



ANDRÉ MORAES REIS

**CARACTERIZAÇÃO MORFOFISIOLÓGICA DE
GENÓTIPOS DE *Coffea arabica* SOB DÉFICIT
HÍDRICO**

LAVRAS - MG

2014

ANDRÉ MORAES REIS

**CARACTERIZAÇÃO MORFOFISIOLÓGICA DE GENÓTIPOS DE
Coffea arabica SOB DÉFICIT HÍDRICO**

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.

Orientador

Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes

Coorientadora

Dra. Vânia Aparecida Silva

LAVRAS - MG

2014

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Reis, André Moraes.

Caracterização morfofisiológica de genótipos de *Coffea arabica*
sob déficit hídrico / André Moraes Reis. – Lavras : UFLA, 2014.
51 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.
Orientador: Antônio Nazareno Guimarães Mendes.
Bibliografia.

1. Café. 2. Fisiologia vegetal. 3. Café - Anatomia. 4.
Melhoramento genético. I. Universidade Federal de Lavras. II.
Título.

CDD – 633.73

ANDRÉ MORAES REIS

**CARACTERIZAÇÃO MORFOFISIOLÓGICA DE GENÓTIPOS DE
Coffea arabica SOB DÉFICIT HÍDRICO**

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.

APROVADO em 28 de fevereiro de 2014.

Dra. Vânia Aparecida Silva EPAMIG

Dr. Evaristo Mauro de Castro UFLA

Dr. Carlos Henrique Siqueira de Carvalho EMBRAPA

Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes
Orientador

LAVRAS - MG

2014

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus.

Agradeço aos meus pais e irmãos pelo apoio, carinho e incentivo.

Agradeço a minha namorada, Lorena, pelo carinho e companheirismo.

Agradeço à Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Agricultura.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu orientador, Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes, por toda atenção e apoio.

A pesquisadora, Dra. Vânia Aparecida Silva, pela oportunidade e orientação.

Ao professor Dr. João Paulo R. A. D. Barbosa pelas sugestões e ensinamentos.

Ao professor Dr. Evaristo Mauro de Castro pela ajuda e por disponibilizar o Laboratório de Anatomia.

Ao funcionário Valter, da subestação EPAMIG/Lavras, por ajudar no andamento do experimento.

Aos membros da banca examinadora, pela disponibilidade.

Aos bolsistas e colegas Diego, Alan, Felipe, Thiago, Alessandro e Simone, pela ajuda na coleta de dados.

A Janaine e a Tainah, pela ajuda e paciência para fazer os cortes anatômicos.

Agradeço aos meus amigos de república, pela amizade sincera.

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

Minha gratidão!

RESUMO

Previsões climáticas sinalizam para o aquecimento global e um aumento dos períodos de seca. Diante desse cenário, a identificação de genótipos mais tolerantes ao déficit hídrico é foco no programa de melhoramento genético do cafeeiro da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi identificar e caracterizar genótipos de café arábica com potencial de manutenção do *status* hídrico sob déficit hídrico na fase de muda por meio da avaliação de características fisiológicas e anatômicas. Para tanto, mudas de quinze genótipos foram cultivadas em vasos e em casa de vegetação. Ao atingirem seis meses, após o transplante para o vaso, metade das plantas continuou a ser irrigada constantemente enquanto a outra metade foi submetida ao déficit hídrico, imposta pela suspensão da irrigação até que as plantas atingissem potencial hídrico antimanhã (Ψ_{am}) de -3,0 MPa. Foram realizadas medições de crescimento, potencial hídrico da folha, trocas gasosas, fluorescência e teor de clorofila e avaliações anatômicas. Os resultados mostram que a cultivar Catuaí Vermelho IAC-144, e as progênies Siriema 24, 7 e 12 tiveram características fisiológicas e anatômicas que contribuíram para uma melhor manutenção do *status* hídrico na fase de muda. Dentre estas características podemos destacar uma maior sensibilidade estomática, maior eficiência no uso da água e maior densidade estomática. A boa manutenção do *status* hídrico da progênie 11 deve estar relacionada a características anatômicas, pois este genótipo apresentou uma cutícula mais espessa e uma alta densidade estomática. As progênies 3, 5 e 16, que não apresentaram uma boa manutenção do *status* hídrico na fase de muda, apresentaram menor sensibilidade estomática e menor eficiência no uso da água. Este comportamento deve estar relacionado à menor espessura da cutícula da progênie 3 e a menor densidade estomática das progênies 5 e 16.

Palavras-chave: Cafeeiro. Déficit hídrico. Fisiologia vegetal. Anatomia. Melhoramento genético.

ABSTRACT

Climate previsions signal global warming and an increase in dry periods. With this scenery, the identification of genotyped more tolerant to water deficit is the focus of the coffee genetic breeding program of the Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG. In this context, the objective of this work was to identify and characterize *Coffea arabica* genotypes with the potential of maintaining water status under water deficit during the seedling phase, by means of evaluating physiological and anatomical traits. In order to do this, seedling of 15 genotypes were cultivated in pots under greenhouse conditions. At reaching six months, after the transplantation to the pots, half of the plants continued to be constantly irrigated, while the other half was submitted to water deficit, imposed by irrigation suspension until the plants reached predawn water potential (Ψ_{am}) of -3.0MPa. We performed growth, leaf water potential, gas exchange, fluorescence and chlorophyll content measurements as well as anatomical evaluations. The results showed that the Catuai Vermelho IAC-144 cultivar and the Siriema 24, 7 and 12 progenies, presented physiological and anatomical traits which contributed to a better maintenance of the water status in the seedling phase. Among these traits, we can highlight higher stomata sensitivity, higher water use efficiency and higher stomata density. The good maintenance of the water status of progeny 11 must be related to the anatomical traits, since this genotype presented a thicker cuticle and higher stomata density. Progenies 3, 5 and 16, which did not present good water status maintenance in the seedling phase, presented less stomata sensitivity and lower water use efficiency. This behavior must be related to the less thick cuticle of progeny 3 and the lower stomata density of progenies 5 and 16.

Keywords: Coffee plant. Water deficit. Plant physiology. Anatomy. Breeding.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Secção transversal de folha de <i>Coffea arabica</i>	25
Figura 2	Secção transversal da nervura de folha de <i>Coffea arabica</i>	25
Figura 3	Secção paradérmico da face abaxial de folha de <i>Coffea arabica</i>	25
Figura 4	Efeito do déficit hídrico na fotossíntese (A), condutância estomática (B) e transpiração (C) de quinze genótipos de café arábica	36
Figura 5	Efeito do déficit hídrico na eficiência do uso da água (A) e eficiência do uso do carbono (B) de quinze genótipos de café arábica	39
Figura 6	Efeito do déficit hídrico na eficiência fotoquímica máxima (A), eficiência fotoquímica mínima (B) e teor de clorofilas (C) de quinze genótipos de café arábica	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Genótipos avaliados no experimento com a respectiva identificação, genealogia, grupo e origem.....	21
Tabela 2	Média do comprimento da raiz (CR), massa seca da raiz (MR), massa seca da parte aérea (MPA), massa seca total (MT), razão entre massa seca da raiz e massa seca da parte aérea (MR/MPA) e razão entre massa seca da raiz e área foliar (MR/AF) das plantas irrigadas (controle) e não irrigadas (sequeiro).....	27
Tabela 3	Média da área foliar (AF), altura de planta (H), diâmetro de caule (DC), comprimento e número de ramos plagiotrópicos (CPL e NPL) e ângulo de inserção do ramo plagiotrópico com o ortotrópico (ÂPL) dos genótipos no momento da imposição do déficit hídrico.....	29
Tabela 4	Média do comprimento da raiz (CR), massa seca da raiz (MR), massa seca da parte aérea (MPA), massa seca total (MT), razão entre massa seca da raiz e massa seca da parte aérea (MR/MPA) e razão entre massa seca da raiz e área foliar (MR/AF) dos genótipos ao final do experimento	30

Tabela 5	Correlação entre as características altura (H), diâmetro do caule (DC), número de ramos plagiotrópicos (NPL), comprimento do ramo plagiotrópico (CPL), massa seca raiz (MR), massa seca parte aérea (MPA), massa seca total (MT), razão entre massa seca raiz e massa seca parte aérea (R/PA), razão entre massa seca raiz e área foliar (R/AF), angulo de inserção do ramo plagiotrópico com o ortotrópico (ANG), área foliar (AF), dias para atingir o potencial hídrico máximo de -3 MPa (3MPa)32	32
Tabela 6	Médias do potencial hídrico aos 7, 14 e 18 dias sem irrigação (DSI) e média de dias para atingir -3 MPa dos genótipos avaliados dentro dos grupos 1, 2 e 334	34
Tabela 7	Média da espessura (em μm) da cutícula adaxial (CTA), epiderme adaxial (EAD), epiderme abaxial (EAB), parênquima paliçádico (PPA), parênquima esponjoso (PES), limbo foliar (LIM) e porcentagem do mesofilo representada pelo parênquima paliçádico (%PPA) dos genótipos avaliados43	43
Tabela 8	Média do número de vasos de xilema (XIL), espessura (em μm) do floema (FLO), diâmetro (em μm) do xilema (DXIL), diâmetro polar/diâmetro equatorial dos estômatos (DP/DE) e densidade estomática (DEN) ($\text{n}^\circ/\text{mm}^2$)44	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	O cafeeiro e as mudanças climáticas	13
2.2	Características fisiológicas da tolerância do cafeeiro à seca	15
2.3	Características anatômicas da tolerância do cafeeiro à seca	17
3	MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1	Material vegetal e condições experimentais	20
3.2	Imposição do déficit hídrico	21
3.3	Parâmetros biométricos e matéria seca	22
3.4	Estado hídrico das plantas	22
3.5	Trocas gasosas	22
3.6	Fluorescência e teor de clorofila	23
3.7	Anatomia foliar	24
3.8	Análise de dados	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1	Parâmetros biométricos e matéria seca	27
4.2	Correlação de Pearson	30
4.3	Estado hídrico das plantas	33
4.4	Trocas gasosas	35
4.5	Fluorescência e teor de clorofilas	40
4.6	Anatomia	42
5	CONCLUSÃO	45
	REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

Previsões climáticas sinalizam para o aumento do aquecimento global nas próximas décadas, o qual poderá ser acompanhado por um aumento dos períodos de seca. Nesse sentido, o agronegócio do café tem recebido destaque como um dos setores mais vulneráveis às alterações climáticas na agricultura brasileira, devido à elevada sensibilidade da produção à variabilidade da temperatura e precipitação, acrescida do volume econômico circulado pela atividade.

O desenvolvimento de cultivares mais tolerantes a períodos de déficit hídrico, bem como o desenvolvimento de tecnologias que auxiliem as plantas a tolerar períodos prolongados de estiagem, serão essenciais na manutenção da produção agrícola brasileira e mundial. Além disso, como a água para a irrigação pode se tornar extremamente escassa no futuro próximo, qualquer iniciativa em manter a produtividade sem a utilização dos recursos hídricos é importante do ponto de vista econômico e ambiental.

Uma forma de auxiliar o desenvolvimento de cultivares de café arábica mais tolerantes ao déficit hídrico é compreender os efeitos da duração e da intensidade do déficit hídrico sobre o comportamento de diferentes genótipos de café arábica através de estudos fisiológicos e anatômicos que busquem verificar os mecanismos biológicos envolvidos na resposta do cafeeiro arábica às limitações hídricas. Tendo em vista que as avaliações anatômicas e fisiológicas em um grande número de genótipos impõem limitações práticas e metodológicas, a estratégia do programa de melhoramento genético da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG foi selecionar alguns genótipos tolerantes em campo por meio de avaliações fenotípicas, e, posteriormente realizar as avaliações fisiológicas e anatômicas em condições experimentais controladas.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi caracterizar a anatomia foliar e as respostas fisiológicas de diferentes genótipos de café arábica na fase de muda submetidos ao déficit hídrico em casa de vegetação, a fim de entender as características que contribuem na manutenção do *status* hídrico das plantas e fornecer subsídios para identificação de genótipos mais tolerantes ao déficit hídrico.

É importante ressaltar que a maioria dos genótipos avaliados neste experimento também possui resistência à ferrugem, o que acarreta uma diminuição do custo de produção e dos riscos ao meio ambiente e aos trabalhadores rurais por deixar de aplicar fungicidas para o controle dessa doença.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O cafeeiro e as mudanças climáticas

O Brasil é o maior produtor e exportador de café e o segundo consumidor de café do mundo. A produção brasileira de café arábica, no ano de 2013, foi de aproximadamente 38 milhões de sacas, o que corresponde a 77% do volume de café produzido no país que tem como maior produtor o estado de Minas Gerais, com aproximadamente 26 milhões de sacas (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2014). Além do consumo interno, as exportações brasileiras apresentaram crescimento substancial no período de 1995 a 2010, correspondente a 130% em volume e 137% em valor. Em 2012, o produto representou 6,7% de todas as exportações brasileiras no agronegócio, que chegaram a, aproximadamente, 28,7 milhões de sacas, com faturamento de US\$ 6,5 bilhões. A cadeia produtiva de café é responsável pela geração de mais de oito milhões de empregos no país, proporcionando renda, acesso à saúde e à educação para os trabalhadores e suas famílias (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2013).

O café arábica (*Coffea arabica* L.), espécie pertencente à família Rubiaceae, é oriundo das florestas tropicais da Etiópia, Quênia e Sudão, situados em altitudes de 1.500 – 2.800 m, e entre as latitudes 4° N e 9° N. Nessa região, a temperatura do ar mostra pouca flutuação sazonal, com valores médios entre 18 e 22 °C. A precipitação é bem distribuída variando de 1.600 a mais de 2.000 mm, com uma estação seca com duração de três a quatro meses coincidindo com a estação fria (SYLVAIN, 1955). Segundo Camargo (1985), a temperatura do ar anual ideal para o café arábica é entre 18 e 23 °C. Acima de 23 °C, o desenvolvimento do fruto e maturação são acelerados, muitas vezes levando a perda de qualidade. A exposição contínua a temperaturas diárias de até 30 °C

podem resultar não só em crescimento deprimido, mas também em anomalias como amarelecimento das folhas (FRANCO, 1958). A temperatura do ar relativamente elevada durante o florescimento associada a uma estação seca prolongada, pode causar aborto de flores. Por outro lado, em zonas com temperatura do ar anual média abaixo de 18 °C, o crescimento é largamente deprimido. Ocorrência de geadas, mesmo que esporádicas, podem limitar fortemente o crescimento econômico da cultura (CAMARGO, 1985). Segundo Alegre (1959), valores ótimos de precipitação para a cultura estão entre 1 200 e 1.800 mm.

O café arábica adaptou-se muito bem em terras altas tropicais como na região Sudeste do Brasil devido às condições climáticas favoráveis (CAMARGO, 2010). No entanto, estudos têm mostrado que o aumento das emissões de gases do efeito estufa na atmosfera está causando grandes mudanças em eventos atmosféricos, causando impactos críticos na vegetação (OUYANG et al., 2013; MARENGO; VALVERDE, 2007). De acordo com o IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2013), as principais características climáticas que continuam mostrando alterações no centro-sul da América do sul são o aumento da temperatura do ar, amplificação no ciclo hidrológico e aumento da força das chuvas, o que pode levar a um aumento na duração e severidade do déficit hídrico anual, pelo aumento dos intervalos entre as estações de precipitação, provocando variações sobre o rendimento das culturas, e assim, afetando a produtividade agrícola como um todo (ASSAD et al., 2013; THORNTON, 2012).

Assad et al. (2004) concluem que se comprovados os cenários preconizados pelos modelos do IPCC de 2001, o cultivo de café arábica nos estados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Paraná será drasticamente reduzido nos próximos 100 anos, se mantidas as condições genéticas e fisiológicas das variedades atuais. No entanto cultivares selecionadas sob condições de manejo

intensivo têm permitido plantações de café arábica em regiões marginais, com temperaturas médias anuais de 24 – 25 °C e rendimentos satisfatórios como no Nordeste do Brasil (DAMATTA, 2004). Tendo em vista as constantes alterações climáticas observadas nos últimos anos, o desenvolvimento de cultivares com maior tolerância aos estresses abióticos é prioritário para a agricultura, uma vez que as perspectivas são de agravamento em um futuro próximo com relação aos períodos de seca e aumento da temperatura, sendo assim de fundamental importância a inclusão destas características nos programas de melhoramento genético do cafeeiro (DAMATTA, 2004).

2.2 Características fisiológicas da tolerância do cafeeiro à seca

A fisiologia da resposta das plantas ao estresse hídrico é bastante complexa, mostrando modificações diferentes à medida que o solo seca. A dinâmica de depleção de água no solo, mudanças na demanda de água da atmosfera, bem como o crescimento da planta e o seu estado fenológico em que se desenvolve o déficit hídrico são fontes de grande variação nas respostas das plantas à seca (MEDRANO et al., 1998). Além disso, episódios de seca são extremamente agravados tanto pela alta radiação solar como por altas temperaturas, de modo que a seca deve ser considerada um estresse multidimensional (WANG; VINOGRAD; ALTMAN, 2003).

Algumas características fisiológicas têm mostrado contribuir para a tolerância do cafeeiro à seca, dentre estas convém destacar a manutenção da turgescência foliar, a regulação da taxa de uso de água, a eficiência de extração de água do solo, a atenuação da redução do volume do simplasto e o retardamento do início de déficits foliares (DAMATTA; RENA, 1999; DAMATTA et al., 2003; PINHEIRO et al., 2005; PRAXEDES et al., 2006).

A manutenção da turgescência foliar durante a seca tem sido atribuída à maior eficiência no controle estomático, baixa condutância cuticular e maior

capacidade do sistema radicular de extrair água do solo. Apesar das raízes do cafeeiro se concentrarem nas camadas superficiais do solo, elas podem alcançar profundidades de até três metros ou mais, absorvendo quantidades significativas de água durante longos períodos de estiagem (RENA; GUIMARÃES, 2000; CARR, 2001). Além da profundidade, uma maior capacidade de absorção de água pelas raízes do cafeeiro pode ser determinada por um ajustamento osmótico e pelo decréscimo na elasticidade da parede celular (KRAMER; BOYER, 1995; TURNER, 1997; DAMATTA et al., 1993). Deve-se ressaltar, todavia, que na medida em que a disponibilidade hídrica é reduzida, uma maior capacidade de absorção de água pode não ser suficiente para manter a turgescência foliar se a condutância estomática não for substancialmente reduzida (DAMATTA; RAMALHO, 2006).

Alguns estudos abordam o papel decisivo do controle estomático sobre o estado hídrico do cafeeiro, apresentando relação direta com o potencial hídrico (PINHEIRO et al., 2005; PRAXEDES et al., 2006; SILVA et al., 2010). Em estágios iniciais de redução da disponibilidade de água no solo, as plantas fecham os seus estômatos como uma estratégia para minimizar a perda de água para a atmosfera. No entanto, o fechamento estomático aumenta a resistência de difusão do CO₂ para o sítio de carboxilação da Rubisco, podendo levar a uma redução da taxa fotossintética, como observado em diversos estudos com *C. arabica* (MATTA; MAESTRI; BARROS, 1997; CAI et al., 2005; SILVA et al., 2006).

À medida que a deficiência hídrica aumenta, a redução da fotossíntese deixa de ser atribuída somente à redução da abertura estomática e restrição difusiva de CO₂, e passa a ser relacionada também aos mecanismos das etapas bioquímica e fotoquímica. Na etapa bioquímica, o déficit hídrico pode resultar na formação de espécies reativas de oxigênio (*EROs*), que danificam o sítio catalítico da enzima Rubisco, reduzindo a sua atividade (KANECHI et al., 1996;

IRVING; ROBINSON, 2006). Na etapa fotoquímica, o déficit hídrico pode levar a uma desestruturação das membranas dos tilacoides, o que resultaria na inativação das reações de transferência de elétrons. Com isso o declínio da fotossíntese passa a ser associado a uma redução na capacidade da planta em utilizar a radiação incidente para os processos fotoquímicos (MEDRANO et al., 2002). Neste sentido alguns métodos de avaliação da eficiência fotossintética por meio de medidas rápidas e não destrutivas da fluorescência da clorofila têm sido explorados na seleção e avaliação da adaptabilidade de genótipos de café e outras plantas ao déficit hídrico (LIMA et al., 2002; DIAS; BRÜGGEMANN, 2010; MEDRANO et al., 2002).

2.3 Características anatômicas da tolerância do cafeeiro à seca

Existem poucos estudos a respeito de variações morfológicas e anatômicas em plantas de café relacionadas a condições de estresse, especialmente déficit hídrico. No entanto informações básicas referentes à anatomia podem ser bastante úteis na compreensão dos mecanismos envolvidos na tolerância diferencial à seca existente no gênero *Coffea* (DIAS et al., 2005; GRISI et al., 2008). A folha é um dos órgãos mais plásticos em resposta a fatores ambientais (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009; DIAS et al., 2005). As variações anatômicas nas folhas podem proporcionar às plantas a capacidade de superar condições desfavoráveis ao crescimento e à sobrevivência. Neste contexto podem resultar no controle mais eficiente da perda de água em condições de déficit hídrico e também podem evitar danos fotooxidativos causados pelo excesso de irradiância (BENETTI et al., 1992; GRISI et al., 2008).

A anatomia foliar das diferentes variedades de cafeeiro demonstra variações quanto às espessuras da cutícula, do limbo, do parênquima paliçádico e esponjoso, dimensões estomáticas, dentre outras características

(NASCIMENTO et al., 2006; PINHEIRO et al., 2005; RAMIRO et al., 2004; BATISTA et al., 2010). A cutícula mais espessada, devido a sua natureza lipídica, pode evitar a perda de água excessiva por transpiração, sendo, portanto, um importante mecanismo de tolerância ao déficit hídrico. O parênquima paliádico está intimamente ligado à fotossíntese e, um maior desenvolvimento desse tecido pode permitir maior fixação de CO₂ com a abertura dos estômatos em curto espaço de tempo (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). Maiores médias da espessura do limbo foliar, típicas de folhas de sol, são características que visam minimizar o aquecimento foliar e pode proporcionar uma menor perda de água para o ambiente (NASCIMENTO et al., 2006).

Com relação aos estômatos, uma maior razão entre o diâmetro polar e o diâmetro equatorial proporciona uma maior funcionalidade estomática. Em geral, folhas com estômatos menores apresentam maior eficiência no uso da água e a diferença no tamanho da abertura estomática apresenta maior efeito sobre a difusão de água do que sobre a difusão de CO₂ (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009; ABRAMS; KUBISKE; MOSTOLLER, 1994). A densidade estomática representa o investimento da planta na produção de estômatos (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). Segundo alguns autores, em condições xéricas, a folha pode aproveitar melhor o tempo limitado de alta umidade relativa para realizar as trocas gasosas, o que poderá ser mais eficiente quanto maior for o índice estomático (LEITE; LLERAS, 1978; MEDRI; LLERAS, 1980).

Em trabalho realizado por Batista et al. (2010), foram avaliadas características da anatomia foliar e do potencial hídrico de quinze cultivares em condições de campo. Os autores observaram características anatômicas foliares favoráveis a uma menor susceptibilidade à seca nas cultivares Bourbon Amarelo IAC 06 e Catimor UFV 5390 fatores indicativos para seleção de materiais tolerantes ao déficit hídrico. Grisi et al. (2008), utilizando mudas das cultivares

Siriema e Catuaí Amarelo IAC 74, encontraram diferenças nas espessuras do parênquima esponjoso e limbo foliar, além da densidade e dimensões estomáticas das cultivares com vantagens anatômicas para a cultivar Siriema em termos de tolerância diferencial à seca.

Em suma, a associação de técnicas fisiológicas, anatômicas e morfológicas pode auxiliar na identificação e na caracterização de genótipos de café tolerantes à seca. Além disso, esses estudos podem fornecer informações valiosas para a identificação de processos relacionados com tolerância à seca.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material vegetal e condições experimentais

O estudo foi realizado na subestação experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG, no município de Lavras, na região Sul do estado de Minas Gerais. Foram utilizadas duas cultivares (Catuaí Vermelho IAC 99 e Catuaí Vermelho IAC 144), doze progênies de *Coffea arabica* do programa de melhoramento genético do cafeeiro da EPAMIG e uma progênie do grupo Siriema da Fundação PROCAFÉ (Tabela 1). As doze progênies foram obtidas de sementes oriundas de Turmalina - MG e suas mudas juntamente com o Catuaí Vermelho IAC 99 foram formadas na subestação experimental da EPAMIG de Lavras. As mudas de Siriema e Catuaí Vermelho IAC 144 foram formadas na estação experimental da Fundação PROCAFÉ, em Varginha - MG.

As mudas foram inicialmente cultivadas em sacos plásticos, e após atingirem cinco pares de folhas foram transplantadas para vasos com capacidade de 26 litros. Utilizou-se como substrato uma mistura de solo, areia e esterco bovino (3:3:1, v/v/v). A adubação de cobertura foi feita de acordo com a análise de solo, utilizando a metade da dose recomendada por Guimarães (1999). As plantas receberam 75 gramas do formulado NPK 20-00-20, divididos em três parcelas, a intervalos de 30 dias. As plantas foram mantidas em casa de vegetação com cobertura de polietileno de baixa densidade, com o controle da temperatura máxima em 28 °C e foram cultivadas sem restrições de água.

Tabela 1 Genótipos avaliados no experimento com a respectiva identificação, genealogia, grupo e origem

Genótipos	Identificação	Genealogia	Grupo	Origem
03	3	H419-3-3-7-16-2	Paraíso	EPAMIG
04	4	H419-3-3-7-16-11	Paraíso	EPAMIG
05	5	H419-3-4-4-13	Paraíso	EPAMIG
07	7	H419-5-2-4-18	Paraíso	EPAMIG
09	9	H419-5-4-5-6-1	Paraíso	EPAMIG
11	11	H419-6-2-4-2-2	Paraíso	EPAMIG
12	12	H419-6-2-7-1-1	Paraíso	EPAMIG
16	16	H514-5-4-25M	Catiguá	EPAMIG
19	19	H516-2-1-1-7-1	Araponga	EPAMIG
20	20	H516-2-1-1-12-1	Araponga	EPAMIG
21	21	H516-2-1-1-14-3	Araponga	EPAMIG
23	23	H518-3-6-462M	Pau-Brasil	EPAMIG
Siriema 24	Siriema	3-54 (19-22)	Siriema	PROCAFÉ
Catuaí Vermelho-IAC 99	Ct99	-----	Catuaí	IAC
Catuaí Vermelho-IAC 144	Ct144	-----	Catuaí	IAC

3.2 Imposição do déficit hídrico

Após seis meses de cultivo, as mudas foram submetidas a duas condições ambientais correspondentes à plena irrigação (controle) e deficiência hídrica, a qual foi imposta pela suspensão da irrigação.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 30 tratamentos e quatro repetições, formando um esquema fatorial 15 x 2 (quinze genótipos e dois regimes hídricos). A parcela foi constituída de uma planta por vaso.

Para descrição das respostas ao déficit hídrico, foram realizadas avaliações de crescimento, matéria seca e de características anatômicas e fisiológicas, as quais são descritas a seguir.

3.3 Parâmetros biométricos e matéria seca

Para acompanhamento do crescimento das plantas foram avaliados antes da imposição do déficit hídrico o diâmetro do caule próximo ao solo (mm; paquímetro), a altura (cm) e o comprimento (cm) do ramo plagiotrópico baixo e a área foliar. Também foram contabilizados os ramos plagiotrópicos e o seu ângulo de inserção com o ramo ortotrópico. A área foliar foi determinada de acordo com o método de dimensões foliares (BARROS et al., 1973).

Ao final do experimento, as plantas irrigadas e não irrigadas foram colhidas e separadas em raiz e parte aérea para análise da massa seca dos tecidos e o comprimento da maior raiz foi determinado com auxílio de uma fita métrica. Para determinação da massa seca, os tecidos foram postos em estufa a 70 °C com ventilação forçada, por 96 horas.

3.4 Estado hídrico das plantas

Para o acompanhamento do estado hídrico das plantas foi utilizado, como parâmetro, o potencial hídrico de antemãhã (Ψ_{am}), medido com a bomba de pressão tipo Scholander em folhas completamente expandidas de ramos plagiotrópicos, do terço médio das plantas.

As avaliações de potencial hídrico foram realizadas aos 0, 7, 14, 18, 20, 22 e 23 dias após a imposição do déficit hídrico. O potencial hídrico foliar foi acompanhado periodicamente até que as plantas não irrigadas atingissem o potencial hídrico (Ψ_{am}) = -3,0 MPa.

3.5 Trocas gasosas

Para avaliação das trocas gasosas, utilizou-se um sistema portátil de análise de gases a infravermelho (IRGA LiCOR-6400XT). Avaliou-se a taxa fotossintética líquida ($A - \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), a condutância estomática ($g_s - \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e a taxa transpiratória ($E - \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). As avaliações foram realizadas durante o horário solar de 8 às 11 horas, sob luz artificial ($600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e utilizando sempre folhas completamente expandidas de ramos plagiotrópicos do terço médio das plantas.

As avaliações foram realizadas nos mesmos dias em que foram avaliados os potenciais hídricos. A partir dos dados de trocas gasosas foram estimadas a eficiência do uso da água instantânea, dada pela razão entre A e E ($EUA - \mu\text{mol CO}_2 \text{mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$) e a eficiência de carboxilação estimada pela relação entre A e Carbono interno ($EUC - \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{ppm}^{-1}$).

3.6 Fluorescência e teor de clorofila

As características de fluorescência da clorofila foram obtidas por um fluorômetro portátil de amplitude de pulso modulado (MINI-PAM-1999, Walz, Effeltrich, Alemanha) utilizando folhas completamente expandidas de ramos plagiotrópicos do meio das plantas. A eficiência fotoquímica máxima ou produtividade quântica máxima (Y_{max}) foi medida em condições ambientais durante o dia. A eficiência fotoquímica mínima ou produtividade quântica mínima (Y_{min}) foi medida em condições ambientais durante a noite, após as plantas ficarem uma hora no escuro.

O teor de clorofila na folha foi medido com o auxílio de um analisador SPAD-502 utilizando folhas completamente expandidas de ramos plagiotrópicos do terço médio das plantas. As avaliações de fluorescência e teor de clorofilas foram realizadas nos mesmos dias em que foram avaliados os potenciais hídricos.

3.7 Anatomia foliar

Para a realização das análises antômicas, antes da imposição do déficit hídrico, folhas completamente expandidas de ramos plagiotrópicos do terço das plantas irrigadas foram coletadas e conservadas em frascos de plástico contendo etanol 70% (v v⁻¹). Para os cortes anatômicos foi utilizado o terço médio das folhas.

As secções transversais foram obtidas em micrótomo de mesa tipo LPC. Os cortes foram submetidos à clarificação com hipoclorito de sódio (1,25% de cloro ativo), tríplice lavagem em água destilada e coloração com solução safrablau (azul de astra 0,1% e safranina 1% na proporção de 7:3). Posteriormente os cortes foram montados em lâminas semipermanentes com glicerol 50% (v v⁻¹) (KRAUS; ARDUIN, 1997).

As secções paradérmicas foram feitas à mão livre com uso de lâmina de aço. Os cortes foram submetidos à clarificação com hipoclorito de sódio (1,25% de cloro ativo), tríplice lavagem em água destilada e coloração com safranina 1% com posterior montagem de lâminas semipermanentes, como citado anteriormente.

As lâminas foram observadas e fotografadas em microscópio óptico modelo Olympus BX 60 acoplado à câmera digital Canon A630. As imagens foram analisadas em *software* para análise de imagens UTHSCSA-Imagetool.

As características avaliadas na secção transversal foram a espessura da epiderme da face abaxial (EAB), espessura da epiderme da face adaxial (EAD), espessura do limbo foliar (LIM), espessura do parênquima paliçádico (PPA), espessura do parênquima esponjoso (PES), espessura da cutícula da face adaxial (CTA), número de vasos de xilema (XIL), espessura do vaso xilemático (EXIL) e espessura do floema (FLO). No corte paradérmico da face abaxial das folhas, foram avaliadas a densidade estomática (número de estômatos por mm²) e a razão do diâmetro polar e equatorial dos estômatos (Figura 1, 2 e 3).

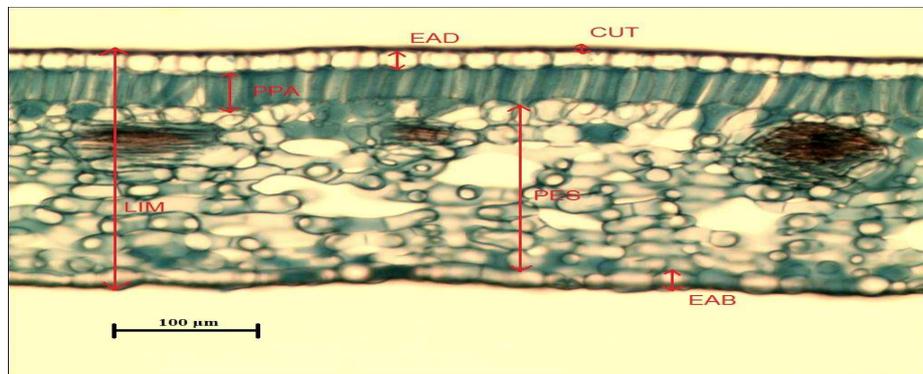


Figura 1 Secção transversal de folha de *Coffea arabica*

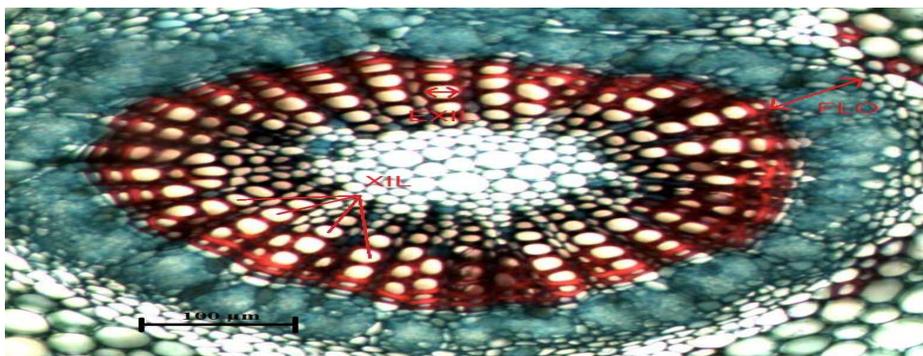


Figura 2 Secção transversal da nervura de folha de *Coffea arabica*

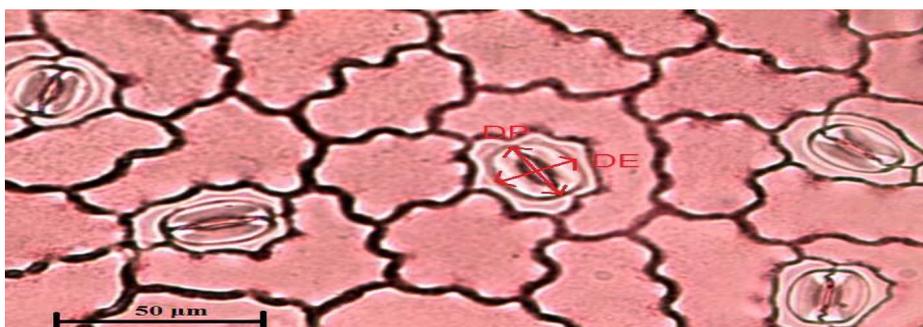


Figura 3 Secção paradérmico da face abaxial de folha de *Coffea arabica*

3.8 Análise de dados

As análises de dados foram feitas com base no delineamento de blocos casualizados. Para análise estatística, foram realizadas análises de variância (ANAVA) utilizando-se o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade para o estudo das médias, com auxílio do *software* SISVAR (FERREIRA, 2008).

Após uma análise dos controles (irrigadas) entre os genótipos e entre os diferentes dias de avaliação verificou-se que não havia diferença entre eles ($P > 0,05$), e os mesmos foram unificados. Os dados de trocas gasosas, fluorescência e teor de clorofilas foram agrupados em três grupos de potenciais hídricos, sendo eles: controle ($\Psi_{\max} = 0-0,3$ MPa); déficit hídrico moderado ($\Psi_{\max} = -1,5 \pm 0,4$ MPa); déficit hídrico severo ($\Psi_{\max} = -3,0 \pm 0,4$ MPa).

Para análise do potencial hídrico, trocas gasosas, fluorescência e teor de clorofilas, foi realizada uma correlação de Pearson entre os dados biométricos, matéria seca e dias para atingir o $\Psi_{\max} = -3$ MPa para separar os genótipos em grupos homogêneos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Parâmetros biométricos e matéria seca

Nas Tabelas 2, 3 e 4, são apresentados os parâmetros biométricos, de matéria seca e de comprimento de raiz. É possível observar que os genótipos avaliados apresentaram diferenças significativas entre si para todos os parâmetros, com exceção para o comprimento de raiz. Além disso, a massa de matéria seca não apresentou diferença entre plantas irrigadas e não irrigadas em nenhum dos parâmetros avaliados, mostrando que o curto período de imposição do déficit hídrico não causou efeitos na matéria seca das plantas (Tabela 2).

Tabela 2 Média do comprimento da raiz (CR), massa seca da raiz (MR), massa seca da parte aérea (MPA), massa seca total (MT), razão entre massa seca da raiz e massa seca da parte aérea (MR/MPA) e razão entre massa seca da raiz e área foliar (MR/AF) das plantas irrigadas (controle) e não irrigadas (sequeiro)

Irrigação	CR (cm)	MR (g)	MPA (g)	MT (g)	MR/MPA (g.g ⁻¹)	MR/AF (g.m ⁻²)
Controle	49,0a	39,1a	95,9a	134,9a	0,43a	86,8a
Sequeiro	49,2a	39,6a	93,1a	132,8a	0,41a	87,2a
CV(%)	8,0	14,5	13,2	12,7	10,5	14,9

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade

A progênie 23 apresentou a área foliar, número de ramos plagiotrópicos, massa seca da parte aérea e massa seca total superior aos demais genótipos, indicando uma maior marcha de absorção de nutrientes e conseqüentemente um crescimento mais rápido (Tabela 3 e 4). A progênie 16, apesar de ter a área foliar igual à maioria dos genótipos, apresentou maior altura e comprimento do ramo plagiotrópico, mostrando ter um porte maior que os demais. Esses dois

genótipos (23 e 16) também foram superiores com relação ao diâmetro de caule (Tabela 3).

Dentre os genótipos de mesma altura, as progênies 3, 4 e 5 se destacaram por apresentar o comprimento do ramo plagiotrópico superior aos demais. O ângulo de inserção do ramo plagiotrópico foi menor nos genótipos 4, 5, 9, 16, 23 e Siriema (Tabela 3). Carvalho et al. (2010) estudando a correlação entre crescimento e produtividade de vinte e cinco cultivares, verificaram correlação positiva de caracteres vegetativos entre si e a produtividade inicial do cafeeiro, em que o número de ramos plagiotrópicos, altura de planta e comprimento do ramo plagiotrópico foram as características que apresentaram maior correlação fenotípica com a produtividade. Miranda, Perecin e Pereira (2005) avaliando as três primeiras colheitas de progênies F5 de cruzamentos entre Catuaí Amarelo e Híbrido de Timor, também verificaram correlação fenotípica positiva da produtividade com caracteres vegetativos, e os atributos que mais contribuíram para aumento da produtividade foram o comprimento dos ramos plagiotrópicos, altura da planta e diâmetro de caule.

Tabela 3 Média da área foliar (AF), altura de planta (H), diâmetro de caule (DC), comprimento e número de ramos plagiotrópicos (CPL e NPL) e ângulo de inserção do ramo plagiotrópico com o ortotrópico (ÂPL) dos genótipos no momento da imposição do déficit hídrico

Genótipos	AF (m ²)	H (cm)	DC (mm)	CPL (cm)	NPL	ÂPL (°)
3	0,56b	48,4c	12,0b	15,9c	11,3b	71,9a
4	0,49b	48,3c	11,5b	15,4c	10,8b	68,3b
5	0,43c	52,0c	11,7b	15,0c	11,2b	66,3b
7	0,37c	44,3c	10,7c	12,4d	11,3b	75,6a
9	0,49b	47,5c	11,3b	12,5d	11,3b	62,2b
11	0,42c	46,6c	11,3b	12,9d	10,5b	72,6a
12	0,40c	45,8c	10,9c	14,3d	10,5b	72,7a
16	0,41c	91,9a	13,0a	24,4a	11,0b	65,7b
19	0,51b	46,6c	11,3b	11,6d	11,4b	71,9a
20	0,54b	50,9c	11,6b	13,5d	10,6b	72,2a
21	0,50b	47,4c	10,8c	12,1d	11,1b	77,8a
23	0,66a	56,5b	12,7a	18,0b	12,8a	63,1b
Siriema	0,35c	46,8c	10,0c	13,5d	10,8b	68,1b
Ct99	0,42c	45,7c	10,4c	13,8d	11,1b	73,3a
Ct144	0,38c	51,5c	10,1c	13,3d	10,6b	73,9a
CV(%)	14,2	10,6	6,8	16,1	10,3	8,6

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Apesar de terem o mesmo comprimento de raiz, os genótipos 7, Siriema, Catuaí 99 e Catuaí 144 apresentaram menor massa seca radicular e, juntamente com os genótipos 9, 11 e 12, menor massa seca da parte aérea e total (Tabela 4). Dentre esses genótipos de menor massa seca total, o Catuaí 99 apresentou menor valor na razão entre a massa seca radicular e massa seca da parte aérea e, juntamente com a progênie 9, menor razão entre massa seca radicular e área foliar (Tabela 4).

Estudos avaliando a tolerância à seca de clones de *Coffea canephora* verificaram que os clones com maior tolerância à seca, apesar de terem a mesma massa seca de raiz dos clones sensíveis à seca, possuíam uma maior profundidade de enraizamento (PINHEIRO et al., 2005; SILVA et al., 2010).

Paglis et al. (2008) estudando o sistema radicular do café Siriema sob restrição hídrica, concluíram ser a profundidade das raízes a principal característica que explica a grande tolerância à seca de cafeeiros Siriema adultos no campo.

Tabela 4 Média do comprimento da raiz (CR), massa seca da raiz (MR), massa seca da parte aérea (MPA), massa seca total (MT), razão entre massa seca da raiz e massa seca da parte aérea (MR/MPA) e razão entre massa seca da raiz e área foliar (MR/AF) dos genótipos ao final do experimento

Genótipos	CR (cm)	MR (g)	MPA (g)	MT (g)	MR/MPA (g.g ⁻¹)	MR/AF (g.m ⁻²)
3	49a	44a	110b	154b	0,39b	78,6b
4	47a	38b	100c	138b	0,38b	78,0b
5	50a	43a	94c	138b	0,46a	99,2a
7	51a	36c	81d	118c	0,45a	98,0a
9	50a	41b	87d	128c	0,46a	83,6b
11	51a	39b	89d	129c	0,45a	95,1a
12	49a	38b	83d	121c	0,45a	93,6a
16	49a	40b	115b	155b	0,35b	97,2a
19	48a	44a	96c	140b	0,46a	86,6b
20	50a	46a	101c	146b	0,45a	85,0b
21	46a	39b	97c	136b	0,39b	78,8b
23	51a	47a	128a	175a	0,37b	72,5b
Siriema	51a	33c	78d	108c	0,43a	94,2a
Ct99	46a	33c	83d	115c	0,39b	77,5b
Ct144	51a	35c	82d	115c	0,43a	93,1a
CV(%)	8,0	14,5	13,2	12,7	10,5	14,9

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

4.2 Correlação de Pearson

A análise de correlação de Pearson entre os dados biométricos, matéria seca e o número de dias para atingir o potencial hídrico máximo de -3 MPa mostrou que, dentre os parâmetros avaliados, a área foliar possui a maior correlação com o potencial hídrico ($P < 0,05$; $R^2 = -0,78$) (Tabela 5).

Com isto, para as análises do potencial hídrico, trocas gasosas, fluorescência e teor de clorofilas, os genótipos foram divididos e avaliados em três grupos de mesma área foliar. Sendo eles:

- a) Grupo 1: 5, 7, 11, 12, 16, Siriema, Catuai 99 e Catuai 144;
- b) Grupo 2: 3, 4, 9, 19, 20 e 21;
- c) Grupo 3: 23.

Tabela 5 Correlação entre as características altura (H), diâmetro do caule (DC), número de ramos plagiotrópicos (NPL), comprimento do ramo plagiotrópico (CPL), massa seca raiz (MR), massa seca parte aérea (MPA), massa seca total (MT), razão entre massa seca raiz e massa seca parte aérea (R/PA), razão entre massa seca raiz e área foliar (R/AF), angulo de inserção do ramo plagiotrópico com o ortotrópico (ANG), área foliar (AF), dias para atingir o potencial hídrico máximo de -3 MPa (3MPa)

-----	H	DC	NPL	CPL	MR	MPA	MT	R/PA	R/AF	ANG	AF	3 MPa
H	-----	0,00	0,13	0,00	0,28	0,00	0,00	0,01	0,33	0,16	0,77	0,33
DC	0,53	-----	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,47	0,10	0,00	0,00
NPL	0,20	0,37	-----	0,72	0,03	0,00	0,01	0,31	0,02	0,18	0,00	0,00
CPL	0,83	0,52	0,05	-----	0,56	0,00	0,01	0,00	0,85	0,21	0,34	0,07
MR	0,14	0,63	0,28	0,08	-----	0,00	0,00	0,02	0,01	0,24	0,00	0,46
MPA	0,42	0,74	0,74	0,40	0,72	-----	0,00	0,00	0,61	0,11	0,00	0,01
MT	0,36	0,75	0,35	0,33	0,85	0,97	-----	0,07	0,73	0,11	0,00	0,02
R/PA	-0,35	-0,17	-0,14	-0,41	0,31	-0,42	-0,24	-----	0,00	0,56	0,07	0,01
R/AF	0,13	0,09	-0,31	-0,03	0,34	-0,07	0,04	0,55	-----	0,91	0,00	0,00
ANG	-0,15	-0,11	0,18	-0,13	-0,15	-0,11	-0,11	0,08	-0,02	-----	0,18	0,79
AF	0,00	0,57	0,53	0,13	0,51	0,67	0,66	-0,23	-0,47	-0,18	-----	0,00
3 MPa	-0,13	-0,41*	-0,49*	-0,24	-0,10	-0,44*	-0,29*	0,31*	0,48*	0,03	-0,78*	-----

Acima da diagonal a significância estatística e abaixo (negrito) o R^2 da correlação. O asterisco representa as correlações que foram significativas com o tempo para atingir -3 MPa ($P < 0,05$).

4.3 Estado hídrico das plantas

Com a progressão do déficit hídrico durante o período experimental, os valores de potencial hídrico foliar para as plantas não irrigadas diminuíram, mostrando que houve incremento gradual do déficit hídrico após a suspensão da irrigação. Nas plantas controle, o potencial hídrico foliar foi sempre superior a -0,2 MPa. Na avaliação com sete dias após suspensão da irrigação (DSI), todas as plantas não irrigadas ainda possuíam potenciais hídricos iguais aos das plantas controle. Na avaliação com 14 DSI, as plantas não irrigadas já possuíam potenciais hídricos inferiores às plantas controle para todos os genótipos, porém ainda não haviam diferenças estatísticas entre os genótipos dentro de cada grupo, os quais apresentavam médias de -0,8; -1,3 e -2,9 MPa para os grupos 1, 2 e 3 respectivamente (Tabela 6).

No grupo 1, após 18 DSI os genótipos 5, 16 e Catuaí 99 possuíam potenciais hídricos inferiores aos demais e atingiram o déficit hídrico severo (-3 MPa), respectivamente, com 19, 19 e 18 dias após a imposição do déficit hídrico, sendo inferiores aos demais genótipos do grupo na tolerância ao déficit hídrico (Tabela 6). O Siriema aos 18 DSI possuía um potencial hídrico superior aos demais e atingiu o déficit hídrico severo com 22 dias (Tabela 6). Os outros genótipos do grupo A (7, 11, 12 e Catuaí 144) atingiram o déficit hídrico severo com 21 dias (Tabela 6). No programa de melhoramento genético do cafeeiro, desenvolvido no MAPA/Fundação Procafé, o cultivar Siriema tem sido apontado como um material genético de potencial produtivo mesmo sob condições de baixa disponibilidade de água (MATIELLO; ALMEIDA; SILVA, 2004).

No grupo 2, após 18 DSI, todos os genótipos, exceto o genótipo 9, já atingiam o déficit hídrico severo. Apesar do genótipo 9 ter um potencial hídrico superior aos 18 DSI, os genótipos deste grupo não apresentaram diferenças significativas no tempo para atingir o déficit hídrico severo, o qual foi alcançado

entre 17 e 19 dias. No grupo 3, o genótipo 23 atingiu o déficit hídrico severo com 14 DSI (Tabela 6).

Alguns estudos comparando a tolerância ao déficit hídrico das cultivares Catuaí e Siriema mostram que a Siriema consegue manter o potencial hídrico máximo superior à Catuaí em condições de déficit hídrico (DIAS et al., 2004; GRISI et al., 2008). Batista et al. (2010), ao avaliarem o potencial hídrico de quinze cultivares em condições de campo, encontraram maior potencial hídrico do Catucaí 2 SL em relação ao Catuaí IAC 99.

Tabela 6 Médias do potencial hídrico aos 7, 14 e 18 dias sem irrigação (DSI) e média de dias para atingir -3 MPa dos genótipos avaliados dentro dos grupos 1, 2 e 3

Grupo	Genótipos	7 DSI (MPa)	14 DSI (MPa)	18 DSI (MPa)	Dias p/ -3 Mpa
1	5	-0,2a	-1,0a	-2,7c	19 b
	7	-0,1a	-0,7a	-2,0b	21 a
	11	-0,1a	-1,0a	-1,6b	21 a
	12	-0,2a	-0,7a	-1,8b	21 a
	16	-0,2a	-0,7a	-2,4c	19 b
	Siriema	-0,2a	-0,7a	-1,1a	22 a
	Ct99	-0,2a	-1,1a	-3,1c	18 b
	Ct144	-0,2a	-0,7a	-1,9b	21 a
	CV(%)	23,5	27,1	35,3	9,6
2	3	-0,2a	-1,5a	-3,4b	17 a
	4	-0,2a	-1,4a	-3,2b	18 a
	9	-0,2a	-1,1a	-2,2a	19 a
	19	-0,2a	-1,3a	-3,1b	18 a
	20	-0,2a	-1,6a	-3,5b	17 a
	21	-0,2a	-1,1a	-2,8b	18 a
	CV(%)	21,2	26,7	27,2	7,8
3	23	-0,3	-2,9	-----	14

Médias seguidas de mesma letra na coluna dentro de cada grupo não diferem entre si pelo teste Skott-Knott a 5% de probabilidade.

4.4 Trocas gasosas

Sob irrigação, não houve diferença entre os genótipos em nenhum dos parâmetros de trocas gasosas avaliados. À medida que o déficit hídrico aumentou ao longo do período experimental, houve redução nos valores médios de fotossíntese (A), condutância estomática (g_s) e transpiração (E). Sob déficit hídrico moderado ($\Psi_{am} = -1,5 \pm 0,4$ MPa) todos os genótipos já apresentavam valores de A , E e g_s inferiores aos das plantas controle (Figura 4). Esse comportamento está de acordo com outros estudos, que mostram que quando os cafeeiros atingiram o potencial hídrico máximo de -1,5 MPa, as trocas gasosas foram consideravelmente reduzidas (PRAXEDES et al., 2006; ASSAD et al., 2004; DAMATTA; MAESTRI; BARROS, 1997). Segundo Damatta (2004), no café arábica a condutância estomática é relatada como o primeiro indicador de falta de água, diminuindo logo que um terço da água do solo é esgotada.

Analisando-se a taxa fotossintética sob déficit hídrico moderado, não houve diferença entre os genótipos (Figura 4A). Sob déficit hídrico severo ($\Psi_{am} = -3,0 \pm 0,4$ MPa), no grupo 1, os genótipos 7, 12, Siriema e Catuai 144 apresentaram valores de A superiores aos demais genótipos, mantendo os valores próximos aos observados no déficit hídrico moderado (Figura 4A).

Para a condutância estomática, sob déficit hídrico moderado, foi possível observar que, no grupo 1 a progênie 16 e, no grupo 2, as progênies 3 e 5 apresentaram valores superiores aos demais. Sob déficit hídrico severo, não foi observada diferença entre os genótipos (Figura 2B). As taxas transpiratórias seguiram padrão semelhante aos observados para g_s (Figura 4C). Este comportamento indica que as progênies 3, 5 e 16 demoraram mais para responder ao déficit hídrico, o que pode os ter levado a atingir o $\Psi_{am} = -3,0$ MPa em menos tempo.

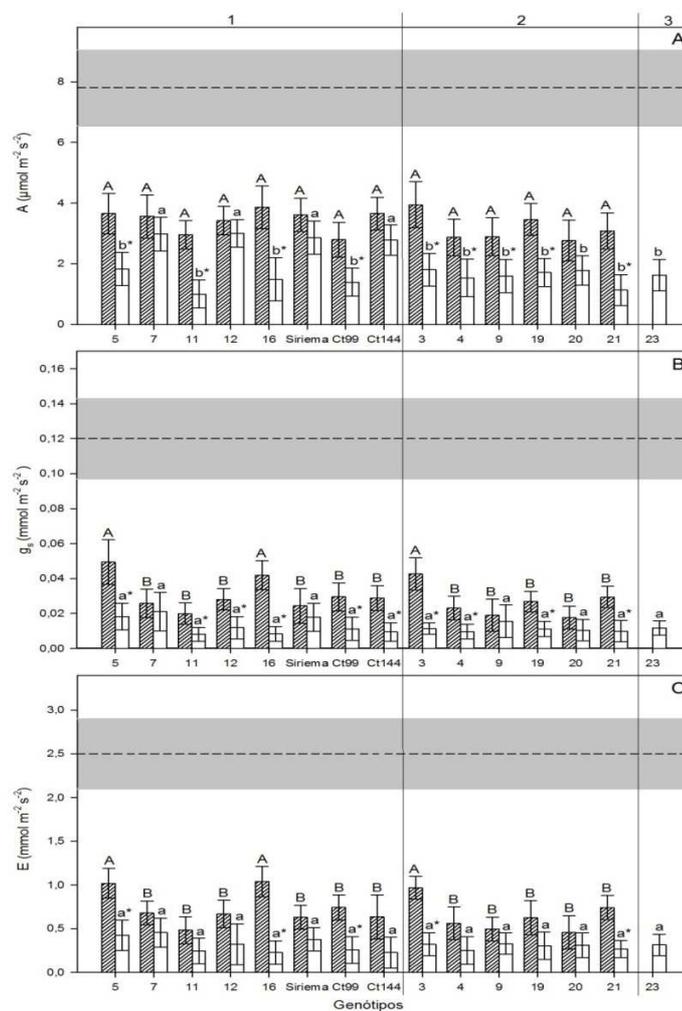


Figura 4 Efeito do déficit hídrico na fotossíntese (A), condutância estomática (B) e transpiração (C) de quinze genótipos de café arábica

Nota: A linha tracejada e a área cinza correspondem, respectivamente, a média e ao desvio-padrão da média do controle (sem restrição hídrica). As colunas rachuradas representam o déficit hídrico moderado ($\Psi_{am} = \pm -1,5$ Mpa) e as colunas claras representam o déficit hídrico severo ($\Psi_{am} = \pm -3,0$ Mpa). As barras de erro representam o desvio padrão. Letras maiúsculas diferentes representam diferença significativa das médias sob déficit moderado e letras minúsculas diferentes representam diferença significativa das médias sob déficit hídrico severo pelo teste de Skott-Knott para $P < 0,05$ dentro dos grupos 1, 2 e 3. O asterisco representa diferença significativa entre o déficit moderado e o severo.

Resultado semelhante foi observado por Damatta, Maestri e Barros (1997), que compararam o desempenho de uma cultivar de cafeeiro arábica (cv. Catuaí Vermelho) com uma cultivar de cafeeiro robusta (cv. Kouillou) submetido ao déficit hídrico, e verificaram que a Catuaí Vermelho sobreviveu mais tempo e obteve uma resposta estomática mais rápida em relação ao decréscimo do potencial hídrico máximo. Ao avaliarem a resposta fisiológica de clones de café Conilon submetidos ao déficit hídrico severo, Silva et al. (2010) encontraram valores superiores de fotossíntese em clones mais tolerantes ao déficit hídrico. Os valores de condutância estomática e transpiração não diferiram entre os clones. Praxedes et al. (2006) avaliando plantas adultas de café robusta submetidas a um longo período de seca, não observaram diferenças em parâmetros de trocas gasosas entre clones contrastantes tanto sob déficit hídrico moderado como severo.

A eficiência do uso da água (EUA) tendeu a aumentar à medida que houve incremento no déficit hídrico (Figura 5A). Sob déficit hídrico moderado, no grupo 1, os genótipos 5, 16 e Catuaí 99 e, no grupo 2, as progênies 3, 4 e 21 permaneceram com os mesmos valores das plantas controle, e entre esses apenas o genótipo 16 aumentou a EUA sob déficit severo (Figura 5A). Os outros genótipos já tiveram um aumento significativo da EUA sob déficit hídrico moderado em relação ao controle. Sob déficit hídrico severo, no grupo 1, os genótipos 7, 12, Siriema e Catuaí 144 aumentaram ainda mais seus valores de EUA e foram superiores aos demais (Figura 5A). Este resultado permite inferir que estes genótipos possuem um controle estomático mais eficiente, o que pode promover uma maior adaptabilidade às condições de déficit hídrico. Damatta (2004) faz uma abordagem fisiológica da tolerância do cafeeiro à seca para fins de melhoramento genético, neste contexto a eficiência do uso da água é citada como uma das principais características que podem ser exploradas em

programas de melhoramento para tolerância à seca em cafeeiros arábica e robusta.

A eficiência do uso do carbono (EUC) diminuiu à medida que o déficit hídrico aumentou. Sob déficit hídrico moderado todos os genótipos apresentaram valores inferiores às plantas controle, porém não houve diferenças estatísticas entre eles em nenhum dos grupos (Figura 5B). Quando foi atingido o $\Psi_{am} = -3,0 \pm 0,4$ MPa, os genótipos diminuíram ainda mais a sua EUC, exceto os genótipos 7, 12, Siriema e Catuaí 144 que mantiveram os valores semelhantes aos observados no déficit hídrico moderado (Figura 5B). Os resultados de EUC evidenciam ainda mais o eficiente controle estomático observado nos genótipos 7, 12, Siriema e Catuaí 144.

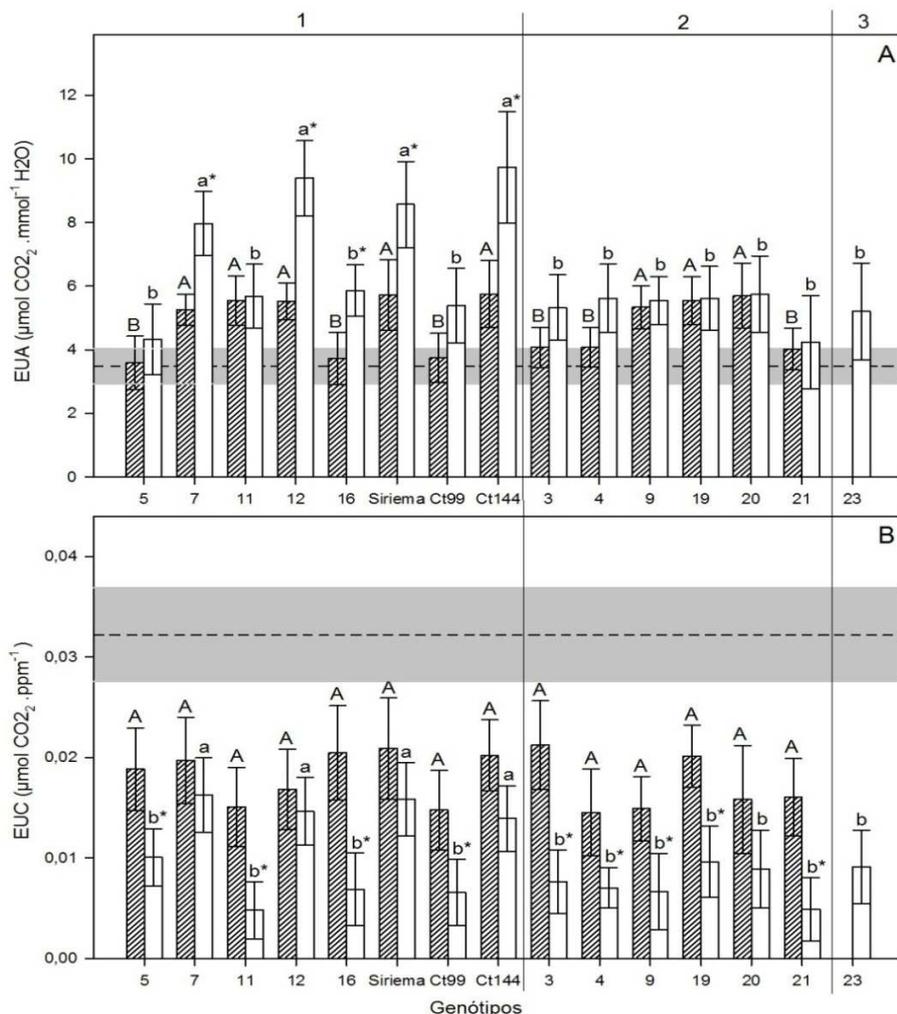


Figura 5 Efeito do déficit hídrico na eficiência do uso da água (A) e eficiência do uso do carbono (B) de quinze genótipos de café arábica

Nota: A linha tracejada e a área cinza correspondem, respectivamente, a média e o desvio-padrão da média do controle (sem restrição hídrica). As colunas rachuradas representam o déficit hídrico moderado ($\Psi_{\text{am}} = \pm -1,5$ Mpa) e as colunas claras representam o déficit hídrico severo ($\Psi_{\text{am}} = \pm -3,0$ Mpa). As barras de erro representam o desvio padrão. Letras maiúsculas diferentes representam diferença significativa das médias sob déficit moderado e letras minúsculas diferentes representam diferença significativa das médias sob déficit hídrico severo pelo teste de Skott-Knott para $P < 0,05$ dentro dos grupos 1, 2 e 3. O asterisco representa diferença significativa entre o déficit moderado e severo.

4.5 Fluorescência e teor de clorofilas

Na Figura 6, são apresentados a eficiência fotoquímica mínima e máxima e o teor de clorofilas. Não foi observada diferença quanto à concentração de pigmentos fotossintéticos e eficiência fotoquímica mínima entre os genótipos e entre os diferentes potenciais hídricos. Sob déficit hídrico severo houve redução na eficiência fotoquímica máxima no grupo 1 dos genótipos 5, 11 e 16, e no grupo 2, dos genótipos 3, 4 e 9 (Figura 6B).

A redução dos valores do Y_{max} destes genótipos pode indicar um dano fotoinibitório na etapa fotoquímica da fotossíntese, o que pode ter contribuído para restrição da absorção de carbono observada por meio dos dados de trocas gasosas. Na etapa fotoquímica, a desidratação foliar pode levar a uma desestruturação das membranas dos tilacoides, podendo resultar na inativação das reações de transferência de elétrons, diminuindo os valores da taxa fotossintética (DIAS; BRÜGGEMANN, 2010).

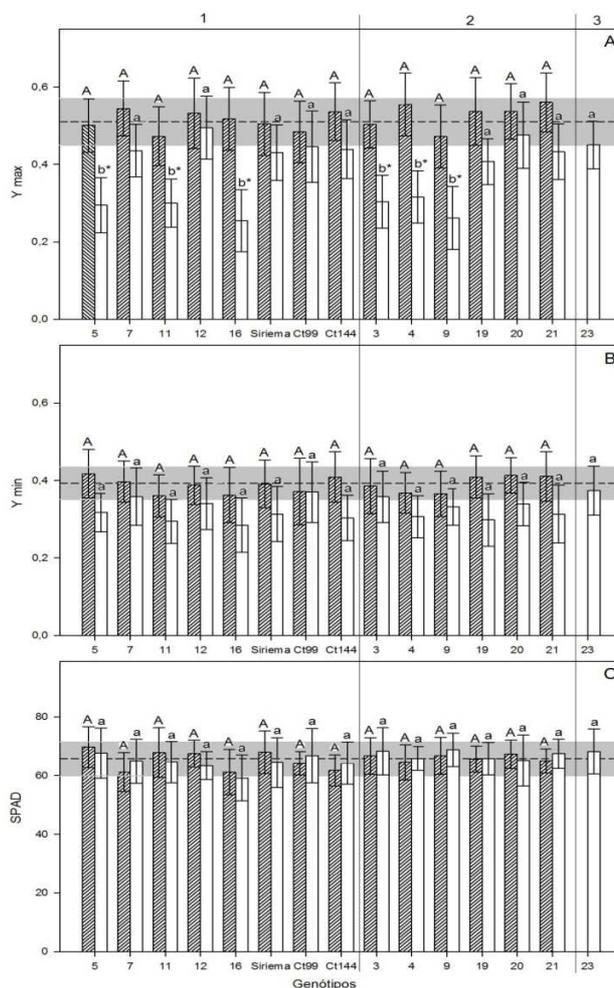


Figura 6 Efeito do déficit hídrico na eficiência fotoquímica máxima (A), eficiência fotoquímica mínima (B) e teor de clorofilas (C) de quinze genótipos de café arábica

Nota: A linha tracejada e a área cinza correspondem, respectivamente, a média e o desvio-padrão da média do controle (sem restrição hídrica). As colunas rachuradas representam o déficit hídrico moderado ($\Psi_{am} = \pm -1,5$ Mpa) e as colunas claras representam o déficit hídrico severo ($\Psi_{am} = \pm -3,0$ Mpa). As barras de erro representam o desvio padrão. Letras maiúsculas diferentes representam diferença significativa das médias sob déficit moderado e letras minúsculas diferentes representam diferença significativa das médias sob déficit hídrico severo pelo teste de Skott-Knott para $P < 0,05$ dentro dos grupos 1, 2 e 3. O asterisco representa diferença significativa entre o déficit moderado e severo.

4.6 Anatomia

Alguns dados da anatomia foliar permitem inferir tendências que explicam as variações na manutenção do *status* hídrico. O genótipo 11, que apresentou boa manutenção do *status* hídrico, apresentou uma cutícula mais espessa e a uma alta densidade estomática (Tabela 7). Os genótipos 5, 16, 19, 20 e 23 tiveram uma menor densidade estomática, mostrando menor investimento da planta na produção de estômatos (Tabela 8). Neste sentido, os genótipos que apresentaram uma melhor manutenção do *status* hídrico, tiveram uma maior densidade estomática. O aumento na densidade estomática pode estar relacionado com uma maior capacidade das plantas em captar o CO₂ da atmosfera em curto espaço de tempo, proporcionando um controle estomático mais eficiente, diminuindo assim a transpiração e mantendo o *status* hídrico da planta (BATISTA et al., 2010; CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

O genótipo 3, que não apresentou boa manutenção do *status* hídrico, teve a menor espessura de cutícula. A cutícula mais espessada, devido a sua natureza lipídica, pôde evitar a perda de água excessiva por transpiração (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). O genótipo 3, seguido do genótipo 4, apresentaram maior quantidade de vasos de xilema, o que pôde promover uma maior condutividade hidráulica, e assim, talvez, ter proporcionado em um esgotamento mais rápido da água disponível no solo em condições de déficit hídrico (Tabela 8). O genótipo 3 ainda apresentou maior espessura do floema. Ribeiro et al. (2012) analisando anatomia foliar de mandioca, afirmaram que os genótipos com os maiores valores para a espessura do floema demonstraram um maior potencial para translocação de fotoassimilados, o que pôde ter promovido um maior desenvolvimento das raízes.

As demais características como espessura da epiderme da face adaxial e abaxial, espessura do parênquima paliçádico, espessura do parênquima esponjoso, espessura do limbo, porcentagem de parênquima paliçádico, diâmetro

do xilema e razão entre diâmetro polar e diâmetro equatorial dos estômatos não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre os genótipos avaliados (Tabela 7 e 8).

Tabela 7 Média da espessura (em μm) da cutícula adaxial (CTA), epiderme adaxial (EAD), epiderme abaxial (EAB), parênquima paliçádico (PPA), parênquima esponjoso (PES), limbo foliar (LIM) e porcentagem do mesofilo representada pelo parênquima paliçádico (%PPA) dos genótipos avaliados

Genótipos	CTA	EAD	EAB	PPA	PES	%PPA	LIM
3	4,1b	27,2a	19,8a	69,0 a	195,0a	27,0a	303,8a
4	5,1b	24,8a	19,2a	78,3 a	201,6a	27,0a	314,7a
5	4,8b	26,1a	19,5a	74,7 a	195,1a	27,7a	312,5a
7	5,6b	27,6a	21,2a	71,8 a	186,1a	27,7a	308,9a
9	4,5b	25,1a	19,6a	67,9 a	189,8a	28,4a	305,1a
11	6,7a	30,1a	18,8a	81,8 a	203,9a	27,5a	325,3a
12	5,1b	29,6a	20,5a	81,3 a	209,9a	28,0a	319,0a
16	5,1b	27,6a	19,2a	72,2 a	195,0a	28,0a	304,0a
19	5,0b	25,6a	20,6a	74,4 a	203,1a	26,8a	327,8a
20	4,7b	27,6a	20,0a	71,4 a	206,8a	24,8a	325,4a
21	4,4b	26,5a	19,6a	81,0 a	206,3a	27,2a	319,6a
23	4,6b	27,4a	18,5a	78,0 a	201,0a	26,9a	314,5a
Siriema	5,0b	26,5a	19,1a	72,3 a	195,3a	27,0a	309,5a
Ct 99	4,7b	26,6a	19,2a	70,8 a	201,5a	25,3a	315,2a
Ct 144	5,3b	27,0a	20,0a	70,3 a	196,7a	26,3a	311,4a
CV(%)	17,1	8,1	7,1	17,5	8,0	12,5	6,9

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 8 Média do número de vasos de xilema (XIL), espessura (em μm) do floema (FLO), diâmetro (em μm) do xilema (DXIL), diâmetro polar/diâmetro equatorial dos estômatos (DP/DE) e densidade estomática (DEN) ($\text{n}^\circ/\text{mm}^2$)

Genótipos	XIL	FLO	DXIL	DP/DE	DEN
3	212,8a	96,0a	18,9a	1,5a	192,9a
4	195,8b	87,0b	18,7a	1,5a	180,6a
5	144,8d	75,3c	17,9a	1,4a	160,2b
7	148,3d	73,3c	20,7a	1,4a	171,3a
9	174,8c	79,9b	19,4a	1,5a	196,0a
11	147,3d	72,9c	18,8a	1,5a	185,2a
12	160,3d	77,1c	19,8a	1,4a	167,2a
16	151,5d	72,3c	17,9a	1,4a	129,6b
19	150,3d	70,1c	18,9a	1,5a	160,5b
20	157,0d	75,4c	19,4a	1,5a	149,7b
21	155,5d	71,2c	18,0a	1,5a	166,7a
23	167,5c	84,8b	21,9a	1,5a	151,2b
Siriema	172,0c	79,9b	20,0a	1,5a	192,9a
Ct99	181,3c	81,6b	17,3a	1,5a	172,8a
Ct 144	154,3d	82,5b	17,5a	1,5a	170,0a
CV(%)	13,4	8,3	11,8	5,0	13,3

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

5 CONCLUSÃO

- A cultivar Catuaí Vermelho IAC 144, e as progênies Siriema 24 (3-54(19-22); Grupo Siriema), 7 (H419-5-2-4-18; Grupo Paraíso) e 12 (H419-6-2-7-1-1; Grupo Paraíso) tiveram características fisiológicas e anatômicas que contribuíram para uma melhor manutenção do *status* hídrico na fase de muda. Dentre estas características podemos destacar uma maior sensibilidade estomática, maior eficiência do uso da água e maior densidade estomática.

- A boa manutenção do *status* hídrico da progênie 11 (H419-6-2-4-2-2; Grupo Paraíso) deve estar relacionada a características anatômicas, pois este genótipo apresentou uma cutícula mais espessa e uma alta densidade estomática.

- As progênies 3 (H419-3-3-7-16-2; Grupo Paraíso), 5 (H419-3-4-4-13; Grupo Paraíso) e 16 (H514-5-4-25M; Grupo Catiguá), que não apresentaram uma boa manutenção do *status* hídrico na fase de muda, apresentaram menor sensibilidade estomática e menor eficiência no uso da água. Este comportamento deve estar relacionado à menor espessura da cutícula da progênie 3 e a menor densidade estomática das progênies 5 e 16.

REFERÊNCIAS

- ABRAMS, M. D.; KUBISKE, M. E.; MOSTOLLER, S. A. 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.
- ALÈGRE, C. Climates et caféiers d'Arabie. **Agronomie Tropicale**, Paris, v. 14, p. 23-58, 1959.
- ALMEIDA, A. A. F.; MAESTRI, M. Characteristics of slow chlorophyll fluorescence emission in four *Coffea arabica* genotypes submitted to water stress. **Photosynthetica**, Praha, v. 32, n. 2, p. 161-169, 1996.
- ALVES, E. S. et al. Estudo anatômico foliar do clone híbrido 4430 de *Tradescantia*: alterações decorrentes da poluição área urbana. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 4, p. 567-576, dez. 2001.
- 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.
- ASSAD, E. D. et al. Impacts of climate change on the agricultural zoning of climate risk for cotton cultivation in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 1, p. 1-8, Jan. 2013.
- BARROS, R. S. et al. Determinação de área de folhas do café (*Coffea arabica* L. cv 'Bourbon Amarelo'). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 20, n. 107, p. 44-52, jan./mar. 1973.
- BATISTA, L. A. et al. Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 475-481, jul./set. 2010.
- BENETTI, R. et al. Variação na anatomia foliar de cafeeiros. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 4, n. 2, p. 99-105, 1992.
- CAI, Z. Q. et al. Responses of two field-grown coffee species to drought and re-hydration. **Photosynthetica**, Prague, v. 43, n. 2, p. 197-193, 2005.

CAMARGO A. P. O clima e a cafeicultura no Brasil. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 11, n. 126, p. 13- 26, jun. 1985.

CAMARGO, M. B. P. de. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 239–247, 2010.

CARR, M. K. V. The water relations and irrigation requirements of *Coffea*. **Experimental Agriculture**, Great Britain, v. 37, n. 1, p. 1–36, Jan. 2001.

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

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

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira, café**. Brasília: Conab, 2014. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_01_09_09_18_57_boletim_cafe_-_original.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2014.

DAMATTA, F. M. et al. Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. **Plant Science**, Limerick, v. 164, n. 1, p. 111–117, Jan. 2003.

DAMATTA, F. M. et al. Water relations of coffee leaves (*Coffea arabica* and *C. canephora*) in response to drought. **Journal of Horticultural Science**, London, v. 68, n. 5, p. 741-746, 1993.

DAMATTA, F. M. Exploring drought tolerance in coffee: a physiological approach with some insights for plant breeding. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 16, n. 1, p. 1–6, jan./abr. 2004.

DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 18, n. 1, p. 55–81, jan./mar. 2006.

DIAS, M. C.; BRÜGGEMANN, W. Limitations of photosynthesis in *Phaseolus vulgaris* under drought stress: gas exchange, chlorophyll fluorescence and Calvin cycle enzymes. **Photosynthetica**, v. 48, n. 1, p. 96–102, Mar. 2010.

DIAS, P. C. et al. Relações hídricas e trocas gasosas de duas progênies de café submetidas ao déficit hídrico moderado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASI, 4., 2005, Londrina. **Resumos Expandidos...** Brasília: Embrapa Café, 2005.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Científica Symposium**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 36-41, jul./dez. 2008.

FRANCO C. M. **Influence of temperature on growth of coffee plant**. New York: IBEC Research Institute, 1958.

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

GUIMARAES, P. T. G. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V, V. H. (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.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2013: the physical science basis**. Georgia: IPCC, 2013.

IRVING, L. J.; ROBINSON, D. A dynamic model of Rubisco turnover in cereal leaves. **The New phytologist**, London, v. 169, n. 3, p. 493–504, 2006.

KANECHI, M. et al. Non-stomatal inhibition associated with inactivation of rubisco in dehydrated coffee leaves under unshaded and shaded conditions. **Plant & Cell Physiology**, Oxford, v. 37, n. 4, p. 455–460, 1996.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press, 1995.

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

LEITE, A. M. C.; LLERAS, E. Ecofisiologia de plantas da Amazônia: anatomia foliar e ecofisiologia de *Pogonophora schomburgkiana* Miers. (Euphorbiaceae). **Acta Amazônica**, Manaus, v.8, n. 3, p. 365-370, set. 1978.

LIMA, A. L. S. et al. Photochemical responses and oxidative stress in two clones of *Coffea canephora* under water deficit conditions. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 47, n. 3, p. 239–247, May 2002.

MARENGO, J. A.; VALVERDE, M. C. Caracterização do clima no século XX e cenário de mudanças de clima para o Brasil no século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. **Revista Multiciência**, Campinas, n. 8, p. 5–28, maio 2007.

MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S. R.; SILVA, M. B. Maior vigor e resistência à seca em cafeeiros Siriema. **Revista Brasileira de Tecnologia Cafeeira**, v. 1, n. 2, p. 13-14, jul./ago. 2004.

MATTA, F. M. da; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Photosynthetic performance of two coffee species under drought. **Photosynthetica**, Prague, v. 34, n. 2, p. 257-264, Jan. 1997.

MATTA, F. M. da; RENA, A. B. Relações hídricas no cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 1999, Poços de Caldas. **Palestras....** Brasília: Embrapa Café, 1999. p. 9–44.

MEDRANO, H. et al. Improving forage crops for semi-arid areas. **Outlook on Agriculture**, Elmsford, v. 27, n. 2, p. 89-94, 1998.

MEDRANO, H. et al. Regulation of Photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: stomatal conductance as a reference parameter. **Annals of Botany**, London, v. 89, n. 7, p. 895–905, 2002.

MEDRI, M. E.; LLERAS, E. Aspectos da anatomia de folhas de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 10, n. 3, p. 463-493, 1980

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Sobre a Lei de Acesso à Informação nº 12.527/2011. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2013. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cafe>>. Acesso em: 10 dez. 2013.

MIRANDA, J. M.; PERECIN, D.; PEREIRA, A. P. Produtividade e resistência à ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* BERK. ET BR.) de progênies F5 de Catuaí amarelo com Híbrido de Timor. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 9, n. 6, p. 1195–1200, nov./dez. 2005.

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, jun. 2006.

OUYANG, W. et al. Impact of crop patterns and cultivation on carbon sequestration and global warming potential in an agricultural freeze zone. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 252, p. 228-237, Mar. 2013.

PAGLIS, C. M. et al. Sistema radicular do café Siriema cultivado sob restrição hídrica. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 6., 2008, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Embrapa Café, 2008.

PINHEIRO, H. A et al. Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. **Annals of Botany**, London, v. 96, n. 1, p. 101–8, May 2005.

PRAXEDES, S. C. et al. Effects of long-term soil drought on photosynthesis and carbohydrate metabolism in mature robusta coffee (*Coffea canephora* Pierre var. *kouillou*) leaves. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 56, n. 3, p. 263–273, July 2006.

RAMIRO, D. A. et al. Caracterização anatômica de folhas de cafeeiros resistentes e suscetíveis ao bicho-mineiro. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 3, p. 363–372, dez. 2004.

RENA, A. B.; GUIMARÃES, P. T. G. **Sistema radicular do cafeeiro: estrutura, distribuição, atividade e fatores que o influenciam**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2000. (EPAMIG, Documentos, 37).

RIBEIRO, M. N. O. et al. Anatomia foliar de mandioca em função do potencial para tolerância à diferentes condições ambientais. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 43, n. 2, p. 354-361, abr./jun. 2012.

SILVA, A. L. et al. Variability of water balance components in a coffee crop in Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 2, p. 105–114, Mar./Apr. 2006.

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.

SYLVAIN, P. Some observations on *Coffea arabica* L in Ethiópia. **Turrialba**, San José, v. 5, n. 1-2, p. 37-53, 1955.

THORNTON, P. **Recalibrating food production in the developing world: global warming will change more than just the climate.** Copenhagen: Climate Change, Agriculture and Food Security, 2012.

TURNER, N. C. Further progress in crop water relations. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 58, p. 292-338, 1997.

WANG, W.; VINOCUR, B.; ALTMAN, A. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. **Planta**, Berlin, v. 218, n. 1, p. 1–14, Nov. 2003.