças, espera-se obter informações que possam ser utilizadas em pesquisas de fitopatologia, melhoramento genético e nutrição mineral foliar, de forma a contribuir para a sustentabilidade no processo produtivo, com expectativas de incremento de produtividade e utilização racional de defensivos.

A cutícula mais espessa limita a entrada e saída de inóculos de plantas infectadas, reduzindo também a exsudação de nutrientes e outras substâncias requeridas nos estágios iniciais de desenvolvimento dos patógenos (SILVA; ALQUINI; CAVALLET, 2005). A cutina e a cera também podem ser barreiras contra fungos, bactérias e insetos. Em condições ambientais mais severas, a cera tem papel importante quando a cutina não é suficiente (ALQUINI et al., 2006).

De acordo com Viana (2015) a disposição das células epidérmicas de forma compacta impedem a ação de choques mecânicos e a invasão de agentes patogênicos, além de restringir a perda de água.

Vale ressaltar que tanto a espessura da cutícula, quanto a espessura da epiderme abaxial estão relacionadas à resistência da planta aos patógenos, visto

que, para a maioria das ferrugens, a penetração do tubo germinativo dos esporos fúngicos é realizada diretamente, ou seja, dispensando aberturas naturais ou ferimentos (FERREIRA, 1989). Segundo Medeiros, Ferreira e Dianese (2003), os mecanismos estruturais podem explicar alguns casos de resistência. Esses fatores de resistência, porém, devem ser estudados em associação, não sendo os únicos responsáveis pelos processos de defesa, e sim, fatores genéticos, bioquímicos e estruturais interligados (VIANA, 2015).

Poucos têm sido os trabalhos estudados com características anatômicas foliares, objetivando ser uma ferramenta de auxílio ao melhoramento genético do café, principalmente com resistência a doenças e pragas (VIANA, 2015).

Dessa forma, verifica-se a possibilidade de utilizar as características anatômicas como importante instrumento no apoio ao melhoramento genético assistido do cafeeiro, visando à identificação de genótipos superiores de café (BATISTA et al., 2010). Com o uso dessas características, torna-se viável a possibilidade de dinamizar o processo de obtenção de cultivares promissoras a determinadas técnicas de manejo, podendo proporcionar, em um menor espaço de tempo, respostas às principais limitações que a cada dia se colocam como novos desafios para a cafeicultura.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área experimental situada no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura, na Universidade Federal de Lavras, município de Lavras, Minas Gerais, no período de agosto de 2014 a julho de 2016. O município está geograficamente situado nas coordenadas de 21°14' de latitude Sul e 45°00' de longitude Oeste, à altitude de 910 m.

Foram avaliadas características fisiológicas e anatômicas foliares e agronômicas de 25 cultivares de *Coffea arabica* L., desenvolvidas pelos principais programas de melhoramento genético do Brasil, lançadas na última década (TABELAS 1 e 2). Dessas cultivares, 23 têm sua origem em germoplasma supostamente resistente à ferrugem alaranjada do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) e duas são cultivares comerciais suscetíveis (Topázio MG 1190 e Catuaí Vermelho IAC 144), consideradas como testemunhas.

Tabela 1 - Relação de cultivares de cafeeiro estudadas para características fisiológicas, anatômicas e agronômicas em Lavras-MG. UFLA, 2016. (Continua)

32

Ordem	Cultivares	Material de origem	Instituição de origem
01	Catucaí Amarelo 2 SL	Icatu x Catuaí	PROCAFÉ
02	Catucaí Amarelo 24/137	Icatu x Catuaí	PROCAFÉ
03	Catucaí Amarelo 20/15 cv 479	Icatu x Catuaí	PROCAFÉ
04	Catucaí Vermelho 785/15	Icatu x Catuaí	PROCAFÉ
05	Catucaí Vermelho 20/15 cv 476	Icatu x Catuaí	PROCAFÉ
06	Sabiá 398	Catimor x Acaiaí	PROCAFÉ
07	Palma II	Catimor x Catuaí	PROCAFÉ
08	Acauã	Sarchimor x Mundo Novo	PROCAFÉ
09	Oeiras MG 6851	Caturra Verm. (CIFC 19/1) x Híbrido de Timor 832/1	EPAMIG
10	Catiguá MG 1	Catuaí Am. IAC 86 x Híbrido de Timor 440-10	EPAMIG
11	Sacramento MG 1	Catuaí Verm. IAC 81 x Híbrido de Timor 438-52	EPAMIG
12	Catiguá MG 2	Catuaí Am. IAC 86 x Híbrido de Timor 440-10	EPAMIG
13	Araponga MG 1	Catuaí Am. IAC 86 x Híbrido de Timor 446/08	EPAMIG
14	Paraíso MG 1	Catuaí Am IAC 30 x Híbrido de Timor 445-46	EPAMIG
15	Pau Brasil MG 1	Catuaí Verm. IAC 141 x Híbrido de Timor 442-34	EPAMIG
16	Tupi IAC 1669-33	Sarchimor	IAC
17	Obatã IAC 1669-20	Sarchimor x Catuaí	IAC
18	Iapar 59	Sarchimor 1669	IAPAR
19	IPR 98	Seleção de Sarchimor 1669	IAPAR
20	IPR 99	Catuaí x Icatu	IAPAR
21	IPR 103	Catuaí x Icatu	IAPAR
22	IPR 104	Catuaí x Icatu	IAPAR
23	Catiguá MG 3	Catuaí Am. IAC 86 x Híbrido de Timor 440-10	EPAMIG

Tabela 2 - Relação de cultivares de cafeeiro estudadas para características fisiológicas, anatômicas e agronômicas em Lavras-MG. UFLA, 2016. (conclusão)

Ordem	Cultivares	Material de origem	Instituição de origem
24	Topázio MG 1190	Mundo Novo x Catuaí	EPAMIG
25	Catuaí Vermelho IAC 144	Mundo Novo x Caturra	IAC

Fonte: Do autor (2016).

3.1 Instalação e condução do experimento

Em setembro de 2014, após a sétima colheita, foi realizada poda tipo esqueletamento, cortando-se a porção terminal dos ramos plagiotrópicos, que foram mantidos com 20 a 40 cm do tronco. Posteriormente, foi realizado o decote da haste ortotrópica a 2 metros de altura do solo, sendo conduzida uma única brotação superior na porção terminal das plantas, após sucessivos desbastes das brotações ortotrópicas surgidas abaixo do ponto de corte.

A condução do ensaio foi realizada de acordo com as recomendações técnicas para a cultura do cafeeiro em Minas Gerais, sendo a fertilização realizada conforme a 5ª Aproximação (GUIMARÃES et al., 1999).

Apenas as duas cultivares suscetíveis à ferrugem receberam aplicações de defensivos químicos para controle da doença.

3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com três repetições, com parcelas de 12 plantas, sendo considerada como parcela útil apenas duas plantas para as avaliações fisiológicas e anatômicas, sendo cada planta considerada uma repetição. Já, para as características agronômicas, foram consideradas como parcela útil seis plantas centrais. O espaçamento utilizado é de 3,5m entre linhas x 0,70m entre plantas.

3.3 Características avaliadas

Para avaliação das características fisiológicas e anatômicas, foram utilizadas folhas completamente expandidas do ramo plagiotrópico, localizadas

no terceiro nó a partir do ápice do ramo, no terço médio da planta, isentas do ataque de pragas e doenças e de deficiências nutricionais. As avaliações tiveram início aos 9 meses após a realização da poda tipo esqueletamento, em junho de 2015, após o final do período vegetativo.

As avaliações fisiológicas foram realizadas no período de 8h30 às 11h horas da manhã. Essas mesmas folhas utilizadas para as avaliações fisiológicas e suas homólogas foram coletadas, acondicionadas e levadas para o Laboratório de Anatomia e Fisiologia do Cafeeiro, situado na Agencia de Inovação do Café, para preparo e realização das avaliações anatômicas.

3.3.1 Características Fisiológicas

As características fisiológicas foram avaliadas com o auxílio de um analisador portátil de trocas gasosas por infravermelho (IRGA LICOR – 6400XT). Avaliaram-se a taxa fotossintética líquida ($A-\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e a taxa transpiratória ($E-\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), sob luz artificial ($1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). A eficiência do uso a água (EUA) foi calculada utilizando a razão A/E (SILVA et al., 2010).

O índice de clorofila foi determinado, por meio do medidor portátil de clorofila atLEAF, medindo a transmissão de luz vermelha a 660 nm, quando ocorre absorção de luz pela molécula de clorofila, e de luz infravermelha, a 940 nm, sem absorção. Com base nesses valores, o instrumento calcula um índice que é altamente correlacionado com o teor de clorofila (ZHU; TREMBLAY; LIANG, 2012).

A avaliação da fluorescência da “clorofila *a*” ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foi realizada com o fluorímetro portátil de luz modulada MINI-PAM. As mensurações foram feitas com o auxílio de pinças de metal (DLC-8) acopladas ao sensor MINI-

PAM, colocadas na região mediana das folhas, em um dos lados do limbo foliar, evitando-se a nervura central.

A determinação do índice de área foliar (IAF) foi realizada segundo Barbosa et al. (2012). Avaliou-se a altura das plantas e a altura de inserção do ramo plagiotrópico, a partir do nível do solo, sendo mensurados o comprimento total de ramos e o comprimento da região sem folhas na copa de 5 ramos distribuídos uniformemente de cada lado da planta para a obtenção do IAF. Esses dados foram utilizados para a obtenção de equações que descrevessem o comportamento do IAF, estimando o volume de folhas das plantas.

3.3.2 Características Anatômicas

Foram coletadas duas folhas por planta no mesmo ramo, amostrando-se duas plantas centrais por parcela, totalizando doze folhas por tratamento. Logo após coletadas, folhas de cada planta foram acondicionadas em pote plástico contendo F.A.A. 70 (JOHANSEN, 1940) para fixação do material vegetal. Após 72 horas, trocou-se o F.A.A. 70 por etanol 70% (v.v⁻¹), visando à conservação do material vegetal.

Para a realização dos cortes, foi escolhida de forma aleatória uma folha de cada planta. A outra folha coletada ficou armazenada para possível utilização, caso houvesse problemas na condução das análises anatômicas. Para a realização dos cortes transversais, cortou-se no centro da folha, na nervura principal, um retângulo de aproximadamente 8 mm no sentido transversal e 12 mm no sentido longitudinal da nervura. Esse material foliar foi colocado no centro de um cubo de isopor de aproximadamente 20 x 20 x 20 mm, que foi cortado ao meio até 15 mm para inserção do corte foliar. Estes foram levados para micrótomo de mesa tipo LPC, para a obtenção das secções transversais com auxílio de lâmina de aço

acoplada ao suporte do aparelho. Foram feitos 20 cortes finos que continham todo o limbo.

Para as secções paradérmicas, utilizou-se a mesma folha dos cortes transversais, após a obtenção dos mesmos. Os cortes paradérmicos foram feitos à mão livre com uso de lâmina de aço, sendo obtidos em média 20 cortes.

À medida que os cortes eram obtidos, os mesmos foram colocados em água destilada para evitar desidratação. Após a finalização dos cortes, as secções foram submetidas à clarificação com hipoclorito de sódio 50% (v.v⁻¹) até se tornarem transparentes, então foi realizada a tríplice lavagem, passando os cortes em três placas de Petri com a água destilada. Em seguida, foi feita coloração com solução safrablau (azul de astra 0,1% e safranina 1% na proporção de 7:3) para as secções transversais e safranina 1% para as secções paradérmicas, transferindo as secções para vidro de relógio contendo solução do respectivo corante e água destilada na proporção de 1:1. Então, os cortes foram transferidos para placa de Petri com água destilada. Posteriormente, foram colocados 10 cortes transversais ou paradérmicos em lâmina com glicerol 50% (v.v⁻¹) (KRAUS; ARDUIN, 1997), que foram cobertos com lamínula. Para lutagem das lâminas, foi utilizado esmalte de unha incolor, que foi passado nos bordos da lamínula, montando-se as lâminas semipermanentes.

As lâminas foram observadas e fotografadas por uma câmera digital Canon A630 acoplada a um microscópio óptico modelo Olympus BX 60. Para os cortes transversais, foram feitas seis fotografias em cada lâmina, sendo três focadas na nervura principal e três focadas no limbo foliar, de cortes diferentes, usando-se lente objetiva de 10x. Já para os cortes paradérmicos, tiraram-se três fotos, também de secções diferentes. As fotos obtidas foram posteriormente analisadas em software específico para a análise de imagens UTHSCSA-Imagetool.

As características avaliadas nos cortes transversais foram: espessura da cutícula da face adaxial (μm), espessura da epiderme da face adaxial (μm), espessura do parênquima paliçádico (μm), espessura do parênquima esponjoso (μm), espessura do mesofilo (μm), número de vasos do xilema, diâmetro dos vasos do xilema (μm) e espessura do floema (μm).

Para os cortes paradérmicos, foram contados os números de estômatos por folha e medidos os diâmetros polar (μm) e equatorial (μm), para calcular a densidade estomática (número de estômatos por mm^2) e a funcionalidade estomática (diâmetro polar/diâmetro equatorial dos estômatos).

Para cada uma dessas características mensuradas, com exceção ao número de vasos do xilema e número de estômatos por folha, foram feitas três medições em cada fotografia. Como foram tiradas três fotos por lâmina, ou seja, por folha coletada da parcela, totalizaram-se nove medições por folha, das quais foi feita a média para representar a parcela.

3.3.3 Características de crescimento

O comprimento do ramo plagiotrópico (cm) foi avaliado, com o auxílio de régua graduada, por meio da medição em dois lados da planta em relação à linha de plantio, com três medidas de cada lado da planta (terço inferior, mediano e superior), totalizando seis ramos por planta. Nesses mesmos ramos, foram determinadas as contagens de número de nós.

3.3.4 Incidência de ferrugem

Avaliou-se mensalmente a incidência de ferrugem, por amostragem de folhas, coletadas no terço médio do 3º e 4º par de folhas dos ramos plagiotrópicos, totalizando 100 folhas por parcela no período de dezembro 2015

a março de 2016. As folhas foram levadas para determinação, em laboratório, da incidência da ferrugem. Foi determinada em porcentagem, contando-se o número de folhas com pústulas esporuladas.

3.3.5 Produtividade

A colheita foi efetuada em todas as plantas centrais da parcela, feita a medição em litros de café colhido e estes divididos pelo número de plantas para se obter a produção média (litros.planta⁻¹). Houve extrapolação (litros de café colhidos/parcela) e depois foi realizada a conversão para sacas de 60 kg de café beneficiado/ha, por meio do rendimento real avaliado nos próprios materiais.

Para o cálculo do rendimento, retirou-se uma amostra de quatro litros de café no momento da colheita em cada parcela como proposto por Moraes et al. (2013). Foi realizada a secagem das amostras até 11% de umidade e pesadas após seu beneficiamento. De posse do valor do peso de café beneficiado da amostra de quatro litros, da produção total em litros das plantas úteis da parcela e número de plantas por hectare, calculou-se a produtividade em sacas de 60 kg por hectare.

3.4 Análises estatísticas

Para a estimação dos parâmetros foi ajustado aos dados o seguinte modelo:

$$y_{ij} = \mu + b_j + c_i + e_{ij} \quad \text{com: } e_{ij} \sim N(0, \sigma^2_r)$$

Sendo:

Y_{ij} : valor observado do cultivar i dentro do bloco j na parcela ij ;

μ : uma constante inerente a todas observações;

b_j : efeito do bloco j ;

c_i : efeito da cultivar i ;

e_{ij} : efeito do erro experimental.

As análises estatísticas foram realizadas por meio do software R versão 3.3.1 (R CORE TEAM, 2016) utilizando as funções *aov* () e *summary* () da biblioteca *stats* (R CORE TEAM, 2016) para a execução da análise de variância, e a função *SK* () da biblioteca *ScottKnott* (JELIHOVSCHI; FARIA; ALLAMAN, 2006) para o teste de Scott-Knott nas variáveis respostas que tiveram efeito de algum fator.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo da análise de variância para as características anatômicas, fisiológicas e agronômicas que não apresentaram efeito significativo pelo teste F é apresentado na Tabela 3.

Verificou-se que não houve efeito significativo entre cultivares para as seguintes características: densidade estomática, número de vasos do xilema, diâmetro de vasos do xilema, espessura do floema, espessura da epiderme abaxial, espessura do parênquima paliçádico, número de nós do ramo pagiotrópico, fluorescência da clorofila *a* e teor de clorofila (TABELA 3).

Na Tabela 4, são apresentadas as médias dos caracteres avaliados, destacando-se a inexistência de diferença significativa entre cultivares.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância para densidade estomática (DE), número de vasos do xilema (NVX), diâmetro de vasos do xilema (DVX), espessura do floema (EF), espessura do parênquima paliçádico (EPP), número de nós do ramo plagiotrópico (NNRP), fluorescência da clorofila (F_0) e teor de clorofila (T_{clo}), de 25 cultivares de cafeeiro após a poda de esqueletamento, em Lavras MG. UFLA, 2016.

FV	Quadrado Médio								
	DE	NVX	DVX	EFL	EEAb	EPP	NNP	F_0	T_{clo}
Cultivar	653,3946	544,2922	4,1200	114,1188	6,3416	294,5050	4,5683	0,0032	0,0001
Blocos	463,2308	493,5467	0,0206	107,4576	2,0256	332,1322	0,7800	0,0023	0,0000
Resíduo	431,8013	636,2863	2,8034	76,6225	4,0265	201,6075	3,8166	0,002	0,0001
CV(%)	13,73	19,94	12,34	12,73	15,49	20,94	16,73	7,29	12,27
Média	151,36	126,51	13,57	68,78	12,95	67,82	11,68	0,75	0,07

*: significativo, a 5% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Dados do autor (2016).

Tabela 4 - Médias das cultivares para as características densidade estomática (DE), número de vasos do xilema (NVX), diâmetro de vasos do xilema (DVX), espessura do floema (EFL), espessura da epiderme abaxial (EEAb), espessura do parênquima paliádico (EPP), número de nós do ramo plagiotrópico (NNP), fluorescência da clorofila a (F_0) e teor de clorofila (T_{clo}), de 25 cultivares de cafeeiro após a poda de esqueletamento, em Lavras MG. UFLA, 2016. (Continua)

Cultivar	DE	NVX	DVX	EFL	EEAb	EPP	NNP	F_0	T_{clo}
Catuaí Amarelo 2 SL	161,57 a	127,22 a	13,45 a	64,14 a	12,69 a	72,82 a	11,67 a	0,74 a	0,06 a
Catuaí Amarelo 24/137	166,32 a	125,11 a	15,16 a	74,62 a	12,00 a	69,06 a	12,83 a	0,75 a	0,06 a
Catuaí Amarelo 20/15 cv 479	143,92 a	130,00 a	12,00 a	68,71 a	13,12 a	74,33 a	11,17 a	0,73 a	0,07 a
Catuaí Vermelho 785/15	154,10 a	129,83 a	13,63 a	64,66 a	13,53 a	57,81 a	10,00 a	0,75 a	0,07 a
Catuaí Vermelho 20/15 cv 476	162,93 a	131,56 a	14,01 a	65,57 a	14,62 a	71,82 a	11,83 a	0,75 a	0,07 a
Sabiá 398	153,43 a	138,89 a	13,90 a	68,54 a	13,28 a	69,74 a	12,33 a	0,75 a	0,07 a
Palma II	167,00 a	120,67 a	13,45 a	69,56 a	13,04 a	70,37 a	13,00 a	0,72 a	0,08 a
Acauã	152,07 a	140,89 a	14,34 a	72,40 a	13,39 a	71,86 a	10,33 a	0,75 a	0,06 a
Oeiras MG 6851	152,07 a	130,44 a	13,19 a	69,70 a	12,76 a	66,48 a	11,83 a	0,75 a	0,07 a
Catiguá MG 1	145,96 a	125,50 a	12,45 a	70,91 a	13,32 a	72,26 a	11,67 a	0,77 a	0,07 a
Sacramento MG 1	146,64 a	133,06 a	13,46 a	78,04 a	13,10 a	68,96 a	11,67 a	0,70 a	0,07 a
Catiguá MG 2	148,67 a	117,17 a	13,64 a	71,55 a	13,10 a	69,05 a	12,00 a	0,75 a	0,06 a
Araponga MG 1	151,39 a	131,11 a	13,40 a	71,80 a	15,19 a	66,41 a	11,50 a	0,73 a	0,06 a
Paraíso MG 1	133,74 a	119,17 a	14,10 a	70,09 a	12,50 a	60,75 a	12,00 a	0,68 a	0,06 a
Pau Brasil MG 1	135,77 a	120,28 a	12,27 a	68,98 a	12,98 a	73,25 a	12,67 a	0,76 a	0,07 a
Tupi IAC 1669-33	155,46 a	130,11 a	13,93 a	67,52 a	12,15 a	71,70 a	11,83 a	0,77 a	0,07 a
Obatã IAC 1669-20	160,21 a	126,00 a	13,25 a	66,15 a	12,22 a	79,14 a	12,10 a	0,77 a	0,07 a
Iapar 59	124,23 a	116,39 a	13,90 a	66,09 a	13,53 a	71,40 a	9,33 a	0,74 a	0,06 a
IPR 98	155,46 a	131,11 a	14,13 a	73,00 a	12,64 a	61,97 a	10,67 a	0,76 a	0,07 a
IPR 99	154,78 a	139,78 a	14,62 a	71,86 a	12,73 a	76,12 a	12,00 a	0,74 a	0,07 a

Tabela 4 - Médias das cultivares para as características densidade estomática (DE), número de vasos do xilema (NVX), diâmetro de vasos do xilema (DVX), espessura do floema (EFL), espessura da epiderme abaxial (EEAb), espessura do parênquima paliçádico (EPP), número de nós do ramo plagiotrópico (NNP), fluorescência da clorofila a (F_0) e teor de clorofila (T_{clo}), de 25 cultivares de cafeeiro após a poda de esqueletamento, em Lavras MG. UFLA, 2016. (Conclusão)

4

Cultivar	DE	NVX	DVX	EFL	EEAb	EPP	NNP	F_0	T_{clo}
IPR 103	162,25 a	116,89 a	13,39 a	67,96 a	12,97 a	56,20 a	12,83 a	0,77 a	0,07 a
IPR 104	150,03 a	129,72 a	13,43 a	64,60 a	12,83 a	63,99 a	12,17 a	0,75 a	0,06 a
Catiguá MG 3	143,24 a	125,33 a	14,64 a	73,51 a	12,92 a	69,06 a	11,50 a	0,74 a	0,07 a
Topázio MG 1190	141,88 a	131,94 a	13,88 a	61,48 a	13,91 a	64,01 a	11,33 a	0,79 a	0,07 a
Catuaí Vermelho IAC 144	160,89 a	94,50 a	11,56 a	58,14 a	9,35 a	46,94 a	11,67 a	0,75 a	0,06 a

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2016).

O resumo da análise de variância para as características anatômicas, fisiológicas e agronômicas que apresentaram efeito significativo pelo teste F é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Resumo da análise de variância para funcionalidade estomática (FE), espessura da cutícula (EC), espessura da epiderme adaxial (EEAd), espessura do parênquima esponjoso (EPE), espessura do mesofilo (EM), espessura do limbo (EL), comprimento de ramo plagiotrópico (CRP), taxa fotossintética líquida (TFL), taxa transpiratória (*E*), eficiência no uso da água (EUA), índice de área foliar (IAF), incidência de ferrugem (IF) e produtividade (Prod) de 25 cultivares de cafeeiro após a poda de esqueletamento, em Lavras-MG. UFLA, 2016.

FV	Quadrado Médio												
	FE	EC	EEAd	EPE	EM	EL	CRP	TFL	<i>E</i>	EUA	IAF	IF	Prod
Cultivar	1,29*	0,82*	26,25*	4027,25*	5296,55*	6108,80*	172,95*	11,31*	1,62*	53,20*	0,47*	1894,57*	1836,22*
Blocos	1,36	0,66	2,29	103,12	388,66	605,81	28,48	0,38	0,84	23,71	0,03	97,28	5308,32
Resíduo	0,68	0,32	12,60	1082,32	1657,17	1915,76	82,49	2,29	0,16	5,20	0,13	19,85	179,41
CV(%)	5,14	19,13	15,72	13,70	13,05	12,63	20,74	18,73	33,49	27,41	8,93	31,34	18,96
Média	16,06	2,97	22,59	240,20	312,00	346,50	43,79	8,08	1,23	8,33	4,07	14,22	70,64

*: significativo, a 5% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Dados do autor (2016).

Observa-se, na Tabela 5, que houve efeito significativo entre médias de cultivares para as características funcionalidade estomática, espessura da cutícula, espessura da epiderme adaxial, espessura do parênquima esponjoso, espessura do mesofilo, espessura do limbo, comprimento de ramo plagiotrópico, taxa fotossintética líquida, taxa transpiratória, eficiência no uso da água, índice de área foliar, incidência de ferrugem e produtividade.

Estudos relacionados com as características anatômicas, fisiológicas aliadas à incidência de doenças e produtividade podem explicar melhor o comportamento das plantas frente a estresses sofridos pelas mesmas.

Como pode se observar pelas Tabelas 6, 7 e 8 as cultivares estudadas se comportam diferentemente para características anatômicas, fisiológicas e agronômicas.

Tabela 6 - Médias das cultivares para as características funcionalidade estomática (FE), espessura da cutícula (EC), comprimento de ramo plagiotrópico (CRP), taxa fotossintética líquida (TFL), taxa transpiratória (*E*), eficiência no uso da água (EUA), índice de área foliar (IAF), incidência de ferrugem (IF) e produtividade (Prod), de 25 cultivares de cafeeiro após a poda de esqueletamento, em Lavras-MG. UFLA, 2016. (Continua)

Cultivar	FE	EC	CRP	TFL	<i>E</i>	EUA	IAF	IF	Prod
Catuaí Amarelo 2 SL	1,54 b	2,49 b	49,17 a	10,71 a	0,96 d	11,46 b	4,09 a	43,20 a	72,30 b
Catuaí Amarelo 24/137	1,66 a	2,47 b	54,33 a	8,85 b	0,72 d	12,64 a	4,34 a	38,00 a	67,43 b
Catuaí Amarelo 20/15 cv 479	1,67 a	3,27 a	43,33 b	8,55 b	0,78 d	11,18 b	4,56 a	20,33 c	104,20 a
Catuaí Vermelho 785/15	1,64 a	3,19 a	35,67 b	8,21 b	2,41 b	3,61 c	3,36 b	32,40 b	33,63 d
Catuaí Vermelho 20/15 cv 476	1,54 b	2,80 b	52,33 a	10,07 a	0,83 d	12,41 a	4,59 a	42,13 a	49,87 c
Sabiá 398	1,65 a	2,86 b	51,83 a	7,10 c	0,56 d	13,04 a	4,30 a	21,40 c	66,07 b
Palma II	1,58 b	3,42 a	44,00 b	5,57 c	1,58 c	3,69 c	4,33 a	0,73 d	81,30 b
Acauã	1,63 a	3,00 a	36,83 b	8,77 b	3,37 a	2,95 c	3,99 b	3,07 d	93,43 a
Oeiras MG 6851	1,65 a	3,02 a	42,50 b	9,88 a	1,06 d	10,02 b	3,92 b	36,27 b	69,93 b
Catiguá MG 1	1,58 a	3,01 a	45,50 a	6,96 c	0,82 d	10,00 b	4,16 a	0,00 d	68,60 b
Sacramento MG 1	1,55 b	3,31 a	47,50 a	8,74 b	1,33 c	6,61 c	3,87 b	0,67 d	46,70 c
Catiguá MG 2	1,53 b	2,68 b	45,67 a	10,17 a	1,20 c	9,33 b	3,93 b	0,00 d	77,83 b
Araponga MG 1	1,64 a	2,90 b	40,33 b	8,35 b	0,80 d	10,54 b	3,92 b	3,00 d	96,90 a
Paraíso MG 1	1,62 a	3,53 a	42,33 b	9,86 a	0,94 d	10,61 b	4,07 a	0,13 d	77,63 b
Pau Brasil MG 1	1,65 a	2,94 b	50,17 a	7,85 c	1,76 c	4,30 c	4,11 a	0,00 d	74,93 b
Tupi IAC 1669-33	1,69 a	2,82 b	41,83 b	10,45 a	1,26 c	8,60 b	3,67 b	0,27 d	105,10 a
Obatã IAC 1669-20	1,55 b	3,12 a	41,17 b	5,91 c	1,00 d	5,99 c	4,19 a	1,07 d	56,23 c
Iapar 59	1,59 b	3,74 a	31,67 b	5,60 c	1,48 c	4,59 c	4,02 b	0,00 d	68,63 b
IPR 98	1,66 a	3,19 a	39,00 b	5,98 c	1,17 c	5,34 c	3,99 b	0,00 d	60,50 c
IPR 99	1,61 a	2,62 b	46,33 a	8,05 b	0,97 d	8,97 b	4,34 a	0,00 d	71,50 b
IPR 103	1,62 a	2,77 b	45,30 a	6,97 c	1,65 c	4,41 c	4,18 a	32,00 b	72,23 b
IPR 104	1,64 a	3,11 a	45,33 a	8,19 b	1,86 c	4,80 c	4,38 a	0,00 d	78,93 b
Catiguá MG 3	1,54 b	3,26 a	42,67 b	4,77 c	1,17 c	4,19 c	3,76 b	0,00 d	55,73 c

Tabela 7 - Médias das cultivares para as características funcionalidade estomática (FE), espessura da cutícula (EC), comprimento de ramo plagiotrópico (CRP), taxa fotossintética líquida (TFL), taxa transpiratória (*E*), eficiência no uso da água (EUA), índice de área foliar (IAF), incidência de ferrugem (IF) e produtividade (Prod), de 25 cultivares de cafeeiro após a poda de esqueletamento, em Lavras-MG. UFLA, 2016. (Conclusão)

Cultivar	FE	EC	CRP	TFL	<i>E</i>	EUA	IAF	IF	Prod
Topázio MG 1190	1,60 b	2,68 b	38,33 b	6,82 c	0,45 d	15,79 a	4,22 a	39,47 a	69,70 b
Catuaí Vermelho IAC 144	1,58 b	2,05 b	41,33 b	8,89 b	0,84 d	9,97 b	3,66 b	41,33 a	46,73 c

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2016).

Tabela 8 - Médias das cultivares para as características espessura da epiderme adaxial (EEAd), espessura do parênquima esponjoso (EPE), espessura do mesofilo (EM) e espessura do limbo (EL), de 25 cultivares de cafeeiro após a poda de esqueletamento, em Lavras-MG. UFLA, 2016.

Cultivar	EEAd	EPE	EM	EL
Catucaí Amarelo 2 SL	22,72 a	256,60 a	335,90 a	367,30 a
Catucaí Amarelo 24/137	23,40 a	249,10 a	319,20 a	356,00 a
Catucaí Amarelo 20/15 cv 479	21,83 a	234,00 a	311,00 a	346,60 a
Catucaí Vermelho 785/15	24,85 a	237,90 a	302,10 a	337,30 a
Catucaí Vermelho 20/15 cv 476	22,09 a	247,90 a	326,40 a	359,20 a
Sabiá 398	22,94 a	235,60 a	308,40 a	344,40 a
Palma II	23,74 a	244,00 a	317,70 a	354,60 a
Acauã	22,06 a	226,30 a	302,20 a	336,60 a
Oeiras MG 6851	23,82 a	247,30 a	316,60 a	353,30 a
Catiguá MG 1	23,98 a	238,90 a	310,80 a	351,40 a
Sacramento MG 1	22,73 a	289,80 a	361,00 a	397,90 a
Catiguá MG 2	25,01 a	235,40 a	308,50 a	345,20 a
Araponga MG 1	26,07 a	264,90 a	337,70 a	375,40 a
Paraíso MG 1	22,58 a	215,10 a	287,90 a	314,50 a
Pau Brasil MG 1	21,34 a	271,50 a	348,00 a	382,00 a
Tupi IAC 1669-33	22,29 a	240,20 a	316,00 a	349,20 a
Obatã IAC 1669-20	22,47 a	249,90 a	330,10 a	366,90 a
Iapar 59	22,61 a	233,10 a	307,00 a	344,40 a
IPR 98	22,31 a	234,50 a	303,50 a	334,60 a
IPR 99	20,91 a	237,40 a	322,10 a	349,80 a
IPR 103	21,87 a	276,60 a	330,00 a	370,40 a
IPR 104	23,12 a	238,80 a	309,90 a	341,90 a
Catiguá MG 3	23,58 a	217,60 a	292,80 a	326,40 a
Topázio MG 1190	22,00 a	235,50 a	300,90 a	338,10 a
Catucaí Vermelho IAC 144	14,31 b	147,30 b	194,60 b	219,90 b

As médias seguidas da mesma letra não diferenciam em si, pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Fonte: Dados do autor (2016).

Observa-se, nas Tabelas 6 e 7, que a funcionalidade estomática foi maior para as cultivares Catucaí Amarelo 24/137, Catucaí Amarelo 20/15 cv 479, Catucaí Vermelho 785/15, Sabiá 398, Acauã, Oeiras MG 6851, Catiguá MG 1, Araponga MG 1, Paraíso MG 1, Pau Brasil MG 1, Tupi IAC 1669-33, IPR 98, IPR 99, IPR 103, IPR 104 e inferior para as demais.

Ao avaliar taxa fotossintética líquida (TABELAS 6 e 7), verificou-se superioridade das cultivares Catucaí Amarelo 2 SL, Catucaí Vermelho 20/15 cv 476, Oeiras MG 6851, Catiguá MG 2, Paraíso MG 1 e Tupi IAC 1669-33. Cultivares como Catucaí Amarelo 24/137, Catucaí Amarelo 20/15 cv 479, Catucaí Vermelho 785/15, Acauã, Sacramento MG 1, Araponga MG1, IPR 99, IPR 104 e Catucaí Vermelho IAC 144, mesmo que pertencente ao segundo maior grupo de média da taxa fotossintética, apresentaram valores considerados suficientes/altos para cafeeiros, visto que cafeeiros exibem baixa eficiência fotossintética em relação à maioria das plantas lenhosas (CANNELL, 1985).

A relação entre o diâmetro polar e diâmetro equatorial fornece um bom indicativo do formato dos estômatos, na medida em que quanto maior esta relação, mais elipsoide é o formato estomático e maior a sua funcionalidade que pode estar relacionada à maior absorção de CO₂ e menor perda de água por transpiração com menor abertura estomática (BATISTA et al., 2010; SOUZA et al., 2010). No presente trabalho, essa relação pode ser observada para as cultivares Catucaí Amarelo 24/137, Catucaí Amarelo 20/15 cv 479, Oeiras MG 6851, Araponga MG1, Paraíso MG 1, Tupi IAC 1669-33 e IPR 99 que apresentaram maior funcionalidade estomática, estavam entre os dois grupos com maiores valores de taxa fotossintética e apresentaram menor taxa transpiratória, pertencendo aos dois grupos com maior eficiência do uso da água quando comparadas às demais cultivares (TABELAS 6 e 7). Entretanto, cultivares como Catucaí Vermelho 20/15 cv 476, Sabiá 398 e Topázio MG 1190 apresentaram alta eficiência do uso da água, principalmente em função da baixa taxa transpiratória, não estando necessariamente relacionado aos maiores valores de funcionalidade estomática e taxa fotossintética (TABELAS 6 e 7). Vale ressaltar que as cultivares Catucaí Vermelho 785/15 e Acauã apesar de apresentarem valores médios altos de funcionalidade estomática apresentaram baixa eficiência do uso da água, em razão dos altos valores médios observados

de taxa transpiratória, aliados à alta taxa fotossintética. Esse fato também pode ser observado para as cultivares Pau Brasil MG1, IPR 98, IPR 103 e IPR 104, entretanto, em razão dos baixos valores de taxa fotossintética observados (TABELAS 6 e 7).

Observa-se para a característica espessura da cutícula (TABELAS 6 e 7) que a maioria das cultivares que apresentaram maior espessura desse tecido, obtiveram menor incidência de ferrugem ou ausência dessa doença, sendo elas: Palma II, Acauã, Catiguá MG 1, Sacramento MG 1, Paraíso MG 1, Obatã IAC 1669-20, Iapar 59, IPR 98, IPR 104 e Catiguá MG 3. Esse fato pode estar relacionado à cutícula exercer uma barreira física de proteção à infecção por patógenos (JEYARAMRAJA et al., 2005) impedindo que suas estruturas reprodutivas alcancem o interior da folha. Entretanto, no presente trabalho, determinadas cultivares não apresentaram essa relação entre espessura da cutícula e incidência de ferrugem, demonstrando que, para tais cultivares, a resistência à doença pode não estar relacionada à barreira física, mas química (MARTÍNEZ et al., 2012; SILVA et al., 2008) ou ainda a fatores genéticos.

Trabalho realizado por Pozza e Pozza (2003) verificaram redução de 63,2% do número de lesões de *Cercospora coffeicola* ou de 43% de folhas de cafeeiros doentes, nas plantas tratadas com silício, atribuindo esse fato à cutícula mais espessa com cerosidade epicuticular mais desenvolvida.

Também foi verificado por Pereira et al. (2008) que a cutícula mais espessa com a camada de cera epicuticular mais desenvolvida ocasiona redução do número de folhas lesionadas (incidência) pela ferrugem e cercosporiose do cafeeiro.

Para as características espessura da epiderme adaxial, espessura do parênquima esponjoso, espessura do mesofilo e espessura do limbo, observa-se que a cultivar Catuaí Vermelho IAC 144 apresentou menores valores em comparação às demais (TABELA 8). Essas características podem sofrer

alteração em função, principalmente das condições ambientais às quais as plantas são expostas (BALIZA et al., 2012; GRISI et al., 2008; SOUZA et al., 2007, 2010). Entretanto, como, no presente trabalho, as condições ambientais foram padronizadas para todas as cultivares em estudo, o fato da cultivar Catuaí Vermelho IAC 144 ter apresentado menores valores que as demais deve-se, provavelmente, a essas características serem intrínsecas da cultivar em questão. Vale ressaltar que, no presente trabalho, não foi observada relação entre a espessura da epiderme e a incidência de ferrugem, provavelmente em razão da resistência ao patógeno estar associada a outros fatores que não espessura da parede da célula epidérmica, mas mecanismos correlacionados como composição e estrutura da mesma (SMIRNOVA; KOCHETOVA, 2016).

De maneira geral, observam-se duas possibilidades para justificar os valores observados das características anatômicas no presente trabalho. A primeira pode estar associada à característica que cada cultivar desenvolveu em determinado ambiente; e a segunda relacionada à característica constitutiva de cada cultivar estudada. Para que as hipóteses se confirmem, novo estudo deve ser realizado para efeito de comparação das cultivares em diferentes localidades.

Para a característica comprimento de ramo plagiotrópico, observa-se superioridade dos seguintes cultivares: Catuaí Amarelo 2 SL, Catuaí Amarelo 24/137, Catuaí Vermelho 20/15 cv 476, Sabiá 398, Catiguá MG 1, Sacramento MG 1, Catiguá MG 2, Pau Brasil MG 1, IPR 99, IPR 103 e IPR 104 (TABELAS 6 e 7).

Para Rena e Maestri (1986), existe uma estreita dependência da floração em relação ao crescimento dos ramos e, por consequência, da produção em relação à floração. Fato este também verificado por Miranda, Perecin e Pereira (2005), ao avaliarem as três primeiras colheitas de progênies F5 de cruzamentos entre Catuaí Amarelo e Híbrido de Timor. Carvalho et al. (2010) constataram que características fenotípicas como: número de ramos plagiotrópicos, altura de

plantas e comprimento de ramos plagiotrópicos apresentaram maior correlação com produtividade. Esses resultados não corroboram com os observados neste trabalho, sendo que maiores comprimentos apresentaram baixa relação com as maiores produtividades observadas (TABELAS 6 e 7). Esse fato pode ser decorrente da maioria das cultivares com maior comprimento de ramos plagiotrópicos terem apresentado maior índice de área foliar (TABELAS 6 e 7), indicando um investimento em crescimento vegetativo em detrimento ao reprodutivo. Além disso, as características agronômicas e diferentes origens de cada material estudado pode ter colaborado para o resultado observado.

Determinadas cultivares apresentaram maiores índices de área foliar, sendo Catucaí Amarelo 2 SL, Catucaí Amarelo 24/137, Catucaí Amarelo 20/15 cv 479, Catucaí Vermelho 20/15 cv 476, Sabiá 398, Palma II, Catiguá MG 1, Paraíso MG 1, Pau Brasil MG 1, Obatã IAC 1669-20, IPR 99, IPR 103, IPR 104 e Topázio MG 1190 (TABELAS 6 e 7).

Para a variável produtividade, observa-se a formação de quatro grupos, sendo as cultivares com destaque superior para resposta à poda de esqueletamento: Tupi IAC 1669-33, Catucaí Amarelo 20/15 cv 479, Araponga MG 1 e Acauã; com 105,10; 104,20; 96,20 e 93,43 sacas.ha⁻¹ respectivamente. Embora esses materiais tenham apresentado maiores produtividades, outros, mesmo que pertencente a distinto grupo de acordo com o teste de Scott-Knott, apresentaram produtividades satisfatórias, sendo bem responsivas à poda do tipo esqueletamento, sendo as cultivares Catucaí Amarelo 2 SL, Catucaí Amarelo 24/137, Sabiá 398, Palma II, Oeiras MG 6851, Catiguá MG1, Catiguá MG2, Paraíso MG1, Pau Brasil MG1, Iapar 59, IPR 99, IPR 103, IPR 104 e Topázio MG 1190 (TABELAS 6 e 7).

Verifica-se, nas Tabelas 6 e 7, que alguns materiais obtiveram pouca resposta a esse manejo de poda com produtividade inferior às demais, sendo: IPR 98, Obatã IAC 1669-20, Catiguá MG 3, Catucaí Vermelho 20/15 cv 476,

Catucaí Vermelho IAC 144, Sacramento MG 1 e Catucaí Vermelho 785/15, com produtividades de 60,50; 56,23; 55,73; 49,87; 46,73; 46,70 e 33,63 sacas.ha⁻¹ respectivamente.

A disponibilidade de carbono, proveniente do processo fotossintético, para o crescimento das plantas pode ser aumentada em função do aumento da fotossíntese, dependendo da disponibilidade de nutrientes e da capacidade de crescimento de cada espécie (KIRSCHBAUM, 2011). Os fotoassimilados produzidos durante esse processo podem ser principalmente redirecionados para o crescimento de órgãos reprodutivos como os grãos (DING et al., 2007), refletindo em maior produtividade e/ou à órgãos vegetativos como folhas, caule e raízes (COVRE et al., 2016) refletindo em maior crescimento vegetativo. No presente trabalho, nota-se diferente comportamento de redirecionamento de fotoassimilados nas cultivares que apresentaram alta taxa fotossintética (TABELA 5). De acordo com Covre et al. (2016) o crescimento reprodutivo de plantas de *Coffea canephora* limitou o crescimento vegetativo. Os resultados encontrados no presente trabalho corroboram com essa afirmativa para as cultivares do grupo superior em produtividade, ‘Acauã’, ‘Araponga MG 1’ e ‘Tupi IAC 1669-33’, que apresentaram valores inferiores de características vegetativas como comprimento de ramos plagiotrópicos e índice de área foliar quando comparada às demais cultivares. Com isso, pode-se inferir que essas cultivares podem ser uma boa opção para o sistema safra-zero, no qual são podadas novamente após a colheita, uma vez que, possivelmente, produziriam pouco no ano seguinte, por terem baixo crescimento vegetativo.

A cultivar Catucaí Amarelo 20/15 cv 479, pertencente ao grupo de cultivares superiores em produtividade também obteve valores médios superiores para a característica vegetativa índice de área foliar (TABELAS 6 e 7). Sendo assim, essa cultivar pode ser um material superior para manejo em que

se use sistema de podas programadas ou poda em ciclos mais longos, devido ao alto crescimento vegetativo aliado à produtividade.

Para as cultivares de produtividade inferior: Catucaí Vermelho 785/15, Catucaí Vermelho 20/15 cv 476, Sacramento MG1, Obatã 1669-20, IPR 98, Catiguá MG 3 e Catucaí Vermelho IAC 144, quando compara-se taxa fotossintética líquida com crescimento vegetativo e reprodutivo verifica-se que podem ter predominado o direcionamento de seus fotoassimilados para características vegetativas ou não terem sido fotossinteticamente eficientes para crescimento satisfatório de ambos.

Campostrini e Maestri (1998), realizando estudos comparando fotossíntese e produtividade de cinco genótipos de café (*C. canephora*), observaram que todos os genótipos apresentaram a mesma eficiência do aparelho fotossintético e obtiveram diferentes níveis de produtividade, demonstrando que a diferença entre essas duas variáveis pode não estar correlacionada.

De acordo com Lizaso, Batchelor e Westgate (2003), a área foliar influencia fortemente o crescimento e a produtividade da cultura e a estimativa da mesma é um componente fundamental dos modelos de crescimento da cultura; bem como para previsão de produtividade (POCOCK; EVANS; MEMMOTT, 2010; WHITE et al., 2010). Neste trabalho, os resultados corroboram, em parte, com os observados pelos referidos autores, onde a cultivar Catucaí Amarelo 20/15 cv 479 apresentou valores superiores de índice de área foliar e produtividade, sendo esse parâmetro um bom indicativo para previsão da produtividade dessa cultivar. Já para as cultivares Catucaí Amarelo 2 SL, Catucaí Amarelo 24/137, Catucaí Vermelho 20/15 cv 476, Sabiá 398, Catiguá MG 1, Pau Brasil MG 1, IPR 99, IPR 103 e IPR 104 o índice de área foliar apresentou bom indicativo de crescimento de ramos plagiotrópicos (TABELAS 6 e 7).

No presente trabalho, alguns materiais com alta incidência de ferrugem, apresentaram alto enfolhamento, sendo que a presença de genes de resistência pode ter contribuído para que a folhagem fosse mantida até determinada infecção da doença.

Para a incidência de ferrugem (%), observa-se a formação de quatro grupos. As cultivares Catucaí Amarelo 2SL (43,2%), Catucaí Amarelo 24/137 (38%), Catucaí Vermelho 20/15 cv 476 (42,13%) apresentaram incidência igual aos padrões suscetíveis Topázio MG 1190 (39,47%) e Catuaí Vermelho IAC 144 (41,33%), o que evidencia a quebra de sua resistência por raças fisiológicas do fungo prevalentes na região.

Outras cultivares, também consideradas resistentes, embora não tenham se assemelhado aos padrões suscetíveis, apresentaram alta incidência da doença, sendo: Catucaí Vermelho 785/15 (32,40%), Oeiras MG 6851(36,27%), IPR 103 (32,00%), Sabiá 398 (21,40%) e Catucaí Amarelo 20/15 cv 479 (20,33%).

As cultivares do grupo Catuaí, portadoras somente do gene SH 5, são suscetíveis à doença (CAPUCHO et al., 2007). Assim, algum gene de resistência das cultivares “Catucaí” (“Icatu” x “Catuaí”), diferente do SH 5, foi completamente quebrado por alguma raça de *Hemileia vastatrix* (SERA et al., 2010). A resistência encontrada no “Catucaí”, é proveniente do “Icatu”, pois diferentes níveis de resistência incompleta têm sido frequentemente detectados em plantas do germoplasma Icatu (ESKES; CARVALHO, 1983; ESKES; COSTA, 1983; ESKES et al., 1990; MONACO; CARVALHO, 1975). A resistência incompleta pode ocorrer, em razão dos não “anulamento” completo dos genes SH pelo fungo *Hemileia vastatrix*, e não em razão do genes menores (VÁRZEA et al., 2002). Genes menores, controlando características quantitativas, podem ser genes maiores que foram quebrados por algum patógeno (NELSON, 1978). Os fatores SH promovem resistência completa quando estão em condição homozigótica e são específicos para raças; entretanto,

quando alguns SH são quebrados, pode ocorrer a resistência incompleta ou parcial de cafeeiros (ESKES, 1989).

Há também relatos de ocorrência da quebra de resistência por novas raças em cultivares, antes consideradas resistentes como as originadas do germoplasma Catimor (VÁRZEA et al., 2002). Como exemplo Carvalho (2011) verificou que a cultivar Oeiras MG 6851 lançada como resistente à ferrugem se mostrou altamente suscetível à doença, apresentando alto depauperamento e menores valores de vigor vegetativo.

As demais cultivares avaliadas no presente trabalho não apresentaram incidência de ferrugem ou incidência muito baixa não diferindo entre si, sendo elas derivadas principalmente de cruzamentos com “Híbrido de Timor” (TABELAS 1, 6 e 7). Plantas do “Híbrido de Timor” possuem pelo menos os genes maiores SH 5 a SH 9 (BETTENCOURT; LOPES; PALMA, 1992). Além desses já identificados, é provável que outros genes estejam presentes nesses genótipos (VÁRZEA; MARQUES, 2005), conferindo assim maior resistência aos materiais oriundos desse cruzamento.

Relacionando incidência de ferrugem com produtividade, pode se inferir que, mesmo cultivares que apresentaram alta ou baixa incidência da doença obtiveram produtividades distintas (TABELAS 6 e 7). Esse fato pode ser explicado, em razão de a maioria dos materiais estudados apresentarem genes de resistência à ferrugem do cafeeiro. Sendo assim, a incidência (esporulação do fungo) pode ter ocorrido quando os frutos já estavam com enchimento de grãos satisfatório, não influenciando o índice de área foliar que poderia comprometer a produção de fotoassimilados que se direcionariam para o desenvolvimento do fruto.

Carvalho et al. (2012) verificaram que, dentre cafeeiros resistentes à ferrugem, a cultivar Catucaí Vermelho 785/15 apresentou produtividade inferior de até 44,9% em relação à média de cultivares superiores nos locais estudados.

Este trabalho corrobora com os resultados obtidos no presente estudo, sendo que este material apresentou decréscimo de produtividade de 66% em relação à média do grupo de cultivares superiores. Autores do trabalho supracitado observaram que a cultivar Catucaí Amarelo 20/15 cv 479 apresentou produtividade média nos períodos de 2008/2009 a 2011/2012 de 44,8 sacas.ha⁻¹, estando no grupo das superiores e as cultivares IPR 98 e Catucaí Vermelho 20/15 cv 476, produtividade, com média de 25,6 e 26,7 sacas.ha⁻¹, respectivamente. No presente trabalho, apesar de as cultivares pertencerem ao grupo inferior de produtividade quando comparadas às demais, os valores médios foram superiores ao trabalho de Carvalho et al. (2012), com médias de 49,87 sacas.ha⁻¹ para Catucaí Amarelo 20/15 cv 479 e 60,50 sacas.ha⁻¹ para IPR 98 (TABELAS 6 e 7).

Sera et al. (2010), avaliando a resistência à ferrugem de doze novas cultivares de café desenvolvidas pelo Instituto Agrônômico do Paraná, destacaram a produtividade da cultivar IPR 103, significativamente superior ao do padrão resistente 'Iapar 59'. Essa diferença entre as cultivares não foi observada no presente trabalho, onde ambas apresentaram produtividade satisfatória, pertencendo ao segundo maior grupo para essa característica (TABELAS 6 e 7).

Boas produções de cafeeiros resistentes à ferrugem foram verificadas por Matiello et al. (2007), dentre eles a cultivar 'Tupi IAC 1669-33' no período de 2002 a 2006 com produtividade média de 36,2 sacas.ha⁻¹ e a 'Catucaí Amarelo 20/15 cv 479' no período de 2005 e 2006 com 52,4 sacas.ha⁻¹. Esses resultados corroboram com os encontrados no presente trabalho, onde as mesmas cultivares pertenciam ao grupo superior em produtividade. Os mesmos autores também verificaram produção superior da cultivar 'Catucaí Vermelho 20/15 cv 476', entretanto, no atual trabalho, essa cultivar estava pertencente ao grupo inferior em produtividade quando comparada às demais. Esses resultados

podem estar relacionados à capacidade de rebrota após a poda e o vigor vegetativo das cultivares avaliadas no presente trabalho. Carvalho et al. (2012), ao avaliarem o vigor vegetativo de cultivares resistentes à ferrugem verificaram que a ‘Catucaí Vermelho 20/15 cv 476’, ‘Catucaí Vermelho 785/15’ apresentaram menor vigor vegetativo que cultivares do grupo superior, estando entre elas a ‘Araponga MG 1’ e ‘Acauã’ em três regiões do estado de Minas Gerais. Esses resultados corroboram com os encontrados no presente trabalho.

5 CONCLUSÕES

Cultivares como Catucaí Amarelo 20/15 cv 479, Araponga MG1 e Tupi IAC 1669-33 mostram-se altamente responsivas à poda de esqueletamento por apresentarem alta produtividade aliada à alta funcionalidade estomática, taxa fotossintética, eficiência do uso da água e baixa taxa transpiratória. Além disso, as duas últimas cultivares apresentam baixa incidência de ferrugem. Já a cultivar Acauã apresenta boa resposta à realização dessa poda, por apresentar alta produtividade associada à maior espessura da cutícula e menor incidência da doença.

A cultivar Catucaí Vermelho 785/15 não é responsiva à poda tipo esqueletamento, por apresentar menor produtividade, além de alta incidência de ferrugem, baixo crescimento vegetativo e baixa eficiência do uso da água.

REFERÊNCIAS

- ABRAMS, M. D. et al. Relating wet and dry year ecophysiology to leaf structure in contrasting temperate tree species. **Ecology**, Washington, v. 75, n. 1, p. 123-133, Jan. 1994.
- ALQUINI, Y. et al. Epiderme. In: APEZZATODA-GLÓRIA, B.; GUERREIRO, S. M. C. (Ed.). **Anatomia vegetal**. 2. ed. Viçosa: Editora da UFV, 2006. p. 88-90.
- ANTHONY, F. et al. The origin of cultivated *Coffea arabica* L. varieties revealed by AFLP and SSR markers. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 104, n. 5, p. 894-900, Apr. 2002.
- ASSAD, E. D. et al. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, nov. 2004.
- BALIZA, D. P. **Cafeeiros em formação e produção em diferentes níveis de radiação: características morfofisiológicas**. 2011. 97 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) -Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.
- BALIZA, D. P. et al. Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 3, p. 250-258, nov./dez. 2012.
- BALIZA, D. P. et al. Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 3, p. 250-258, set./dez. 2012.
- BARBOSA, J. P. R. A. D. et al. Estimativa do IAF de cafeeiro a partir do volume de folhas e arquitetura da planta. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 3, p. 267-274, set./dez. 2012.
- BARROS, U. V. et al. Comparação entre o custo da colheita tradicional e o custo da colheita com esqueletamento simultâneo. **Coffea: revista brasileira de tecnologia cafeeira**, Varginha, v. 1, n. 4, p. 7-8, nov./dez. 2004.
- BATISTA, L. A. et al. Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 475-481, jul./set. 2010.

BETTENCOURT, A. J.; CARVALHO, A. Melhoria visando à resistência do cafeeiro a ferrugem. **Bragantia**, Campinas, v. 27, n. 4, p. 35-68, fev. 1968.

BETTENCOURT, A. J.; LOPES, J.; PALMA, S. Factores genéticos que condicionam a resistência às raças de *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. dos clones-tipo dos grupos 1, 2 e 3 de derivados de Híbrido de Timor. **Brotéria Genética**, Oeiras, v. 13, n. 80, p. 185-194, 1992.

BOARDMAN, N. K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 28, n. 1, p. 355-377, June 1977.

BOCK, K. R. Seasonal periodicity of coffee leaf rust and factors affecting the severity of outbreaks in Kenya colony. **Transactions of the British Mycological Society**, Cambridge, v. 45, n. 3, p. 279-300, June 1962.

BRODRIBB, T. J. et al. Leaf hydraulic capacity in ferns, conifers and angiosperms: impacts on photosynthetic maxima. **New Phytologist**, Lancaster, v. 165, n. 3, p. 839-846, Mar. 2005.

CAIXETA, G. Z. T. et al. Gerenciamento como forma de garantir a competitividade da cafeicultura. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 29, n. 247, p. 14-23, nov./dez. 2008.

CAMAYO-VÉLEZ, G. C. et al. Desarrollo floral del cafeto y su relación con las condiciones climáticas de Chinchiná. **Cenicafé**, Chinchiná, v. 54, n. 1, p. 35-49, Jan./Mar. 2003.

CAMPOSTRINI, E.; MAESTRI, M. Photosynthetic potential of five genotypes of *Coffea Canephora* Pierre. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 10, n. 1, p. 13-18, jan./mar. 1998.

CANNELL, M. G. R. Physiology of coffee crop. In: CLIFFORD, M. N.; WILLSON, K. C. (Ed.). **Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage**. London: Croom Helm, 1985. p. 108-134.

CAPUCHO, A. S. et al. Avaliação da resistência de cultivares de café à raça II de *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., 2007, Águas de Lindóia. Anais... Águas de Lindóia: Embrapa Café, 2007. 1 CD-ROM.

CARVALHO, A. M. de. **Desempenho agrônômico de cultivares de cafeeiro resistentes a ferrugem**. 2011. 89 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

CARVALHO, A. M. et al. Correlação entre crescimento e produtividade de cultivares de café em diferentes regiões de Minas Gerais, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 3, p. 269-275, mar. 2010.

CARVALHO, A. M. et al. Desempenho agrônômico de cultivares de café resistentes à ferrugem no Estado de Minas Gerais, Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p. 481-487, dez. 2012.

CARVALHO, A.; FAZUOLI, L. C.; COSTA, W. M. Melhoramento do cafeeiro: produtividade do Híbrido Timor, de seus derivados e outras fontes de resistência a *Hemileia vastatrix*. **Bragantia**, Campinas, v. 48, n. 1, p. 73-86, maio 1989.

CARVALHO, C. H. M. de et al. Relação entre produção, teores de N, P, K, Ca, Mg, amido e a seca de ramos do Catimor (*Coffea arabica* L.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 6, p. 665-673, jun. 1993.

CARVALHO, C. H. S. de. **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília: Embrapa, 2008. 334 p.

CARVALHO, G. R. et al. Comportamento de progênies F4 de cafeeiros arábica, antes e após a poda tipo esqueletamento. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 33-42, jan./mar. 2013.

CARVALHO, G. R. et al. Avaliação de produtividade de progênies de cafeeiro em dois sistemas de plantio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 838-843, set./out. 2006.

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

CHALFOUN, S. M.; LIMA, R. D. de. Influência do clima sobre a incidência de doenças infecciosas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 138, p. 31-36, jun. 1986.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB.
Levantamentos de Safra: 2º levantamento da safra café: safra 2016. Brasília: CONAB, 2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&>>. Acesso em: 25 de jul. de 2016.

CROVE, A. M. et al. Vegetative growth of Conilon coffee plants under two water conditions in the Atlantic region of Bahia State, Brazil. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 38, n. 4, p. 535-545, out./dez. 2016.

CUI, M. et al. Chlorophyll and gradients in sun and shade leaves of *Spinacia oleracea*. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 14, n. 5, p. 493-500, June 1991.

CUNHA, R. L. et al. Efeito da época, altura de poda e adubação foliar na recuperação de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) depauperados. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 1, p. 222-226, jan./fev. 1999.

DAMATTA, F. M. et al. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Piracicaba, v. 19, n. 4, p. 485-510, Nov. 2007.

DEDECCA, D. M. Anatomia e desenvolvimento ontogenético de *Coffea arabica* L. var. *typica* Cramer. **Bragantia**, Campinas, v. 16, n. 23, p. 315-366, dez. 1957a.

DEDECCA, D. M. Aspectos anatômicos da variação na folha do cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 16, n. 27, p. 389-411, dez. 1957b.

DIAS, P. C. et al. Crescimento e alocação de biomassa em duas progênes de café submetidas a déficit hídrico moderado. In: SIMPOSIO DE PESQUISA DOS CAFES DO BRASIL, 4., 2005, Londrina. **Resumos Expandidos...** Brasília: Embrapa Café, 2005.

DING, L. et al. Photosynthetic rate and yield formation in different maize hybrids. **Biologia Plantarum**, Prague, v. 51, n. 1, p. 165-168, Jan. 2007.

ESKES, A. B. et al. Race-specificity and inheritance of incomplete resistance coffee leaf rust in some Icatu coffee progenies and derivatives of Híbrido de Timor. **Euphytica**, Wageningen, v. 47, n. 1, p. 11-19, Apr. 1990.

ESKES, A. B. Resistance. In: KUSHALAPPA, A. C.; ESKES, A. B. (Ed.). **Coffee rust: epidemiology, resistance and management**. Boca Raton: CRC Press, 1989. Cap. 6, p. 171-292.

ESKES, A. B.; CARVALHO, A. Variation for incomplete resistance to *Hemileia vastatrix* in *Coffea arabica*. **Euphytica**, Wageningen, v. 32, n. 2, p. 625-637, June 1983.

ESKES, A. B.; COSTA, W. M. Characterization of incomplete resistance to *Hemileia vastatrix* in the Icatu coffee population. **Euphytica**, Wageningen, v. 32, n. 2, p. 649-657, June 1983.

FAZUOLI, L. C. et al. Identification and use of sources of durable resistance to coffee leaf rust at the IAC. In: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; VÁRZEA, V. M. P. (Ed.). **Durable resistance to coffee leaf rust**. Viçosa: Editora da UFV, 2005. p. 137-185.

FERREIRA, F. A. **Patologia florestal: principais doenças florestais do Brasil**. Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, 1989. 570 p.

FRANÇA, C. G.; DEL GROSSI, M. E.; MARQUES, V. P. M. A. **Censo agropecuário 2006 e a agricultura familiar no Brasil**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2009. 96 p.

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.

GONÇALVES, J. C. **Fechamento e poda dos cafezais**. Campinas: CATE, 1970. 30 p.

GRISI, F. A. et al. Avaliações anatômicas foliares em mudas de café 'catuaí' e 'siriema' submetidas ao estresse hídrico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1730-1736, nov./dez. 2008.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 289-302. 359 p.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. **Statistics: historical data on the global coffee trade**. London: ICO, 2015. Disponível em: <http://www.ico.org/new_historical.asp?section=Statistics>. Acesso em: 8 maio 2015.

IVOGLO, M. G. et al. Divergência genética entre progênies de café robusta. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 823-831, out./dez. 2008.

JAPIASSÚ, L. B. et al. Ciclos de poda e adubação nitrogenada em lavouras cafeeiras conduzidas no Sistema " Safr Zero". **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 1, p. 28-37, jan./abr. 2010.

JELIHOVSCHI, E. G.; FARIA, J. C.; ALLAMAN, I. B. ScottKnott: a package for performing the scott-knott clustering algorithm in R. **Trends in Applied and Computational Mathematics**, São Carlos, v. 15, n. 1, p. 3-17, jan./abr. 2006.

JEYARAMRAJA, P. R. et al. Certain factors associated with blister blight resistance in *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 65, n. 6, p. 291-295, Dec. 2005.

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

KIRSCHBAUM, M. U. F. Does enhanced photosynthesis enhance growth? Lessons learned from CO₂ enrichment studies. **Plant Physiology**, Brentwood, v. 155, n. 1, p. 117-124, Jan. 2011.

KRAUS, J. E.; ARDUIM, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Seropédica: Edur, 1997. 198 p.

LEE, D. W. et al. Effects of irradiance and spectral quality on leaf structure and function in seedlings of two southeast Asian Hopea (Dipterocarpaceae) species. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 87, n. 4, p. 447-455, Apr. 2000.

LIVRAMENTO, D. E. et al. Influência da produção nos níveis de carboidratos e recuperação de cafeeiros após a recepagem. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 50, n. 292, p. 737-752, 2003.

LIVRAMENTO, D. E. et al. Influência da produção nos teores de carboidratos e na recuperação de cafeeiros (*Coffea arábica* L.) após "colheita". In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS CAFEEIRAS DO SUL DE MINAS, 3., 2002, Lavras. **Trabalhos Apresentados...** Lavras: Editora da UFLA, 2002. p. 156-160.

LIZASO, J. L.; BATCHELOR, W. D.; WESTGATE, M. E. A leaf area model to simulate cultivar-specific expansion and senescence of maize leaves. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 80, n. 1, p. 1-17, Jan. 2003.

LOURENÇO, H. A. O. et al. Anatomia foliar de diferentes cultivares de soja e sua relação com incidência e severidade de doenças. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 4, n. 3, p. 37-47, set./dez. 2011.

MARIOTTO, P. R. et al. Estudos sobre o controle químico da ferrugem do cafeeiro, *Hemileia vastatrix* e seus efeitos na produção, nas condições do Estado de São Paulo. **O Biológico**, São Paulo, v. 45, n. 910, p. 165-174, 1979.

MARTÍNEZ, C. P. et al. In vitro production of two chitinolytic proteins with an inhibiting effect on the insect coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae) and the fungus *Hemileia vastatrix* the most limiting pests of coffee crops. **AMB Express**, London, n. 1, p. 2-22, Mar. 2012.

MATIELLO, J. B. et al. **A moderna cafeicultura nos cerrados**. Rio de Janeiro: IBC, 1987. 148 p.

MATIELLO, J. B. et al. Comportamento de progênies de café com resistência a ferrugem-do-cafeeiro no Sul do Estado de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., 2007, Águas de Lindoia. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2007. 5 p.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA/PRCAFE, 2002. 542 p.

MATIELLO, J. B. et al. Influência do ciclo bienal no custo de produção de café: comparativo em lavouras de arábicas e robusta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 29., 2003, Araxá. **Anais...** Rio de Janeiro: MAPA, 2003. p. 24-25.

MATIELLO, J. B. **O café do cultivo ao consumo**. São Paulo: Globo, 1991. 319 p.

MATIELLO, J. B.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R. A poda em cafezais. **Coffea**, Varginha, v. 4, n. 11, p. 1-40, jan./abr. 2007.

MEDEIROS, R. B. de; FERREIRA, M. A. S. V.; DIANESE, J. C. **Mecanismos de agressão e defesa nas interações planta-patógeno**. Brasília: Editora da UnB, 2003. 290 p.

MEDINA FILHO, H. P.; BORDIGNON, R.; CARVALHO, C. H. S. de. Desenvolvimento de novas cultivares de café arábica. In: CARVALHO, C. H. S.

de. (Ed.). **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília: Embrapa Café, 2008. p. 79-101.

MENDES, A. N. G. et al. Métodos de avaliação de progênies de *Coffea arábica*, cultivar Catuaí. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 20, n. 3, p. 315-322, jul./set. 1996.

MENDES, A. N. G. et al. **Recomendações técnicas para a cultura do cafeeiro no Sul de Minas**. Lavras: Editora da UFLA, 1995. 76 p.

MIGUEL, A. E.; MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S. R. Espaçamento e condução do cafeeiro. IN: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A PESQUISA POTASSA E DO FOSFATO. **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafos, 1986. p. 303-322.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Café: saiba mais**. Brasília: Ministério da Agricultura, 2015. Disponível em:
<<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cafe/saiba-mais>>. Acesso em: 17 nov. 2015.

MIRANDA, J. M.; PERECIN, D.; PEREIRA, A. A. Produtividade e resistência à ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk. Et. Br.) de progênies F5 de Catuaí Amarelo com o Híbrido de Timor. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 6, p. 1195-1200, nov./dez. 2005.

MONACO, L. C.; CARVALHO, A. Resistência a *Hemileia vastatrix* no melhoramento do cafeeiro. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 27, n. 10, p. 1070-1081, 1975.

MORAES, B. F. X. de. **Tamanho de parcela e de amostra na avaliação de produtividade de grãos de café arábica**. 2013. 97 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

MORAES, S. A. et al. Resistência de cafeeiros à *Pseudomonas garcae*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 2., 1974, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: SBC, 1974. p. 183. p. 105-110.

NASCIMENTO, E. A. 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.

NELSON, R. R. Genetics of horizontal resistance to plant diseases. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 16, p. 359- 378, Sept. 1978.

PEREIRA, C. S. et al. Controle da cercosporiose e da ferrugem do cafeeiro com extrato etanólico de própolis. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 55, n. 5, p. 369-376, set./out. 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**, Oxford, v. 96, n. 1, p. 101-108, May 2005.

POCOCK, M. J.; EVANS, D. M.; MEMMOTT, J. The impact of farm management on species-specific leaf area index (LAI): farm-scale data and predictive models. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 135, n. 4, p. 279-287, Feb. 2010.

POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A. Manejo de doenças de plantas com macro e micronutrientes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 34., 2003, Uberlândia. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Fitopatologia, 2003. v. 28, p. 52-53.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B. et al. Eficiência da poda em cafeeiros no controle da *Xylella fastidiosa*. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 3, p. 433-440, jul./set. 2006.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2016. 3501 p. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 8 ago. 2016.

RAMOS, S. R. R.; QUEIROZ, M. A. Caracterização morfológica: experiência do BAG de cucurbitáceas da Embrapa Semi-Árido, com acessos de abóbora e moranga. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 17, p. 9-12, dez. 1999. Suplemento.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A. B. et al. **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1986. p. 13-85.

SACK, L.; HOLBROOK, N. M. Leaf hydraulics. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 57, n. 1, p. 361-381, June 2006.

SANTOS, J. C. F. Execução de desbrota e poda do cafeeiro. **Agronline**, Curitiba, 2009. Disponível em: <<http://www.agronline.com.br/artigos/artigo.php?id=342&pg=2&n=2>>. Acesso em: 28 mar. 2009.

SERA, G. H. et al. Resistência à ferrugem alaranjada em cultivares de café. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, p. 59-66, jan./abr. 2010.

SEVERINO, L. S. et al. Associações da produtividade com outras características agrônômicas de café (*Coffea arabica* L. Catimor). **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1467-1471, out. 2002.

SEVERINO, L. S. et al. Seleção de progênies de Catimor (*Coffea arabica* L.) em Martins Soares. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA CAFES DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumos Expandidos...** Brasília: Embrapa, 2000. v. 1, p. 522-526.

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

SILVA, M. C. et al. Involvement of peroxidases in the coffee resistance to orange rust (*Hemileia vastatrix*). **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 72, n. 1/3, p. 29-38, Jan./Mar. 2008.

SILVA, V. A. et al. Resposta fisiológica de clone de café Conilon sensível à deficiência hídrica enxertado em porta-enxerto tolerante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 5, p. 457-464, maio 2010.

SMIRNOVA, O. G.; KOCHETOV, A. V. Plant cellwall and mechanisms of resistance to pathogens. **Russian Journal of Genetics**, Moscow, v. 6, n. 5, p. 622-631, July 2016.

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. et al. Leaf plasticity in successive selection cycles of 'Saracura' maize in response to soil flooding. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 1, p. 16-24, Jan. 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 2. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 1998. 792 p.

THOMAZIELLO, R. A. et al. **Café arábica**: cultura e técnicas de produção. Campinas: Instituto Agronômico, 2000. 82 p. (Boletim Técnico, 187).

THOMAZIELLO, R. A.; PEREIRA, S. P. **Poda e consuação do cafeeiro arábica**. Campinas: IAC, 2008. 39 p.

VARZEA, V. M. P. et al. Resistência do cafeeiro a *Hemileia vastatrix*. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. 4. ed. Viçosa: Editora da UFV, 2002. p. 297-320.

VARZEA, V. M. P.; MARQUES, D. V. Population variability of *Hemileia vastatrix* vs. coffee durable resistance. In: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; VÁRZEA, V. M. P. (Ed.). **Durable resistance to coffee leaf rust**. Viçosa: Editora da UFV, 2005. p. 53-74.

VIANA, M. T. R. **Anatomia foliar de acessos de café resistentes à ferrugem do banco de germoplasma de Minas Gerais**. 2015. 66 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

WHITE, D. et al. Observed and modified leaf area index in *Eucalyptus globulus* plantations: test of optimality and equilibrium hypotheses. **Tree Physiology**, Oxford, v. 30, n. 7, p. 831-844, May 2010.

ZAMBOLIM, L. et al. Resistência genética e componentes de resistência de linhagens de Catimor em gerações F6 e F7 à raças de *Hemileia vastatrix*-BERK. et Br. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA CAFES DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumos Expandidos...** Brasília: Embrapa, 2000. v. 1, p. 507-514.

ZAMBOLIM, L.; MARTINS, M. C. del P.; CHAVES, G. M. Café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 131, p. 64-75, nov. 1985.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R. Estratégias múltiplas no manejo integrado de doenças do cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 1, p. 137-153, jan./fev. 2003.

ZHOU, Y. M.; HAN, S. J. Photosynthetic response and stomatal behaviour of *Pinus koraiensis* during the fourth year of exposure to elevated CO₂ concentration. **Photosynthetica**, Amsterdam, v. 43, n. 3, p. 445-449, Sept. 2005.

ZHU, J.; TREMBLAY, N.; LIANG, Y. Comparing SPAD and atLEAF values for chlorophyll assessment in crop species. **Canadian Journal of Soil Science**, Canadá, v. 92, n. 4, p. 645-648, May 2012.