



**LARISSA SOUSA COELHO**

**SELEÇÃO DE CAFEIROS DO CRUZAMENTO DE  
ICATU X CATIMOR SOB DÉFICIT HÍDRICO**

**LAVRAS - MG**

**2017**

**LARISSA SOUSA COELHO**

**SELEÇÃO DE CAFEIROS DO CRUZAMENTO DE ICATU X CATIMOR 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.

Prof. Dr. Gladyston Rodrigues Carvalho

Orientador

Dra. Vânia Aparecida Silva

Coorientadora

**LAVRAS - MG**

**2017**

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

Coelho, Larissa Sousa.

Seleção de cafeeiros do cruzamento de Icatu x Catimor sob déficit hídrico / Larissa Sousa Coelho. - 2017.

71 p. : il.

Orientador: Gladyston Rodrigues Carvalho.

Coorientadora: Vânia Aparecida Silva.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Caracterização fisiológica. 2. Icatu. 3. Catimor. I. Carvalho, Gladyston Rodrigues. II. Silva, Vânia Aparecida. III. Título.

**LARISSA SOUSA COELHO**

**SELEÇÃO DE CAFEIROS DO CRUZAMENTO DE ICATU X CATIMOR SOB  
DÉFICIT HÍDRICO**

***SELECTION OF COFFEE PLANTS UNDER WATER DEFICIT FROM  
CROSSBREEDING OF THE CULTIVARS ICATU X CATIMOR***

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 28 de novembro de 2017.

Dr. César Elias Botelho                      EPAMIG

Prof. Dr. Rubens José Guimarães        UFLA

Dra. Vânia Aparecida Silva                EPAMIG

Prof. Dr. Gladyston Rodrigues Carvalho  
Orientador

**LAVRAS - MG**

**2017**

À minha mãe, pelo carinho, incentivo, ensinamentos e amor incondicional.  
Aos meus irmãos Lívia e Matheus, pelo carinho e momentos de descontração.  
À meu marido, pelo carinho, compreensão e apoio em todos os momentos.  
À Deus, pela vida e proteção.

Dedico.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela vida, por ser esperança nos momentos difíceis e iluminar os caminhos por onde devo seguir.

Ao Programa de Pós-graduação em Fitotecnia da Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade da realização do curso de Mestrado, e à Universidade Federal de Lavras, por me conceder tantas oportunidades na vida.

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

À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), pela cessão da área experimental e todo apoio na condução deste trabalho.

Ao setor de cafeicultura do departamento de agricultura pela estrutura e apoio na realização do experimento.

Ao CNPq, Consórcio Pesquisa Café e FAPEMIG pelo apoio financeiro para condução do projeto.

À todos os funcionários e amigos da EPAMIG que, de alguma forma, contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho.

Agradeço imensamente ao Orientador Pesq. Dr. Gladyston, pela dedicação, ensinamentos, apoio e confiança.

Ao Pesq. Dr. César, pelo apoio e grandiosos conhecimentos transmitidos.

À coorientadora Vânia, pelos ensinamentos e dedicação neste trabalho.

Aos meus avós Lázaro e Antônia, pelos exemplos de vida e carinho.

À minha mãe, por ser exemplo de mulher guerreira em minha vida, pelo apoio, orações e torcidas em todos os momentos.

Aos meus irmãos Lívia e Matheus, por todo apoio e carinho.

Ao meu pai, pelos ensinamentos.

Ao meu marido Lucas, pelo apoio, carinho e amor que me conforta e me alegra em todos os momentos.

Ao grupo de pesquisa da EPAMIG e ao NECAF, pela grandiosa ajuda nas avaliações do experimento.

Às grandes amigas Bárbara, Flavinha, Mary e Fer, pelos momentos valiosos que passamos juntas, pelo carinho, apoio e ensinamentos.

Aos professores Rubens, Antônio Nazareno e Virgílio, pelo apoio no projeto, conhecimentos de cafeicultura e de vida transmitidos nesta caminhada.

Aos pesquisadores e doutores Alan, Milene, Marcelo Malta, Mariana, Lívia, Fernanda, Meline e Helbert pelo apoio e colaborações neste trabalho.

Aos professores(as) Giovana, Ângela, Josélia e Chacrinha, exemplos de profissionalismo e vida.

A todos os professores e servidores da UFLA que, de alguma forma, contribuíram para que eu pudesse chegar até aqui.

À secretária do programa de pós-graduação em fitotecnia, Marli, pelos auxílios e dedicação nas atividades do programa.

À todos os familiares que, de alguma forma, contribuíram para o sucesso dessa etapa.

Aos membros da banca pelas valiosas contribuições.

**MUITO OBRIGADA!**

**“No que diz respeito às árvores, apesar de sua fisiologia básica ser semelhante à das espécies anuais, existem algumas facetas, como tamanho e complexidade da organização, tornando-os um campo de diversão emocionante.”**

(DaMatta)

## RESUMO

Estresses abióticos como o déficit hídrico podem influenciar significativamente no desenvolvimento e produtividade de *Coffea arabica* L. A caracterização para seleção de cultivares tolerantes a esse estresse é de elevada importância para a cafeicultura, principalmente pelo fato da cultura ser cultivada também em áreas consideradas marginais, onde a ocorrência dessas adversidades climáticas são mais frequentes. Objetivou-se, com esse trabalho, caracterizar 15 progênies de *Coffea arabica* L., oriundas do cruzamento entre Icatu x Catimor, além de 4 cultivares comerciais, com posterior seleção de genótipos com potencial de tolerância ao déficit hídrico, na fase inicial de desenvolvimento (1 ano de idade). O experimento foi instalado em fevereiro de 2016, e a aplicação dos tratamentos hídricos ocorreu em outubro do mesmo ano, em casa de vegetação do Campo Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG, em Lavras, MG. Utilizou-se delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 19 x 2 (19 genótipos x 2 tratamentos hídricos) com parcelas subdivididas no tempo (7 tempos de avaliação), e 4 repetições, sendo a parcela constituída por 1 planta. Após a imposição dos tratamentos hídricos, foram realizadas avaliações durante 42 dias. Ao iniciar o experimento, metade das mudas foram submetidas à suspensão total da irrigação e a outra metade foi mantida com umidade na capacidade de campo. Para a caracterização e seleção, foram realizadas avaliações fisiológicas e agronômicas. Nas avaliações fisiológicas foram analisadas as taxas fotossintéticas (A), condutância estomática ( $g_s$ ), transpiração (E), eficiência do uso da água (EUA), eficiência de uso do carbono (EUC) e potencial hídrico de antemanhã ( $\Psi_{am}$ ). Quanto à caracterização agronômica foram avaliados o diâmetro de caule inicial (DCI), diâmetro de caule final (DCF), altura inicial (HI), altura final (HF), área foliar (AFI), número de nós do ramo ortotrópico (NN), diâmetro de copa (DCP), angulação do ramo plagiotrópico (ANG), matéria seca de folhas (MSF), matéria seca de raiz (MSR) e matéria seca total (MST). Os resultados mostraram que a cultivar IPR 100 e as progênies 2 (H 29-1-8-5-14-2), 5 (H 136-1-19-7-14-4) e 12 (H 136-1-19-4-6-5) apresentaram características agronômicas e fisiológicas que contribuíram para uma melhor manutenção do *status* hídrico no desenvolvimento inicial de plantas de café, sendo fatores indicativos para a seleção desses genótipos como potencialmente tolerantes ao déficit hídrico.

**Palavras-chave:** Caracterização fisiológica. *Coffea arabica*. Irrigação. Tolerância.

## RESUMEN

Los factores abióticos como el déficit hídrico pueden influir significativamente en el desarrollo y la productividad de *Coffea arabica* L. La caracterización para la selección de cultivares tolerantes a ese estrés es de gran importancia para la cafeicultura, principalmente por el hecho de que ésta se cultiva/realiza también en áreas consideradas marginales, donde la incidencia de estas adversidades climáticas es más frecuente. El objetivo de este trabajo fue caracterizar 15 progenies de *Coffea arabica* L, oriundas del cruce entre Icatu x Catimor, además de 4 cultivares comerciales, con posterior selección de genotipos con potencial de tolerancia al déficit hídrico, en la etapa del desarrollo inicial (i.e. plantas de 1 año de edad). El experimento fue instalado en febrero de 2016, y la aplicación de los tratamientos hídricos ocurrió en octubre del mismo año, en la casa de vegetación del Campo Experimental de la Empresa de Investigación Agropecuaria de Minas Gerais - EPAMIG, en Lavras, MG. Se utilizó delineamiento experimental en bloques casualizados (DBC), en esquema factorial 19 x 2 (19 genotipos x 2 tratamientos hídricos) con parcelas subdivididas en el tiempo (7 tiempos de evaluación), y 4 repeticiones, siendo la parcela constituida por 1 planta. Después de la imposición de los tratamientos hídricos, se realizaron evaluaciones durante 42 días. Al iniciar el experimento, la mitad de las mudas fueron sometidas a la suspensión total del riego y la otra mitad se mantuvo con humedad en la capacidad de campo. Para la caracterización y selección se realizaron evaluaciones fisiológicas y agronómicas. En las evaluaciones fisiológicas se analizaron las tasas fotosintéticas (A), la conductividad estomática (gs), la transpiración (E), la eficiencia del uso del agua (EUA), la eficiencia del uso del carbono (EUC) y el potencial hídrico de antemano ( $\Psi_{am}$ ). En cuanto a la caracterización agronómica se evaluó el diámetro de tronco inicial (DCI), el diámetro de tronco final (DCF), la altura inicial (HI), la altura final (HF), el área foliar (AFI), el número de nodos de la rama ortotrópica (NN), el diámetro de la copa (DCP), la angulación de la rama plagiotrópica (ANG), la materia seca foliar (MSF), la materia seca de raíz (MSR) y la materia seca total (MST). Los resultados mostraron que el cultivar IPR 100 y las progenies 2 (H 29-1-8-5-14-2), 5 (H 136-1-19-7-14-4) y 12 (H 136-1- (19-4-6-5) presentaron características agronómicas y fisiológicas que contribuyeron a un mejor mantenimiento del status hídrico en el desarrollo inicial de plantas de café, siendo factores indicativos para la selección de esos genotipos como potencialmente tolerantes al déficit hídrico.

Palabras clave: Caracterización fisiológica. *Coffea arabica*. Irrigación. Tolerancia.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição de chuvas (mm) no decorrer dos anos em São Sebastião do Paraíso, MG (a); Precipitação total anual (mm) em São Sebastião do Paraíso, MG (b). .....	25
Figura 2 - Temperatura média diária (a) e umidade relativa média diária (b) da casa de vegetação da Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), na cidade de Lavras – MG, durante o período de imposição dos tratamentos hídricos. ....	26
Figura 3 - Biplot das características agronômicas e fisiológicas de mudas de cafeeiro submetidas à condição de irrigação durante 42 dias. Lavras - MG. ....	45
Figura 4 - Biplot das características agronômicas e fisiológicas de mudas de cafeeiro submetidas à condição de déficit hídrico durante 42 dias experimentais. Lavras - MG.....	47
Figura 5 - Biplot das características fisiológicas de mudas de cafeeiro submetidas à condição de irrigação durante 42 dias. Lavras - MG.....	48
Figura 6 - Biplot das características fisiológicas de mudas de cafeeiro submetidas à condição de déficit hídrico durante 42 dias. Lavras – MG.....	49

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Umidade do substrato contida nos tratamentos irrigados e não irrigados.....	33
Gráfico 2 - Resumo de variação da taxa fotossintética de genótipos contrastantes sob condição de déficit hídrico e irrigação aos 0, 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após a imposição dos tratamentos hídricos.....	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Identificação, genealogia, grupo e origem das progênes em geração F6 e cultivares avaliadas no experimento.....	25
Tabela 2 - Análise do substrato utilizado para enchimento dos vasos.....	28
Tabela 3 - Variáveis avaliadas, sigla, unidade e transformação de dados recomendada pelo programa GENES para ajuste dos dados à curva normal. ....	30
Tabela 4 - Resumo da análise de variância de seis características agronômicas de genótipos de <i>Coffea arabica</i> L. antes da imposição do déficit hídrico.....	34
Tabela 5 - Médias de seis características agronômicas de genótipos de <i>Coffea arabica</i> L. avaliados antes da imposição do déficit hídrico.....	35
Tabela 6 - Resumo da análise de variância de três características agronômicas de genótipos de <i>Coffea arabica</i> L. avaliadas ao fim da imposição do déficit hídrico.....	36
Tabela 7 - Médias de duas características agronômicas de genótipos de <i>Coffea arabica</i> L. avaliados após a imposição do déficit hídrico.....	37
Tabela 8 - Diferença entre as médias do diâmetro inicial e médias do diâmetro final de 19 genótipos de <i>Coffea arabica</i> L. nas condições de irrigação e sequeiro.....	39
Tabela 9 - Diferença entre médias de altura inicial e médias de altura final de 19 genótipos de <i>Coffea arabica</i> L. nas condições de irrigação e sequeiro.....	41
Tabela 10 - Correlação entre as características diâmetro de caule inicial (DCI); altura de planta inicial (API); angulação dos ramos plagiotrópicos em relação ao ortotrópico (ANG); área foliar inicial (AFI); diâmetro de caule final (DCF); altura de planta final (APF); matéria seca de folhas (MSF); matéria seca de raiz (MSR); taxa fotossintética (A); condutância estomática (gs); transpiração (E); eficiência de uso do carbono (EUC); eficiência de uso da água (EUA) e potencial hídrico de antemanhã ( $\Psi_{am}$ ) de plantas sob condição de déficit hídrico.....	43
Tabela 11 - Correlação das variáveis fisiológicas ( $\Psi_{am}$ , VpdL, Ctleaf, Ci, EUA, EUC, A, E, gs) e agronômicas (DCI, HPI, ANG, AFI, NN, DCF, HPF, MSF, MSR, MST) com as duas primeiras componentes principais, sob irrigação e sequeiro. <i>Coffea arabica</i> L. ....	44

Tabela 12 - Correlação das variáveis fisiológicas ( $\Psi_{am}$ , $V_{pdL}$ , $C_{tleaf}$ , $C_i$ , $EUA$ , $EUC$ , $A$ , $E$ , $g_s$ ) com as duas primeiras componentes principais, sob irrigação e sequeiro. <i>Coffea arabica</i> L. ....	47
Tabela 13 - Resumo da análise de variância para taxa fotossintética, condutância estomática, transpiração, eficiência do uso do carbono, eficiência do uso da água e potencial hídrico de antemanhã de 19 genótipos, sob condição de irrigação e sequeiro ao longo de sete períodos de avaliação (42 dias). ....	49
Tabela 14 - Médias referentes ao potencial hídrico de antemanhã (Mpa) de 19 genótipos sob condição de irrigação (I) e déficit hídrico (DH) e ao longo de sete períodos de avaliação (42 dias).....	52
Tabela 15 - Médias da taxa fotossintética de 19 genótipos sob condição de irrigação (I) e déficit hídrico (DH), ao longo de sete períodos de avaliação (42 dia).....	54
Tabela 16 - Médias da condutividade estomática ( $\text{molH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) de 19 genótipos sob condição de irrigação e sequeiro, ao longo de sete períodos de experimentação (42 dia).....	56
Tabela 17 - Médias das taxas de transpiração ( $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) de 19 genótipos, sob condição de irrigação (I) e déficit hídrico (DH) ao longo de sete períodos de avaliação (42 dias) .....	57
Tabela 18 - Médias da eficiência de uso da água de 19 genótipos, sob condição de irrigação e déficit hídrico ao longo de sete períodos de avaliação (42 dias). .....	61
Tabela 19 - Médias da eficiência de uso do carbono ( $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{ppm}^{-1}$ ) de 19 genótipos, sob condição de irrigação e déficit hídrico ao longo de sete períodos de avaliação (42 dias) .....	63

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	17
	<b>Cultura do cafeeiro no Brasil e no mundo</b> .....	17
	<b>Germoplasmas Catimor e Icatu</b> .....	18
	<b>Estresse hídrico e a cultura do cafeeiro</b> .....	19
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	24
	<b>Implantação do experimento em casa de vegetação</b> .....	25
	<b>Avaliações</b> .....	28
	<b>Análises estatísticas</b> .....	29
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	33
	<b>Características agronômicas</b> .....	33
	<b>Correlação de Pearson</b> .....	42
	<b>Análise de componentes principais</b> .....	44
	<b>Relações hídricas e trocas gasosas</b> .....	49
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	64
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	65
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	66

## 1 INTRODUÇÃO

O café é considerado um dos produtos mais importantes do comércio agrícola internacional, e representa uma significativa fonte de renda para vários países Latino-Americanos, Africanos e Asiáticos. Essa atividade ocupa atualmente uma área de 2,23 milhões de hectares no Brasil, gerando uma produção anual entre 43,65 e 47,51 milhões de sacas beneficiadas, segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2017). Desse total produzido, cerca de 90% vêm da região Centro-Sul do país, com destaque de produção para Minas Gerais, São Paulo e Espírito Santo, exercendo grande influência sobre a economia desses estados. Entretanto, o sucesso dessa atividade está relacionado ao progresso das pesquisas realizadas, as quais proporcionam expressivos avanços nos sistemas de cultivo e manejo.

Com o desenvolvimento de pesquisas em melhoramento genético de plantas, pode-se obter cultivares de café potencialmente tolerantes às diversas adversidades bióticas e abióticas. A obtenção de plantas tolerantes à seca, às altas temperaturas e que apresentem boa produtividade tem sido uma das prioridades dos programas de melhoramento genético do cafeeiro.

O aquecimento global e as mudanças climáticas são grandes desafios para os pesquisadores de diversas áreas do conhecimento e carece constantemente de estudos sobre o desenvolvimento das culturas agrícolas diante dessas alterações. O Brasil viveu, nos últimos anos, uma das maiores crises hídricas de sua história, o que levou o país a enfrentar problemas na gestão dos recursos naturais. A caracterização para a seleção de cultivares tolerantes ao déficit hídrico é importante para a cafeicultura, principalmente pelo fato da cultura também ser plantada em áreas consideradas marginais, onde a ocorrência de adversidades climáticas são mais frequentes. O conhecimento do status hídrico de cultivares cafeeiras pode levar à compreensão do potencial de produtividade de cada genótipo, visto que a água influencia diretamente na capacidade produtiva das plantas.

Programas de melhoramento e pesquisas agrícolas, vêm buscando formas para desenvolver cultivares adaptadas a seca, já que a falta de água é considerado o principal limitante da produtividade primária dos ecossistemas e rendimento das culturas, por restringir a fotossíntese e demais mecanismos celulares das plantas.

No que se refere à fisiologia vegetal, as plantas apresentam complexas respostas fisiológicas quando submetidas à baixa disponibilidade hídrica, podendo demonstrar diferentes modificações em seus mecanismos, de acordo com o déficit hídrico no solo sob o



qual forem submetidas. Todavia, avaliações de características fisiológicas foliares (relações hídricas e fotossíntese), têm sido de grande importância para a identificação, em curto espaço de tempo, de genótipos com tolerância diferencial a estresses hídricos, térmicos ou outro tipo de estresse (SILVA et al., 2013).

Além disso, as alterações agronômicas estão associadas às respostas fisiológicas das plantas e, quando analisadas em conjunto, podem apresentar respostas relevantes aos estudos dos mecanismos de tolerância ao déficit hídrico do cafeeiro.

Diante do exposto, a seleção de genótipos tolerantes ao déficit hídrico pode ser realizada por análises fisiológicas e agronômicas, possibilitando boa produtividade na cafeicultura brasileira mesmo em condições climáticas desfavoráveis. Neste trabalho, objetivou-se selecionar genótipos de *Coffea arabica* L. advindos do cruzamento entre ‘Icatu Vermelho IAC 2942’ x ‘Catimor UFV 1340’ que apresentem boa produtividade e potencial de tolerância ao déficit hídrico.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### **Cultura do cafeeiro no Brasil e no mundo**

O café é originário da Etiópia, centro da África, onde a província de Kaffa é apontada como o habitat original de *Coffea arabica* L. (MURTHY; NAIDU, 2012). Somente após o século XVII o cultivo do café foi difundido pelo mundo, sendo então produzido por holandeses e franceses, o que possibilitou, pelas mãos dos colonizadores europeus, que o café chegasse ao Suriname, São Domingos, Cuba, Porto Rico e Guianas. Assim, por meio da Guiana Francesa o café chegou ao norte do Brasil (Belém), trazido pelo Sargento-Mor Francisco de Mello Palheta, no ano de 1727 (OLIVEIRA et al., 2012). Somente a partir do início do século XIX o café começou a ter importância na economia mundial, sendo considerada principal fonte de divisas, crescimento e desenvolvimento de muitos países (SILVA, 2002).

Segundo estimativas realizadas pela International Coffee Organization (ICO, 2017), a produção mundial de café em 2016/2017 será de cerca de 151,6 milhões de sacas, o que representará um aumento de 0,1% em relação à safra 2015/2016. O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café, com estimativa de produzir entre 43,6 e 47,5 milhões de sacas beneficiadas em 2017, sendo a produção de café arábica correspondente a aproximadamente 80,2% do volume total produzido pelo país, com Minas Gerais como o maior estado produtor (CONAB, 2017). No Brasil, o café é cultivado principalmente nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo, Bahia e Paraná, cada qual com características próprias do ambiente e tecnologias de produção.

As regiões consideradas aptas para o cultivo de *Coffea arabica* L., são aquelas que apresentam temperatura média anual entre 19 e 22° C (MATIELLO et al., 2010), desde que sejam regiões livres ou pouco sujeitas a ocorrência de geadas. Regiões que apresentam temperaturas médias anuais inferiores a 18°C provocam atrasos demasiados no desenvolvimento dos frutos, cuja maturação pode sobrepor-se ou ultrapassar a florada seguinte, o que prejudica a vegetação e produção do cafeeiro, enquanto temperaturas superiores a 23 °C proporcionam a maturação demasiadamente precoce dos frutos (CAMARGO, 1985).

O cafeeiro é uma planta perene, entretanto, ao longo dos vários anos de cultivo, a cultura pode sofrer danos, em razão da ocorrência de inúmeros intempéries, tais como geadas, chuvas de granizo, aumento e queda brusca de temperatura, além de intensos períodos de chuva ou seca (PAIVA et al., 2012). Entretanto, se a cultura é submetida a períodos de déficit

hídrico, são absorvidas menores quantidade de água e nutrientes pelas plantas, e as relações hídricas são diretamente afetadas.

### **Germoplasmas Catimor e Icatu**

Cruzamentos de Híbrido de Timor com a cultivar Caturra Vermelho, realizados em Portugal, pelo Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro (CIFC) deu origem ao material designado de Catimor, cuja principais características são: elevada adaptação aos diversos ambientes e alta produtividade nos primeiros anos produtivos. Além disso, algumas progênes vêm sobressaindo com elevada resistência à ferrugem e com produtividades semelhantes às cultivares de Catuaí (SEVERINO et al., 2000; ZAMBOLIM et al., 2000), tornando-as promissoras para o lançamento de novas cultivares (PEREIRA et al., 2002).

Em estudos realizados com 15 cultivares de café, Batista et al. (2010) concluíram que características anatômicas encontradas na cultivar Catimor UFV 5390 são indicativos de tolerância ao déficit hídrico, gerando a possibilidade de cultivo em áreas com restrições hídricas. A cultivar Catimor também apresentou maior resistência às condições edafoclimáticas em experimento conduzido em Goiânia, quando submetido à suspensão da irrigação (OLIVEIRA et al., 2009).

O Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) iniciou, em 1950, um trabalho de hibridação interespecífica, com o objetivo de transferir alelos de resistência à ferrugem da espécie *Coffea canephora* para a espécie *C. arabica*, obtendo assim cultivares resistentes ao fungo *H.vastatrix* (CARVALHO; MÔNACO, 1971). Os trabalhos iniciaram-se com o tratamento de sementes da espécie *C. canephora* com colchicina para a duplicação do número de cromossomos, visando a obter formas tetraplóides dessa espécie (MENDES, 1947). Em 1950, foi efetuado um cruzamento desse material duplicado com a cultivar Bourbon Vermelho de *C. arabica* L. (MÔNACO; CARVALHO, 1975). A partir de 1956, foram feitos retrocruzamentos do híbrido com a cultivar Mundo Novo. A descendência dessas hibridações recebeu o nome de Icatu (MÔNACO; CARVALHO; FAZUOLI, 1974). A cultivar Icatu apresentou-se como boa opção por apresentar alto vigor vegetativo, elevada capacidade produtiva e variabilidade para resistência à ferrugem, tanto vertical como horizontal (ALVARENGA, 1991; FAZUOLI; COSTA; BORBOLETO, 1983).

Pesquisadores do programa de melhoramento genético da Epamig, visando a obter genótipos com tolerância duradoura à ferrugem do cafeeiro e, ao mesmo tempo, com alta produtividade, realizaram o cruzamento de “Icatu” com “Catimor”. Algumas progênes desse

cruzamento apresentaram boa produtividade e elevado vigor em anos de precipitação hídrica abaixo da média histórica, em São Sebastião do Paraíso, Minas Gerais.

A cultivar Aranãs é um exemplo de sucesso do cruzamento de Icatu Vermelho IAC 3851-2 e Catimor UFV 1602-215 realizado pelo Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. Essa cultivar apresenta adaptações às principais regiões produtoras de *Coffea arabica* do país, sendo resistente à ferrugem, apresenta boa produtividade e sendo seus grão de ótima qualidade de bebida (CONSÓRCIO PESQUISA CAFÉ, 2017).

Em trabalho desenvolvido por Botelho et al. (2010), ao avaliarem 29 progênies resultantes do cruzamento Icatu Vermelho IAC 2942 x Catimor UFV 1340, ambos genitores resistentes à ferrugem do cafeeiro, esses autores encontraram algumas dessas progênies (15 progênies) com produtividade médias entre 19,80 e 24,47 sacas.ha<sup>-1</sup> nos as três biênios iniciais de colheita.

### **Estresse hídrico e a cultura do cafeeiro**

Estresses ambientais causados pelas mudanças climáticas, como alterações na temperatura, salinidade e seca, isoladas ou em combinação, às quais as plantas estarão expostas nas próximas décadas representam os fatores mais limitantes para a produtividade agrícola em todo o mundo (FERRÃO et al., 2016). O déficit hídrico é uma das condições que mais limita a produção primária dos ecossistemas e o rendimento das culturas, principalmente pelas restrições que impõem à fixação fotossintética do carbono (GRISI et al., 2008). Esse fato ocorre, porque à medida que a água do solo diminui, as forças de retenção da água no solo aumentam e diminui a disponibilidade de água no solo, o que torna mais difícil a absorção de água pelas culturas, fazendo com que as plantas fechem os estômatos para evitar a perda de água à atmosfera, acarretando diminuição da fixação de carbono. De acordo com DaMatta, Rena e Zambolim (2002), a faixa de precipitação para um bom desenvolvimento do cafeeiro encontra-se entre 1.200 e 1.800 mm/ano, com chuvas bem distribuídas durante todo o ano.

A água é o principal responsável pelo aumento da diversidade e manutenção de ecossistemas. Para os vegetais ela constitui cerca de 90% do seu peso, atuando em praticamente todos os processos bioquímicos e morfológicos, agindo em importantes reações na planta, como a fotossíntese, além de ser responsável pela manutenção da turgescência (FARIAS, 2005).

Para que os vegetais se desenvolvam, não basta existir água no solo, ela deve estar disponível às plantas. Entretanto, conhecer a variabilidade espacial e temporal da

disponibilidade hídrica dos solos é de suma importância na quantificação das necessidades hídricas dos vegetais. Determinações diretas e com a frequência indispensável a esse parâmetro são bastante difíceis e trabalhosas, em razão do seu comportamento dinâmico, que resulta em grande variabilidade espacial e temporal no solo (VIEIRA et al., 2010). Os solos apresentam comportamento diferenciado quanto à dinâmica e ao armazenamento da água que infiltra, em função de suas propriedades físicas, mecânicas e hídricas.

Ponto de murcha permanente (PMP) é o ponto em que o teor de água do solo é tão baixo que a planta sofre murcha irreversível e não ocorre a recuperação da turgescência de suas células. Não se pode estimar o potencial hídrico do PMP para determinada cultivar de café ou demais culturas, sem antes realizar a caracterização física, mecânica e hídrica do solo sob o qual a cultura está instalada, já que, em função dessas características, os solos apresentam diferentes capacidades de disponibilização de água às plantas.

Segundo DaMata e Ramalho (2006), não apenas no Brasil, mas em diversos países produtores de café, a seca é considerada o principal estresse ambiental capaz de afetar o desenvolvimento e a produtividade do cafeeiro.

Portanto, a produtividade do cafeeiro é fortemente influenciada pelo suprimento adequado de água e de nutrientes (COELHO et al., 2009). Dessa forma, o conhecimento do status hídrico do cafeeiro é essencial ao entendimento do potencial produtivo das cultivares, por afetar diretamente a produtividade (DAMATTA, 2004). De acordo com Santos e Carlesso (1998), o déficit hídrico provoca alterações no comportamento vegetal cuja irreversibilidade vai depender do genótipo, da duração, da severidade e do estágio de desenvolvimento da planta.

Segundo Matiello et al. (2010), o período crítico a falta de água para o cafeeiro se situa na fase de máximo desenvolvimento vegetativo e produtivo, que vai de outubro/novembro a março/abril, causando redução no desenvolvimento da planta, da produtividade, do tamanho dos frutos, no tipo do café e no rendimento do café em coco e beneficiado. A déficit hídrico na fase de chumbinho (outubro a dezembro) atrasa o crescimento dos frutos e reduz a produtividade do cafeeiro (SILVA; TEODORO; MELO, 2008). O tamanho final dos grãos é fortemente associado à precipitação ocorrida no período de 10 a 17 semanas após o florescimento, período este considerado de expansão rápida dos frutos (CAMARGO, 1987). Segundo Camargo (1989), deficiências hídricas acentuadas na fase de frutificação ou expansão, afetam o crescimento dos grãos e, se ocorrerem na fase de granação, quando os frutos estão solidificando internamente, eles poderão ficar chochos ou mal granados. Além disso, o estresse hídrico limita a expansão celular, o que causa redução da área foliar e,

consequentemente, a redução na taxa fotossintética, já que a fotossíntese é proporcional a ela (TAIZ; ZEIGER, 2013).

As estratégias pelas quais as plantas podem crescer e desenvolver-se adequadamente em ambientes com restrição hídrica são: (i) escapar do estresse, por meio de um curto ciclo de desenvolvimento – esse mecanismo tem importância apenas para plantas anuais; (ii) evitar o déficit hídrico, pela redução da transpiração ou do aumento da absorção de água (TARDIEU, 2005).

Como raramente as plantas estão em plena hidratação, elas sofrem com déficits hídricos, que, sendo de curta duração, não afetam o seu crescimento e desenvolvimento. O potencial de água na folha medido antes do nascer do sol (antemanhã) é considerado um indicativo do estado hídrico das plantas, apresentando a maior turgescência possível para uma dada condição hídrica encontrada no solo (LARCHER, 2004).

A água exerce efeitos sobre o solo e planta em função de sua energia livre, denominada de potencial total de água ( $\Psi_w$ ), cujo estado de referência é a água pura, que apresenta  $\Psi_w = 0$ . A energia livre da água no solo é inferior a zero e a água move-se em resposta a forças físicas, em direção a regiões de baixo potencial hídrico ou de baixa energia livre. Em decorrência do transporte de água ser um processo passivo, as plantas podem absorver água somente quando o seu potencial hídrico for menor que o do solo (DARDENGO, 2006). O potencial hídrico foliar é uma medida do grau de hidratação de uma planta e, assim, fornece um índice relativo do estresse hídrico do qual a planta está submetida (TAIZ; ZEIGER, 2013). Segundo DaMatta et al. (2000), o potencial hídrico foliar de antemanhã do cafeeiro Conilon, observado em clones tolerantes à seca foram maiores, com valores de - 0,29 MPa (clone 14) e -0,61 MPa (clone 120), e em clones sensíveis, esse potencial foi bem mais baixo, atingindo valores de -1,59 (clone 46) e -0,99 MPa (clone 201), quando o potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) do solo estimado a partir de uma curva de retenção de umidade, foi de  $-1,3 \pm 0,14$  MPa (0-20 cm) e  $-0,12 \pm 0,03$  MPa (20-40 cm).

De acordo com Dominghetti et al. (2016), plantas de *Coffea arabica* L. de menor porte com sistema radicular reduzido ficam mais propensas a estresse por seca, alcançando valores menores e mais acentuados de potencial hídrico foliar com maior facilidade. Submetida a condições de seca, mudas da cultivar Siriema, considerada potencialmente tolerante ao déficit hídrico, podem atingir potencial hídrico de -3 MPa, sendo capaz de recuperar-se do estresse sofrido (BRUM et al., 2013). Esses estudos demonstram que as diferenças genéticas foram determinantes para maior adaptabilidade desses clones à baixa umidade do solo.

Segundo Monte Raso et al. (2015), o comportamento genotípico é influenciado pelas condições ambientais e ocorrência da interação genótipos x ambientes, sendo fundamental em processos de indicação de cultivares. Além disso, a avaliação do potencial hídrico das plantas poderá ser um importante instrumento no apoio ao melhoramento genético do cafeeiro em relação à escolha de cultivares tolerantes ao déficit hídrico (BATISTA et al., 2010).

Há também a necessidade de se quantificar a influência do déficit hídrico, na transpiração das plantas de café, uma vez que, de acordo com Ribeiro et al. (2015), plantas mais desenvolvidas, ou seja, com maior número de dias pós plantio, ao ser submetidas ao déficit hídrico demonstram uma melhor eficiência sob controle estomático, sendo menos susceptíveis aos efeitos desse estresse.

Além de avaliações do potencial hídrico, estudos de variações morfológicas e fisiológicas em plantas de café submetidas ao déficit hídrico podem ser de grande importância na compreensão dos mecanismos que diferentes genótipos de café apresentam em resposta a esse tipo de estresse. Alterações na estrutura das folhas estão muito relacionadas com o hábitat, representando uma importante resposta plástica das plantas às condições ambientais, especialmente a disponibilidade hídrica (DIAS et al., 2005).

Em trabalhos realizados por Araujo et al. (2011) e Dardengo (2006) com mudas de *Coffea canephora*, os autores constataram que a imposição de déficit hídrico, independente da intensidade, provoca diminuição na matéria seca da parte aérea e raiz, no diâmetro dos caules, diâmetro da copa e altura das plantas, sendo que essa redução ocorre em maior ou menor intensidade de acordo com o genótipo em estudo. Entretanto, quanto maior a tolerância do genótipo ao déficit hídrico, menores reduções deverão ser observadas em relação aos parâmetros agronômicos.

Além de modificações em parâmetros agronômicos, as alterações nos mecanismos fisiológicos de mudas de cafeeiros podem indicar adaptação das plantas a algum tipo de estresse. Sendo assim, sob condições de déficit hídrico pode ocorrer diminuição na fotossíntese, em razão da limitação de CO<sub>2</sub>, resultante do fechamento dos estômatos ou por meio de um efeito direto sobre a capacidade fotossintética nos cloroplastos (LAWLOR; CORNIC, 2002). Esse fato leva a utilização da condutância estomática como uma base para a comparação de processos metabólicos em diferentes estudos, pois há uma forte relação entre a condutância estomática e a fotossíntese (FLEXAS; MEDRANO, 2002). A redução da condutância estomática diminui a perda de água das folhas e restringe a entrada de CO<sub>2</sub> nesses órgãos, o que diminui a assimilação fotossintética de carbono (ARAÚJO; DEMINICIS, 2009). Em condições ideais de luz e disponibilidade hídrica, os estômatos permaneceram

abertos, porém, na ocorrência de déficit hídrico no solo, a abertura dos estômatos para a captação de CO<sub>2</sub> será menor ou não ocorrerá, permitindo que a planta evite desidratação. O controle estomático da transpiração é considerado o principal processo que determina a resposta em curto-prazo de uma planta a condições de seca, e afeta diretamente a taxa de água do solo, o potencial hídrico da planta e o transporte de solutos no fluxo xilemático (TARDIEU; SIMONNEAU, 1998).

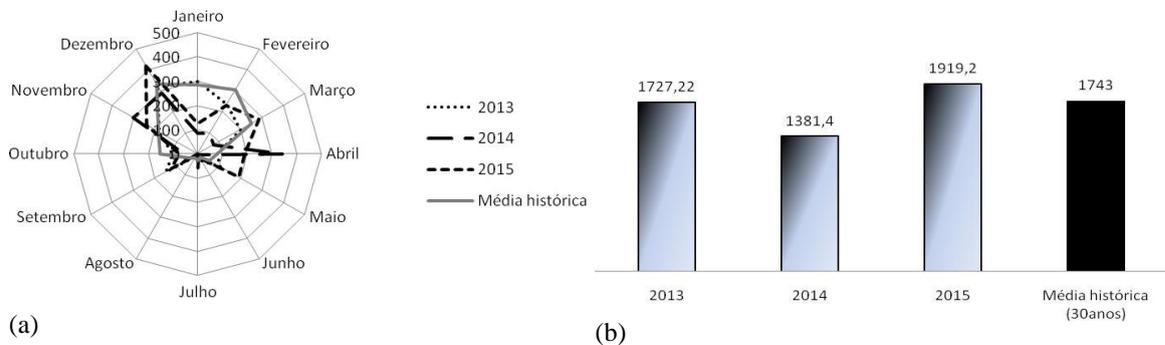
As respostas do tecido da planta ao estresse hídrico dependem das propriedades fisiológicas dos componentes celulares e das características anatômicas que regulam a transmissão do efeito do estresse hídrico para as células. Entretanto, estudos das alterações de características agronômicas, anatômicas e fisiológicas em plantas de café sob condições de estresse hídrico, podem ser bastante úteis na compreensão dos mecanismos envolvidos na tolerância diferencial existente na espécie *Coffea arabica* L. (GRISI et al., 2008).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

As progênies foram selecionadas pelo programa de melhoramento genético do cafeeiro conduzido em Minas Gerais, coordenado pela EPAMIG com a participação da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e Universidade Federal de Viçosa (UFV). Os genótipos foram selecionados em experimento instalado no Campo Experimental da EPAMIG de São Sebastião do Paraíso (CESP), Minas Gerais, no ano de 2015. Foram selecionadas 15 progênies em geração F<sub>6</sub> (Tabela 1) oriundas do cruzamento 'Icatu (3851-2-UFV 2117) x Catimor UFV 5373', com base em dados de produtividade e vigor agrônômico, observados nos anos agrícolas de 2013, 2014 e 2015. Nesse período, ocorreram déficits hídricos, principalmente no ano de 2014, quando o índice pluviométrico anual no local do experimento foi 20,74% menor que a média histórica de 30 anos. No ano de 2014, ocorreram reduções de cerca de 70% nos volumes de precipitação dos meses de janeiro, fevereiro e março, nos demais também houve reduções significativas com exceção dos meses de abril, julho e setembro. O início de 2015 foi marcado por reduções significativas de volumes de precipitações nos meses de janeiro e fevereiro, com reduções de 56 e 24 % respectivamente, como pode ser visto na Figura 1, prejudicando significativamente a produtividade e vigor das lavouras cafeeiras.

As sementes das progênies selecionadas foram colhidas no ano de 2015. Nesse período, foram adquiridas também sementes das cultivares testemunhas tolerantes ao déficit hídrico (Siriema e IPR100) e sensíveis ao déficit hídrico (Bourbon Amarelo IAC J 10 e Catuaí vermelho IAC 144) (Tabela 1). No mês de agosto de 2015, realizou-se o semeio das sementes em sacos plásticos de dimensão 11 x 22 cm. As mudas foram mantidas no viveiro de produção de mudas durante 8 meses, período suficiente para o desenvolvimento de 6 a 8 pares de folhas.

Figura 1- Distribuição de chuvas (mm) no decorrer dos anos em São Sebastião do Paraíso, MG (a); Precipitação total anual (mm) em São Sebastião do Paraíso, MG (b).



Fonte: Clima Tempo (2017).

Tabela 1 - Identificação, genealogia, grupo e origem das progênies em geração F6 e cultivares avaliadas no experimento.

Identificação	Genealogia	Grupo	Origem
1	H 29-1-8-5-12-11	Icatu x Catimor	EPAMIG
2	H 29-1-8-5-14-2	Icatu x Catimor	EPAMIG
3	H29-1-8-5-10-12	Icatu x Catimor	EPAMIG
4	H 136-1-19-4-2-5	Icatu x Catimor	EPAMIG
5	H 136-1-19-7-14-4	Icatu x Catimor	EPAMIG
6	H 29-1-8-16-1-11	Icatu x Catimor	EPAMIG
7	H 32-3-15-20-6-9	Icatu x Catimor	EPAMIG
8	H 30-3-14-1-19-12-1	Icatu x Catimor	EPAMIG
9	H 30-3-14-1-19-13-4	Icatu x Catimor	EPAMIG
10	H 32-11-17-4-2-10	Icatu x Catimor	EPAMIG
11	H 136-1-19-4-6-5	Icatu x Catimor	EPAMIG
12	H 136-1-19-4- 6-5	Icatu x Catimor	EPAMIG
13	H 136-1-19-4-8-1	Icatu x Catimor	EPAMIG
14	H 136-1-19-4-10-12	Icatu x Catimor	EPAMIG
15	H 30- 3-14-1-19-9-12	Icatu x Catimor	EPAMIG
Ct144	Catuai vermelho IAC 144	Catuai	IAC
Bourbon IACJ10	Bourbon amarelo IAC J10	Bourbon	IAC
Siriema*	Siriema	Siriema	PROCAFÉ
IPR100	IPR 100	IPR	IAPAR

Fonte: Da autora (2017).

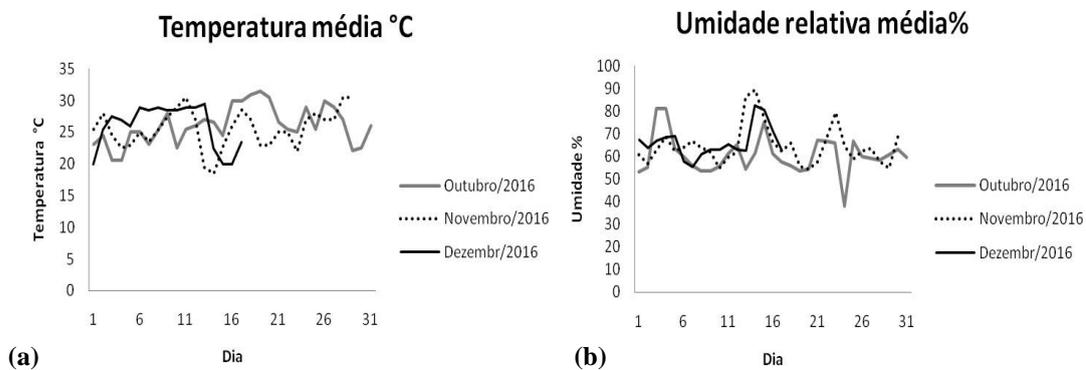
\*Mudas obtidas de sementes advindas de uma população de plantas, havendo possibilidade de segregação.

### Implantação do experimento em casa de vegetação

O experimento foi instalado em fevereiro de 2016 e a imposição dos tratamentos hídricos ocorreu em outubro do mesmo ano, na casa de vegetação da Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), na cidade de Lavras - MG,

localizada a latitude de 21°14'30" Sul e longitude de 45°00'10" Oeste, e altitude de 918,841m (Estação Climatológica Principal de Lavras). A temperatura e umidade relativa média da casa de vegetação no período experimental foram de 26°C e 63% respectivamente (FIGURA 2).

Figura 2 - Temperatura média diária (a) e umidade relativa média diária (b) da casa de vegetação da Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), na cidade de Lavras – MG, durante o período de imposição dos tratamentos hídricos.



Fonte: Da autora (2017).

As mudas com 6 a 8 pares de folhas foram transferidas para a casa de vegetação, onde permaneceram por 20 dias para aclimatização. Uma vez aclimatizadas, as mudas foram transferidas para vasos de polietileno de 20 litros (dia 18 de fevereiro de 2016). O substrato utilizado para enchimento dos vasos foi constituído de uma mistura de 3 partes de terra de subsolo, 1 parte de areia e 1 parte de esterco bovino (3:1:1). A adubação foi realizada de acordo com a análise do substrato, representada na Tabela 2, seguindo as recomendações de Guimarães et al. (1999). Os tratamentos fitossanitários foram realizados preventivamente para o controle das principais pragas e doenças de maior incidência na região. Após transferidas para os vasos, as mudas foram mantidas em casa de vegetação, com livre troca de ar durante um período de oito meses. Até o dia anterior à aplicação dos tratamentos hídricos, todas as parcelas foram irrigadas de forma a manter o substrato dos vasos na capacidade de campo. Para o controle da quantidade de água aplicada em cada vaso, utilizou-se o sensor de umidade (ML2X THETA PRODE, Delta- T Divices<sup>R</sup>) o qual foi calibrado de acordo com a tensão do solo. As medições e reposições de água dos tratamentos foram realizadas todas as segundas e sextas-feiras.

No dia 30 de outubro de 2016, foram aplicados os tratamentos hídricos, onde as plantas que receberam o déficit hídrico foram submetidas à suspensão total da irrigação, e

aquelas que foram mantidas sob a capacidade de campo, continuaram a receber irrigação normalmente.

O experimento foi instalado em delineamento de blocos ao acaso (DBC) com parcelas subdivididas no tempo. O ensaio foi constituído por 38 tratamentos, em esquema fatorial 19 x 2, sendo dezenove genótipos e dois tratamentos hídricos. As subparcelas foram as diferentes épocas de avaliação (0, 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após o início do experimento). Utilizaram-se quatro repetições e cada parcela experimental foi constituída por uma planta. Descrição dos tratamentos:

a) Dezenove genótipos:

- Siriema, genótipo potencialmente tolerante a déficit hídrico, de acordo com trabalho realizado por Grisi et al. (2008) – padrão tolerante ao déficit hídrico.
- IPR100 caracterizado como tolerante ao déficit hídrico por Carvalho et al. (2017) - padrão tolerante ao déficit hídrico.
- Catuaí vermelho IAC 144, foi utilizado como padrão susceptível ao déficit hídrico, de acordo com relatos feitos pelos autores Grisi et al. (2008), - padrão susceptível ao déficit hídrico.
- Bourbon Amarelo IAC J 10, foi utilizado como padrão susceptível, de acordo com Ronchi et al. (2015), - padrão susceptível ao déficit hídrico.
- 14 progênies com potencial de tolerância ao déficit hídrico, de alta produtividade, oriunda do cruzamento ‘Icatu Vermelho IAC 2942’ x ‘Catimor UFV 1340’.
- 1 progênie de baixo potencial de tolerância ao déficit hídrico, de baixa produtividade, oriunda do cruzamento ‘Icatu Vermelho IAC 2942’ x ‘Catimor UFV 1340’.

b) Dois níveis de irrigação

- Irrigado (mantendo as plantas na Capacidade de Campo).
- Não irrigado (suspensão total da irrigação).

Tabela 2 - Análise do substrato utilizado para enchimento dos vasos.

pH	K*	P*	Na*	Ca <sup>#</sup>	Mg <sup>#</sup>	Al <sup>#</sup>	H+Al	SB***	t***	T***	V**	m**
6,9	256	39,36	---	2,3	0,9	0	1,44	3,86	3,86	5,3	72,76	0
M.O.ˆ	P-	Zn*	Fe*	Mn*	Cu*	B*	S*	Argila <sup>+</sup>	Silte <sup>+</sup>	Areia <sup>+</sup>	Areia	Areia
0,86	5,47	4,91	64,18	45,62	3,33	0,24	37,91	52	8	40	---	----

Fonte: Adaptado do laboratório de análise de solo da Universidade Federal de Lavras (2016).

\*mg/dm<sup>3</sup>; #cmol/dm<sup>3</sup>; \*\*porcentagem; \*\*\* cmol/dm<sup>3</sup>; ˆ mg/L; ˆˆ mg/L; <sup>+</sup>dag/kg.

### Avaliações

Ao iniciar a imposição dos tratamentos hídricos, foram realizadas avaliações de diâmetro de caule, área foliar, altura de plantas, diâmetro de copa, ângulo de inserção dos ramos plagiotrópicos, número de nós do ramo ortotrópico, de todas as plantas. Aos 42 dias após a imposição dos tratamentos hídricos, todas as plantas foram reavaliadas quanto à dimensão do diâmetro de caule e altura de plantas, e obteve-se os pesos (g) da matéria seca de folhas (MSF), matéria seca de raiz (MSR) e matéria seca total (MST = ao somatório da matéria seca de folhas + matéria seca de raiz + matéria seca de ramos).

Mediu-se o diâmetro do caule (DCI: mm), entre os dois primeiros entrenós, com um paquímetro digital. A área foliar (AFI: cm<sup>2</sup>) foi determinada pelo método de dimensões foliares descrito por Barros et al. (1973). A altura (H: cm) das plantas foi medida no ramo ortotrópico, do substrato até a inserção do último nó. Os diâmetros de copa (DCP: cm) foram medidos com o auxílio de uma régua graduada, considerando-se o comprimento do maior ramo plagiotrópico da planta e multiplicando esse valor por 2. O ângulo de inserção dos ramos plagiotrópicos (ANG: graus) foi obtido utilizando-se de um transferidor de polietileno e medindo-se o ângulo superior do ramo ortotrópico em relação ao primeiro ramo plagiotrópico. Foram quantificados os números de nós (NN) nos ramos ortotrópicos de cada planta. Ao fim do experimento, lavou-se e separou-se parte aérea e sistema radicular, os quais foram secos à temperatura de 70° C, em estufa com circulação de ar, por 72 horas, para a obtenção das respectivas matérias secas (g) e posterior realização da pesagem em uma balança de precisão, sendo quantificada a matéria seca foliar (g), matéria seca de raiz (g) e matéria seca total (g).

Após a aplicação dos tratamentos hídricos realizou-se avaliações de potencial hídrico e trocas gasosas de 7 em 7 dias, pelo período de 42 dias.

Foram realizadas análises de potencial hídrico e trocas gasosas em folhas completamente expandidas do terceiro ou quarto par de folhas, a partir do ápice dos ramos plagiotrópicos medianos das plantas, sem danos aparentes causados por pragas ou doenças. O

potencial hídrico foi avaliado em folhas individuais, utilizando uma bomba de pressão tipo Scholander (PMS Instruments Plant Moisture- Modelo 1000), com nitrogênio gasoso. As medições foram realizadas antes do amanhecer (potencial hídrico de antemanhã).

Realizaram-se avaliações de trocas gasosas, utilizando-se o analisador de gás por infravermelho (LI-6400XT Portable Photosynthesis System, LICOR, Lincoln, USA). O equipamento foi calibrado antes de ser utilizado, conforme as normas de calibração descritas no manual (LICOR BioSciences, 2012). As medições foram feitas em folhas completamente expandidas localizadas no 3º ou 4º nó a partir do ápice do ramo. As características avaliadas foram: taxa fotossintética líquida ( $A$  -  $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$  -  $\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), transpiração ( $E$  -  $\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), concentração intracelular de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$  -  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ ) e temperatura foliar ( $C_{\text{leaf}} - \text{C}^\circ$ ). A eficiência instantânea do uso da água (EUA -  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ ) obtida pela relação  $A/E$  e a eficiência de uso do carbono (EUC -  $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{ppm}^{-1}$ ). Todas as avaliações foram realizadas entre 8 e 11 horas, com utilização de fonte artificial de radiação fotossinteticamente ativa (PAR), em câmara fechada fixada em  $1500 \mu\text{mol}$  de fótons  $\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (Blue + Red LED LI-6400-02B, LI-COR, Lincoln, USA). A taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  na câmara foi medida com a concentração ambiente de  $\text{CO}_2$ .

### **Análises estatísticas**

Ao fim do stress hídrico, para testar a significância da altura (H) e diâmetro (DC) da diferença entre os dois momentos (antes e após imposição dos tratamentos hídricos) foi utilizado o teste t para duas amostras dependentes (pareadas) (STEEL; TORRIE, 1980). Esse teste é utilizado quando o mesmo grupo de elementos é submetido a algum tipo de tratamento em duas situações distintas, no caso desta pesquisa, no início e no fim do estresse.

As hipóteses testadas foram:

$$\mu_2 = 0 \text{ vs } H_1: \mu_1 - \mu_2 < 0; H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0; H_1: \mu_1 - \mu_2 > 0$$

Em que:

$\mu_1$  : média do caráter antes do estresse hídrico,

$\mu_2$  : média do caráter depois do estresse hídrico,

A estatística de teste é dada por:

$$T = \frac{\bar{d} - \mu_0}{\frac{s_d}{\sqrt{n}}}$$

Em que:  $\bar{d}$ : média das diferenças entre os dois momentos, dada por:

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_{i1} - Y_{i2}), i = 1, 2, \dots, n \quad \bar{d} = Y_1 - Y_2$$

$S_d$ : é o desvio padrão das diferenças entre dois sistemas, dado por:

$$S_d^2 = \frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^n d_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n d_i)^2}{n} \right]$$

Portanto, observa-se que a diferença para o teste para igualdade de duas médias independentes está no cálculo da variância, que é feito considerando-se todas as diferenças entre as observações dependentes.

Foram realizadas análises dos resíduos por meio de gráficos residuais no programa computacional GENES para verificar se as pressuposições do ANOVA foram atendidas.

Nos casos onde as pressuposições não foram atendidas, procedeu-se com as transformações de dados. Essas transformações são conjuntos de procedimentos de manipulação que podem revelar fatos não observáveis em sua forma original.

Transformação ideal aplicada a cada observação  $x$  de cada variável, segundo recomendação do programa GENES, a fim de ajustar os dados à curva normal está descrita na Tabela 3.

Tabela 3 - Variáveis avaliadas, sigla, unidade e transformação de dados recomendada pelo programa GENES para ajuste dos dados à curva normal.

(Continua)

Variável	Sigla	Unidade	Transformação
Altura de planta inicial	HPI	cm	(1/x2)*1000
Diâmetro de caule inicial	DCI	mm	nenhuma
Angulação ramos plagiotrópicos	ANG	°	nenhuma
Numero de nós	NN	unidade	Raiz de x
Diâmetro de copa	D.COPA	cm	Raiz de x
Área foliar inicial	AFI	cm <sup>2</sup>	nenhuma
Altura de planta final	HPF	cm	(1/x2)*1000
Diâmetro de caule final	DCF	mm	Raiz de x
Matéria seca de folhas	MSF	g	Raiz de x
Matéria seca raiz	MSR	g	Ln (x)
Matéria seca total	MST	g	Raiz de x

Fotossíntese A  $\mu\text{mol CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  Raiz de x  
 Condutância estomática gs  $\text{molH}_2\text{O}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  Raiz de x  
 Tabela 3 - Variáveis avaliadas, sigla, unidade e transformação de dados recomendada pelo programa GENES para ajuste dos dados à curva normal.

(Conclusão)

Variável	Sigla	Unidade	Transformação
Transpiração	E	$\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Raiz de x
Eficiência de uso da água	EUA	$\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mmol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$	Raiz de x + 2
Eficiência de uso do carbono	EUC	$\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{ppm}^{-1}$	Raiz de x
Potencial hídrico	$\Psi_{\text{am}}$	Mpa	Ln (x)
Déficit de pressão de vapor	VpdL	kPa	Ln (x + 1)
Temperatura foliar	Ctleaf	°C	Raiz de x
Concentração intracelular de CO <sub>2</sub>	Ci	$\mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1}$	nenhuma

Fonte: Da autora (2017).

As análises de dados foram feitas com base no delineamento de blocos casualizados para as variáveis agrônômicas e blocos casualizados com parcelas subdivididas no tempo para as variáveis fisiológicas. Foram realizadas análises de variância (ANOVA), utilizando-se o teste F, com posterior aplicação do teste de Skott-knott a 5% de probabilidade para agrupamento das médias, utilizando-se o programa estatístico GENES (CRUZ, 2013).

Para as análises de variância das variáveis agrônômica dos genótipos em estudo, foi considerado um delineamento fatorial em blocos, a partir do modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = m + G_i + B_k + A_j + GA_{ij} + E_{ijk}$$

Onde:

$Y_{ijk}$ : é o valor observado referente ao genótipo  $i$  dentro do bloco  $k$  e no manejo da irrigação  $j$ ;

$m$ : é o efeito da média geral do experimento;

$G_i$ : é o efeito do genótipo  $i$ , sendo ( $i = 1, \dots$ );

$B_k$ : é o efeito do bloco sendo ( $k = 1, \dots$ );

$A_j$ : é o efeito do manejo da irrigação, sendo ( $j = 1 \text{ à } 2$ );

$GA_{ij}$ : é o efeito da interação do genótipo  $i$  com o manejo da irrigação  $j$ ;

$E_{ijk}$ : é o efeito aleatório do resíduo experimental da parcela, admitindo-se que os resíduos são independentes e normalmente distribuídos com média zero e variância  $\sigma^2$ .

Para as análises de variância das variáveis fisiológicas, utilizou-se o modelo matemático a seguir, segundo o delineamento em parcelas subdividas no tempo:

$$Y_{ijk} = m + P_i + B_j + E_a + S_j + PS_{ij} + E_b$$

Onde:

$Y_{ijk}$ : é o valor observado referente ao genótipo  $i$  no bloco  $j$  na época  $k$ ;

$m$ : é o efeito da média geral do experimento;

$P_i$ : é o efeito da parcela  $i$  representada pelos genótipos, sendo ( $i= 1, \dots$ );

$B_j$ : é o efeito do bloco sendo ( $j = 1, \dots$  )

$E_a$ : é o erro aleatório associado à parcela, admitindo-se que os resíduos são independentes e normalmente distribuídos com média zero e variância  $\sigma^2$ .

$S_j$ : é o efeito da subparcela  $j$  representada pelas épocas de avaliação, sendo ( $j, \dots$  )

$PS_{ij}$ : é o efeito da interação dos genótipo  $i$  (parcela) com a época de avaliação  $j$  (subparcela).

$E_b$ : é o erro aleatório associado à subparcela, admitindo-se que os resíduos são independentes e normalmente distribuídos com média zero e variância  $\sigma^2$ .

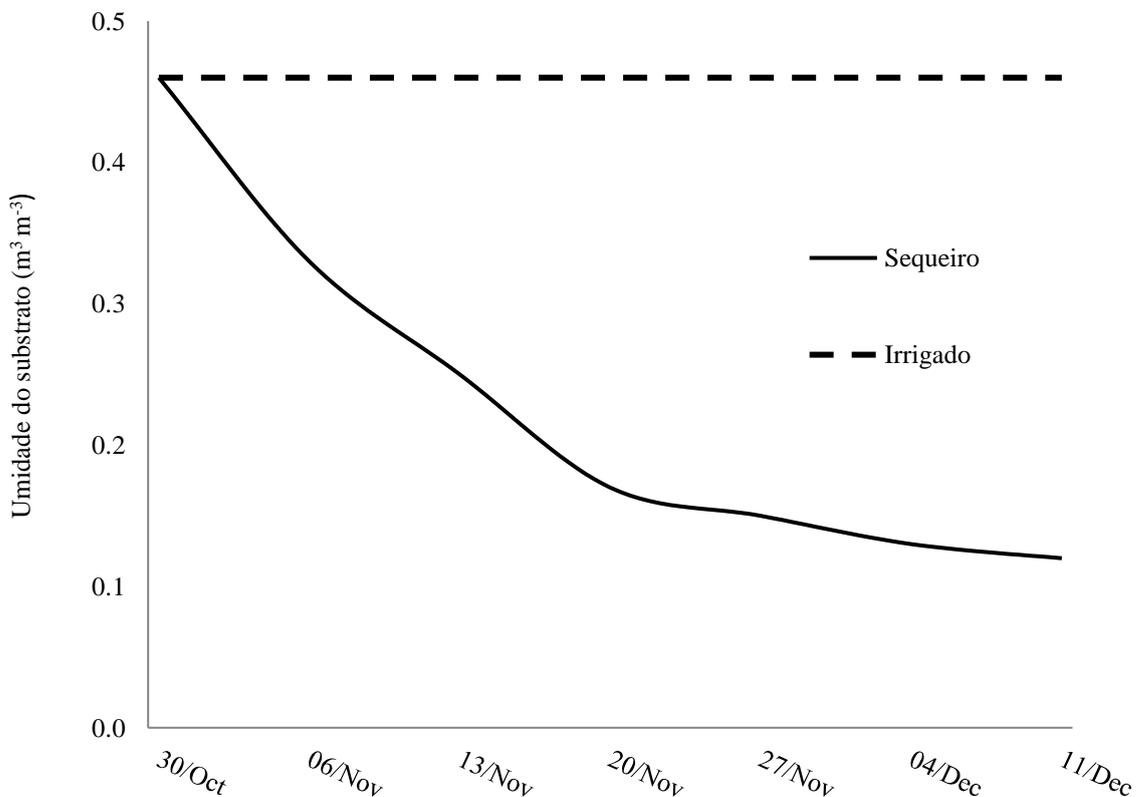
Além disso, para melhor agrupamento dos genótipos em relação aos parâmetros fisiológicos e agrônômicos, quando irrigados ou submetidos ao déficit hídrico, foi empregada a análise de componentes principais (PCA) em conjunto com as técnicas de Biplots e Correlação de Pearson para as sete épocas de avaliação. Utilizou-se o programa estatístico GENES (CRUZ, 2013).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Características agronômicas

Os valores médios de umidade contidos no substrato das plantas durante o período experimental podem ser observados no Gráfico 1. Percebe-se que, nas plantas que receberam irrigação a umidade do solo, manteve-se na capacidade de campo ( $0,46 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), durante todo o período de imposição dos tratamentos hídricos e, naquelas em que a irrigação foi suspensa, a redução da umidade ocorreu de forma mais intensa nas três primeiras semanas e de menor intensidade nas últimas semanas. Esse fato ocorreu, em razão da maior disponibilidade inicial de água no solo, menor força de retenção dessa água nos microporos e maior facilidade das plantas em retirá-la do solo, entretanto, após o dia 20 de novembro a quantidade de água diminuiu drasticamente, ocasionando uma grande redução no componente mátrico do potencial hídrico do solo, aumentando assim a resistência para a retirada de água do solo pelas plantas (LACERDA, 2007).

Gráfico 1- Umidade do substrato contida nos tratamentos irrigados e não irrigados.



Fonte: Da autora (2017).

As análises de variância (ANOVA) e os coeficientes de variação das características agronômicas de cada tratamento, antes da imposição do déficit hídrico, estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Resumo da análise de variância de seis características agronômicas de genótipos de *Coffea arabica* L. antes da imposição do déficit hídrico.

FV	Quadrado Médio						
	GL	DCI	HPI	NN	ANG	DCP	AFI
Blocos	3	3,69	80,17	3,28	40,95	55,07	3783444
Genótipos (G)	18	2,53 *	295,89 *	1,63	168,35 **	95,42 **	2793100 **
Tratamento hídrico (TH)	1	0,07	1,03	0,03	8,06	7,61	2321131
G x TH	18	1,32	37,03	1,86	18,13	30,51	1666087
Resíduo	111	1,30	35,10	1,16	26,88	29,30	101861263
<b>Média</b>		<b>10,05</b>	<b>48,46</b>	<b>14,82</b>	<b>50,17</b>	<b>46,29</b>	<b>3725</b>
<b>CV(%)</b>		<b>11,33</b>	<b>12,23</b>	<b>7,25</b>	<b>10,36</b>	<b>11,69</b>	<b>26</b>

Fonte: Da autora (2017).

Diâmetro de caule inicial (DCI); altura de planta inicial (HPI); número de nós do ramo ortotrópico (NN); angulação dos ramos plagiotrópicos (ANG); diâmetro de copa (DCP); área foliar inicial (AFI); \*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; \*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Para nenhuma das características agronômicas a ANOVA foi significativa para tratamento hídrico (TH) e para a interação Genótipo (G) x TH, o que garante a uniformidade inicial em relação a esses fatores. Entretanto, houve diferença significativa para o fator G em todas características em estudo, com exceção para número de nós (NN). Na Tabela 5, apresentam-se as médias de cada característica avaliada para cada genótipo.

Os genótipos 4, 14 e 15 apresentaram maior área foliar (AFI) que os demais, indicando uma maior área para a captação da luminosidade e CO<sub>2</sub>, o que implica na possibilidade de serem plantas de crescimento mais rápido. Os genótipos 2, 5, 7, 12, 13 e IPR100 são de menor área foliar entre todos em estudo neste trabalho, apresentando também menor diâmetro de caule (DCI) como os genótipos 8 e Ct144 (TABELA 5).

Para altura de planta (HPI) e diâmetro de copa (DCP), o genótipo Bourbon apresentou maior valor em relação aos demais, demonstrando que seu porte é o maior dentre todos em estudo, sendo um material caracterizado como de porte alto (TABELA 5).

A angulação dos ramos plagiotrópicos em relação ao ramo ortotrópico foi maior para os genótipos 6, 7, 8, 9, 10, 15, Siriema e IPR100, variando de 57° a 53°, caracterizando esses genótipos como sendo de copa mais aberta. Nos demais, a variação foi de 50° a 43° em relação ao ortotrópico, apresentado então copas mais fechadas. A inclinação dos ramos

apresenta relação com a taxa fotossintética e capacidade de adaptação as variações ambientais (TABELA 5).

As folhas de café quando submetidas a pleno sol apresentam maiores taxas fotossintéticas, o que está associado a maior taxa de transporte de elétrons (ARAÚJO et al., 2008). Sendo que a maior ou menor incidência solar nas folhas está relacionada a inclinação de folhas e ramos, e quanto menor o ângulo de inserção do ramo plagiotrópico, menor o sombreamento das folhas superiores sobre as inferiores. Entretanto, DaMatta (2004) observou que plantas de café com copa mais fechadas, ou seja, com menor angulação e maior número de ramos plagiotrópicos são capazes de adiar a desidratação quando comparadas com plantas de copa mais aberta, dentro de certos limites de sua área foliar.

Tabela 5 - Médias de seis características agrônômicas de genótipos de *Coffea arabica* L. avaliados antes da imposição do déficit hídrico.

Genótipo	DCI (mm)	HPI (cm)	NN(unid)	ANG(°)	DCP (cm)	AFI(cm <sup>2</sup> )
1	10,40 a	45,25 b	15 a	50 b	45,13 c	3728 b
2	9,77 b	45,88 b	15 a	46 b	41,50 c	3001 c
3	10,60 a	47,13 b	15 a	47 b	45,38 c	3915 b
4	10,88 a	49,00 b	15 a	44 b	47,13 b	5016 a
5	9,57 b	43,63 b	14 a	48 b	43,13 c	3230 c
6	10,11 a	46,44 b	15 a	56 a	46,00 c	3791 b
7	9,00 b	50,13 b	15 a	53 a	47,50 b	2986 c
8	9,69 b	48,94 b	14 a	55 a	46,38 c	3638 b
9	10,63 a	48,44 b	15 a	56 a	48,13 b	3846 b
10	10,46 a	50,00 b	15 a	54 a	49,25 b	3827 b
11	10,55 a	45,63 b	14 a	46 b	45,13 c	3879 b
12	9,70 b	47,75 b	15 a	49 b	42,00 c	3187 c
13	9,44 b	41,19 b	14 a	46 b	42,88 c	3007 c
14	10,65 a	48,75 b	15 a	43 b	47,88 b	4781 a
15	10,66 a	48,38 b	15 a	54 a	50,25 b	4518 a
Ct144	9,26 b	45,44 b	15 a	49 b	46,00 c	3962 b
Bourbon	10,02 a	71,25 a	15 a	47 b	56,25 a	3631 b
Siriema	10,15 a	52,19 b	15 a	57 a	47,25 b	3875 b
IPR100	9,40 b	45,31 b	16 a	54 a	42,38 c	2970 c
<b>CV(%)</b>	<b>11,33</b>	<b>12,23</b>	<b>7,25</b>	<b>10,33</b>	<b>11,69</b>	<b>25,71</b>

Fonte: Da autora (2017).

Diâmetro de caule inicial (DCI); altura de planta inicial (HPI); número de nós do ramo ortotrópico (NN); angulação dos ramos plagiotrópicos (ANG); diâmetro de copa (DCP); área foliar inicial (AFI), Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

O genótipo Bourbon apresentou maior diâmetro de copa quando comparado com os genótipos 4, 7, 9, 10, 14, 15 e Siriema, esses, por sua vez, apresentaram maiores dimensões que os demais, em vista de uma cafeicultura cada vez mais mecanizada, o melhoramento genético vem buscando cultivares de café com diâmetro de copa reduzido e, de acordo com Androcioli Filho e Androcioli(2011), estudando fatores que podem atrapalhar o desempenho das colhedoras, verificaram que plantas com um grande diâmetro de copa podem prejudicar a colheita, danificando a colhedora e aumentando os danos à lavoura. Além disso, quando apresentam menor diâmetro de copa, pode-se aumentar o número de plantas por área, possibilitando um aumento de produtividade. O número de nós do ramo plagiotrópico para todos os genótipos variaram de 14 a 16 nós (TABELA 5).

Na Tabela 6, é apresentada a análise de variância e, na Tabela 7, estão contidos os valores médios para as características agrônômicas avaliadas ao fim do experimento. É possível observar que os genótipos apresentaram diferença significativa entre si para todas as características. Além disso, ocorreu diferença significativa entre plantas irrigadas e não irrigadas, mostrando que o período de imposição dos tratamentos foi suficiente para detecção numérica das diferenças. Apenas para a característica matéria seca de folha houve interação entre genótipos e tratamento hídrico, ou seja, parte da variação ocorrida é atribuída à interação do genótipo com o tratamento hídrico ao qual foi submetido.

Tabela 6 - Resumo da análise de variância de três características agrônômicas de genótipos de *Coffea arabica* L. avaliadas ao fim da imposição do déficit hídrico.

FV	GL	Quadrado médio		
		MSF(g)	MSR(g)	MST(g)
<b>Blocos</b>	3	4,4336	0,4516	6,4217
<b>Genótipos (G)</b>	18	2,4841 **	0,3214 **	4,1492 **
<b>Tratamento hídrico (TH)</b>	1	52,6424 **	9,2285 **	105,1607 **
<b>G x TH</b>	18	1,5092 *	0,1669	2,6480
<b>Resíduo</b>	111	0,7591	0,1375	1,8225
<b>Média</b>		41,3065	19,5976	82,1900
<b>CV(%)</b>		13,8022	12,9364	15,1650

Fonte: Da autora (2017).

Matéria seca de folha (MSF); matéria seca de raiz (MSR); matéria seca total (MST), \*significativo a 5% de probabilidade; \*\* significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Os genótipos 1, 3, 5, 8, 11, 13, 15, Siriema e IPR100 não apresentaram redução nos teores de MSF, MSR e MST quando comparadas sua médias entre as condições de déficit hídrico e irrigação. Os genótipos 2, 7, 9 e 14 apresentaram redução da MSF, MSR e MST

quando submetidos à condição de déficit hídrico. Sob déficit hídrico, os genótipos 4 e Ct144 apresentaram redução do teor de MSF e MST. Os genótipos 6 e 10 apresentaram redução apenas da MSR quando em condição de déficit hídrico. E os genótipos 12 e Bourbon apresentaram redução de MSF quando submetidos a condição de déficit hídrico (TABELA 7).

Tabela 7 - Médias de duas características agronômicas de genótipos de *Coffea arabica* L. avaliados após a imposição do déficit hídrico.

Genótip	MSF		MSR		MST	
	Irrigado	Sequeiro	Irrigado	Sequeiro	Irrigado	Sequeiro
1	40,68 A b	35,84 A a	26,57 A a	16,63 A a	87,65 A a	71,76 A a
2	58,72 A a	21,85 B b	33,57 A a	10,29 B b	120,5 A a	45,07 B b
3	50,91 A a	35,08 A a	25,78 A a	16,00 A a	101,2 A a	69,91 A a
4	59,10 A a	39,66 B a	30,15 A a	17,87 A a	118,1 A a	78,60 B a
5	38,91 A b	29,67 A a	18,75 A a	13,26 A a	76,48 A a	59,36 A b
6	49,61 A a	34,95 A a	27,17 A a	15,48 B a	98,71 A a	68,00 A a
7	48,38 A a	19,35 B b	23,35 A a	9,41 B b	99,96 A a	40,59 B b
8	44,27 A b	37,65 A a	19,20 A a	14,65 A a	85,89 A a	73,00 A a
9	68,46 A a	35,88 B a	34,54 A a	15,29 B a	115,7 A a	69,74 B a
10	51,36 A a	34,95 A a	25,86 A a	14,47 B a	104,0 A a	68,96 A a
11	45,45 A b	36,24 A a	25,54 A a	14,13 A a	92,60 A a	69,73 A a
12	42,98 A b	27,19 B b	16,50 A a	12,05 A b	89,71 A a	54,43 A b
13	32,44 A b	31,78 A a	15,92 A a	13,83 A a	63,75 A a	62,30 A b
14	66,00 A a	36,14 B a	33,25 A a	14,47 B a	133,9 A a	70,66 B a
15	55,84 A a	48,34 A a	31,12 A a	17,96 A a	114,6 A a	91,56 A a
Ct144	52,60 A a	32,59 B a	23,85 A a	13,97 A a	97,49 A a	61,93 B b
Bourbon	54,05 A a	32,74 B a	22,76 A a	13,26 A a	110,3 A a	71,49 A a
Siriema	46,39 A b	40,07 A a	24,70 A a	17,17 A a	94,90 A a	79,15 A a
IPR100	27,50 A b	26,10 A b	14,45 A a	11,52 A b	56,37 A a	55,03 A b

Fonte: Da autora (2017).

Matéria seca de folhas (MSF), matéria seca de raiz (MSR), matéria seca total (MST). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem significativamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

Os genótipos 1, 3, 8, 11, 15 e Siriema apresentaram maiores valores MSF, MSR e MST dentre os demais em estudo. Mesmo o genótipo IPR100 não apresentando diferença estatística para peso de MSF, MSR e MST quando comparado nas condições de irrigação e déficit hídrico, ele apresentou menores valores para essas características. Os genótipos 2, 7 e 12 também apresentaram menores valores de MSF, MSR e MST quando na condição de déficit hídrico (TABELA 7). O baixo peso de matéria seca de folha pode estar correlacionado a menor área foliar observada nesses genótipos e, de acordo com Fialho et al. (2010), plantas com maior área foliar, apresentam condições de maior realização de fotossíntese e, com isso, tendem a produzir maior quantidade de massa seca da parte aérea. E, segundo

TaizeZeiger(2013), o processo fisiológico mais afetado pelo déficit hídrico é a expansão foliar, sendo a redução da área foliar a primeira linha de defesa da planta contra déficit hídrico. Essa afirmativa corrobora com dados de Rodrigues et al. (2016), os quais concluíram, em seu trabalho, que a taxa de crescimento em biomassa de mudas do cafeeiro conilon reduziu linearmente com o decréscimo da água disponível no solo, notando que a maior taxa em biomassa foi obtida quando se manteve a umidade do solo próximo à capacidade de campo. De acordo com Pinheiro et al. (2005), a tolerância à seca em café robusta tem sido associada com maior profundidade do sistema radicular, e não necessariamente com sua maior massa seca.

Para melhor detecção da diferença entre duas médias pareadas (início e fim do experimento), realizou-se o teste t, o qual foi significativo para as duas variáveis DC e AP, ou seja, a média de DC e AP no início do estresse foi diferente da média de DC e AP no fim do estresse. Continuamente, foi estimado o valor da diferença mínima significativa para DC e AP a 5%, pelo teste t, correspondendo a 0,33 e 1,55 respectivamente.

Na Tabela 8, estão apresentadas as médias de diâmetro de caule para os genótipos sob irrigação e sob déficit hídrico. Observa-se que a diferença entre diâmetro de caule inicial e final variou de 0% a 33%. Todos os tratamentos sob irrigação apresentaram crescimento significativo. Na condição de déficit hídrico, 8 genótipos apresentaram diferença mínima significativa entre o diâmetro de caule final e inicial. Os genótipos 7, IPR 100, 5, 8 e 3 apresentaram respectivamente as maiores diferenças entre diâmetros de caule final e inicial quando submetidos à condição de déficit hídrico, podendo esse fato ter ocorrido, em razão do maior potencial de tolerância ao déficit hídrico desses materiais. Segundo TaizeZeiger (2013), o crescimento do caule provavelmente é afetado pelos mesmos mecanismos que limitam o crescimento das folhas durante o estresse hídrico. Sob as duas condições de tratamento hídrico, o genótipo 7 apresentou a maior diferença entre diâmetro de caule inicial e final, podendo demonstrar que é um material altamente responsivo à irrigação, por apresentar valores elevados de MSF, MSR, MSTe elevado espessamento de caule (33%) quando em condição de irrigação, porém é um material que mesmo mantendo uma certa tendência de espessamento de caule, quando em condição de déficit hídrico apresenta acentuada redução nos valores de matéria seca. Diferentemente dos genótipos 3, 5, 8, 15 e IPR100, que na condição de déficit hídrico foram capazes de manter sua matéria seca e um certo aumento do diâmetro de caule. Carvalho et al. (2010), estudando as correlações entre as características agrônomicas de cafeeiro, observaram que o diâmetro de caule apresentou correlações fenotípicas e genotípicas significativas com a produtividade, porém o fator ambiental

apresentou menor efeito sobre o diâmetro de caule, e maior efeito sobre altura das plantas. Em estudos realizados por Miranda, Perecin e Pereira (2005), os autores constataram que os atributos vegetativos que mais contribuem para maiores produtividades são altura de plantas, diâmetro de caule e comprimento de ramos plagiotrópicos.

Tabela 8 - Diferença entre as médias do diâmetro inicial e médias do diâmetro final de 19 genótipos de *Coffea arabica* L. nas condições de irrigação e sequeiro.

(Continua)

Genótipo	Método	DCI(mm)	DCF (mm)	DiferençaD (mm)	DFD (%)	
7	IRRIG	9,77	13,03	3,26	33%	*
Ct144	IRRIG	9,23	12,18	2,96	32%	*
8	IRRIG	9,10	12,04	2,94	32%	*
1	IRRIG	10,32	13,39	3,08	30%	*
13	IRRIG	8,92	11,57	2,65	30%	*
15	IRRIG	10,63	13,73	3,11	29%	*
4	IRRIG	10,56	13,62	3,06	29%	*
6	IRRIG	10,11	13,07	2,96	29%	*
2	IRRIG	10,58	13,50	2,93	28%	*
14	IRRIG	10,79	13,74	2,95	27%	*
Bourbon	IRRIG	9,85	12,48	2,64	27%	*
12	IRRIG	9,62	12,19	2,57	27%	*
Siriema	IRRIG	9,96	12,57	2,61	26%	*
11	IRRIG	9,90	12,44	2,54	26%	*
3	IRRIG	10,74	13,39	2,65	25%	*
10	IRRIG	10,39	12,66	2,27	22%	*
5	IRRIG	9,60	11,75	2,15	22%	*
IPR100	IRRIG	9,18	11,19	2,01	22%	*
9	IRRIG	11,30	13,57	2,27	20%	*
7	SEQUEIRO	8,24	9,37	1,13	14%	*
IPR100	SEQUEIRO	9,62	10,76	1,13	12%	*
5	SEQUEIRO	9,53	10,44	0,91	10%	*
8	SEQUEIRO	10,27	11,05	0,78	8%	*
3	SEQUEIRO	10,46	11,22	0,75	7%	*
15	SEQUEIRO	10,68	11,34	0,65	6%	*
1	SEQUEIRO	10,48	11,14	0,65	6%	*
9	SEQUEIRO	9,95	10,60	0,64	6%	*
13	SEQUEIRO	9,96	10,28	0,32	3%	
12	SEQUEIRO	9,78	10,09	0,31	3%	
4	SEQUEIRO	11,19	11,50	0,31	3%	
6	SEQUEIRO	10,12	10,37	0,25	3%	
Bourbon	SEQUEIRO	10,19	10,40	0,21	2%	
Ct144	SEQUEIRO	9,30	9,39	0,09	1%	
2	SEQUEIRO	8,96	9,05	0,09	1%	
Siriema	SEQUEIRO	10,35	10,36	0,01	0%	

Tabela 8 - Diferença entre as médias do diâmetro inicial e médias do diâmetro final de 19 genótipos de *Coffea arabica* L. nas condições de irrigação e sequeiro.

(Conclusão)

Genótipo	Método	DCI(mm)	DCF (mm)	DiferençaD (mm)	DFD (%)
14	SEQUEIRO	10,52	10,28	0,00	0%
10	SEQUEIRO	10,53	10,12	0,00	0%
11	SEQUEIRO	11,20	10,67	0,00	0%

Fonte: Da autora (2017).

Diâmetro de caule inicial (DCI); Diâmetro de caule final (DCF); diferença entre diâmetro inicial e final do caule (DiferençaD); diferença percentual de diâmetro de caule final em relação ao diâmetro inicial (DFD); \*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Na Tabela 9, estão contidos os dados que correspondem as porcentagens de crescimento das plantas em relação a altura inicial. Para todos os genótipos, sob as duas condições hídricas, houve diferença mínima significativa. Na condição de déficit hídrico, os genótipos 1, 3, 5, 11 e 15 apresentaram crescimento de 12, 13, 17, 11 e 11 por cento em relação á altura inicial, podendo ser destacados por apresentarem os maiores crescimento em altura e manutenção de seus valores de matéria seca.

Sob condição de irrigação os genótipos 11, 14, 2, 10 e 6 apresentaram as maiores taxas de crescimento, apresentaram variações de 32% a 27% em relação à altura inicial das plantas (TABELA 9). Essas grandes variações observadas para as características diâmetro de caule e altura de plantas estão diretamente ligadas às influências dos fatores ambientais (tratamentos hídricos) sobre os genótipos em estudo e, de acordo com trabalho realizado por Carvalho et al. (2010), os autores analisaram as correlações fenotípicas e genotípicas existentes entre crescimento e produtividade de cafeeiro, e observaram que a altura, o número de nós e o comprimento de ramos sofrem forte efeito do ambiente.

Tabela 9 - Diferença entre médias de altura inicial e médias de altura final de 19 genótipos de *Coffea arabica* L. nas condições de irrigação e sequeiro.

Genótipo	Método	HI(cm)	HF(cm)	DiferençaH(cm)	DFH(%)	
11	IRRIG	44,50	58,88	14,38	32%	*
14	IRRIG	49,50	64,25	14,75	30%	*
2	IRRIG	47,38	61,00	13,63	29%	*
10	IRRIG	51,25	65,63	14,38	28%	*
6	IRRIG	44,75	57,00	12,25	27%	*
4	IRRIG	49,25	60,50	11,25	23%	*
3	IRRIG	48,13	59,13	11,00	23%	*
8	IRRIG	47,25	58,25	11,00	23%	*
13	IRRIG	38,88	47,75	8,88	23%	*
Ct144	IRRIG	45,5	55,38	9,88	22%	*
5	IRRIG	43,75	53,50	9,75	22%	*
15	IRRIG	46,75	56,25	9,50	20%	*
Bourbon	IRRIG	70,13	83,50	13,38	19%	*
7	IRRIG	56,63	67,38	10,75	19%	*
9	IRRIG	50,63	60,13	9,50	19%	*
12	IRRIG	48,25	57,5	9,25	19%	*
1	IRRIG	43,88	52,00	8,13	19%	*
5	SEQUEIRO	43,50	50,75	7,25	17%	*
IPR100	IRRIG	42,13	49,13	7,00	17%	*
Siriema	IRRIG	50,63	57,38	6,75	13%	*
3	SEQUEIRO	46,13	52,13	6,00	13%	*
10	SEQUEIRO	48,75	54,50	5,75	12%	*
1	SEQUEIRO	46,63	52,25	5,63	12%	*
2	SEQUEIRO	44,38	49,88	5,50	12%	*
7	SEQUEIRO	43,63	48,88	5,25	12%	*
15	SEQUEIRO	50,00	55,63	5,63	11%	*
11	SEQUEIRO	46,75	52,00	5,25	11%	*
4	SEQUEIRO	48,75	53,88	5,13	11%	*
9	SEQUEIRO	46,25	51,13	4,88	11%	*
6	SEQUEIRO	48,13	52,88	4,75	10%	*
12	SEQUEIRO	47,25	51,50	4,25	9%	*
14	SEQUEIRO	48,00	51,88	3,88	8%	*
IPR100	SEQUEIRO	48,50	52,25	3,75	8%	*
Bourbon	SEQUEIRO	72,38	77,25	4,88	7%	*
Siriema	SEQUEIRO	53,75	57,75	4,00	7%	*
Ct144	SEQUEIRO	45,38	48,63	3,25	7%	*
13	SEQUEIRO	43,50	46,75	3,25	7%	*
8	SEQUEIRO	50,63	53,63	3,00	6%	*

Fonte: Da autora (2017).

Altura inicial (HI); altura final (HF); diferença entre altura inicial e final das plantas (DiferençaH); diferença percentual da altura final em relação a inicial (DFH); \*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

### Correlação de Pearson

A análise de correlação de Pearson para os dados de características agronômicas e fisiológicas demonstrou que dentre as variáveis analisadas, a área foliar possui correlação negativa com o potencial hídrico ( $R^2 = -0,79$ ), conforme representado abaixo (TABELA 10). Esse dado corrobora com Reis (2015), que observou uma correlação de  $-0,78$  entre área foliar e potencial hídrico.

Em função dos dados apresentados na Tabela 10, pode-se destacar que existe alta correlação genética entre transpiração e taxa fotossintética ( $R^2 = 0,75$ ) e há correlação entre transpiração e condutância estomática ( $R^2 = 0,88$ ).

A eficiência de uso do carbono (EUC) apresentou correlação de  $-0,54$  com a área foliar, ou seja, quanto maior a área foliar do cafeeiro, menor será a EUC (TABELA 10).

Ao analisar todos os resultados contidos na Tabela 10, pode-se concluir que quanto maior a área foliar inicial (AFI) das plantas, maiores serão os valores de diâmetro de caule (DC), matéria seca de folha (MSF), matéria seca de raiz (MSR), matéria seca total (MST), e menor serão os valores de fotossíntese (A), eficiência do uso do carbono (EUC), eficiência do uso da água (EUA) e potencial hídrico de antemanhã ( $\Psi_{am}$ ).

Em condição de irrigação e sequeiro, as variáveis DCI, DCF, AFI, MST e MSF apresentaram alta correlação entre si e essas variáveis demonstraram ter baixa correlação com HPF. As variáveis DCI, DCF, AFI, MST, MSF e concentração intracelular de  $CO_2$  ( $C_i$ ) possuem baixa correlação com  $\Psi_{am}$ , EUA, EUC e A quando as plantas jovens de café foram submetidas ao déficit hídrico. Pelas análises, em condição onde as plantas receberam irrigação constantemente foi observada alta correlação entre EUC, A e  $\Psi_{am}$ ; E eg<sub>s</sub>; EUA e HPI. Quando em condição de déficit hídrico, houve alta correlação entre HPF, E eg<sub>s</sub>; A e EUC; EUA e  $\Psi_{am}$ . Importante ressaltar que em condição de água disponível no solo ocorre correlação entre  $\Psi_{am}$  e EUC, já no sequeiro o  $\Psi_{am}$  está altamente correlacionado com EUA.

Tabela 10 - Correlação entre as características diâmetro de caule inicial (DCI); altura de planta inicial (API); angulação dos ramos plagiotrópicos em relação ao ortotrópico (ANG); área foliar inicial (AFI); diâmetro de caule final (DCF); altura de planta final (APF); matéria seca de folhas (MSF); matéria seca de raiz (MSR); taxa fotossintética (A); condutância estomática (gs); transpiração (E); eficiência de uso do carbono (EUC); eficiência de uso da água (EUA) e potencial hídrico de antemanhã ( $\Psi_{am}$ ) de plantas sob condição de déficit hídrico.

	DCI	API	ANG	AFI	DCF	APF	MSF	MSR	MST	A	gs	E	EUC	EUA	$\Psi_{am}$
DCI	-----	0,26	-0,14	0,81*	0,77*	0,27	0,82*	0,80*	0,84*	-0,34	0,16	-0,02	-0,42	-0,33	-0,63*
API	<b>0,26</b>	-----	0,06	0,20	0,17	0,98*	0,24	0,14	0,37	-0,29	-0,24	-0,25	0,25	-0,17	-0,12
NN	<b>0,08</b>	<b>0,48*</b>	0,22	0,27	0,24	0,46*	0,20	0,15	0,27	-0,28	-0,29	-0,24	-0,06	-0,32	-0,12
ANG	<b>-0,14</b>	<b>0,06</b>	-----	0,21	0,03	0,03	0,18	0,15	0,16	-0,40	-0,28	-0,38	0,01	-0,26	-0,23
AFI	<b>0,81*</b>	<b>0,20</b>	<b>0,21</b>	-----	0,68*	0,18	0,91*	0,89*	0,90*	-0,49*	0,14	-0,04	-0,54*	-0,54*	-0,79*
DCF	<b>0,77*</b>	<b>0,17</b>	<b>0,03</b>	<b>0,68*</b>	-----	0,20	0,71*	0,74*	0,75*	-0,29	0,24	-0,01	-0,46*	-0,43	-0,62*
APF	<b>0,27</b>	<b>0,98*</b>	<b>0,03</b>	<b>0,18</b>	<b>0,20</b>	-----	0,24	0,15	0,37	-0,25	-0,24	-0,28	0,27	-0,11	-0,11
MSF	<b>0,82*</b>	<b>0,24</b>	<b>0,18</b>	<b>0,91*</b>	<b>0,71*</b>	<b>0,24</b>	-----	0,94*	0,99*	-0,48*	0,13	-0,10	-0,43	-0,51*	-0,81*
MSR	<b>0,80*</b>	<b>0,14</b>	<b>0,15</b>	<b>0,89*</b>	<b>0,74*</b>	<b>0,15</b>	<b>0,94*</b>	-----	0,93*	-0,40	0,23	-0,01	-0,31	-0,54*	-0,83*
MST	<b>0,84*</b>	<b>0,37</b>	<b>0,16</b>	<b>0,90*</b>	<b>0,75*</b>	<b>0,37</b>	<b>0,99*</b>	<b>0,93*</b>	-----	-0,47*	0,11	-0,11	-0,37	-0,52*	-0,80*
A	<b>-0,34</b>	<b>-0,29</b>	<b>-0,40</b>	<b>-0,49*</b>	<b>-0,29</b>	<b>-0,25</b>	<b>-0,48</b>	<b>-0,40</b>	<b>-0,47*</b>	-----	0,65*	0,75*	0,37	0,35	0,47*
gs	<b>0,16</b>	<b>-0,24</b>	<b>-0,28</b>	<b>0,14</b>	<b>0,24</b>	<b>-0,24</b>	<b>0,13</b>	<b>0,23</b>	<b>0,11</b>	<b>0,65*</b>	-----	0,88*	0,02	-0,18	-0,17
E	<b>-0,02</b>	<b>-0,25</b>	<b>-0,38</b>	<b>-0,04</b>	<b>-0,01</b>	<b>-0,28</b>	<b>-0,10</b>	<b>-0,01</b>	<b>-0,11</b>	<b>0,75*</b>	<b>0,88*</b>	-----	0,14	-0,21	0,00
EUC	<b>-0,42</b>	<b>0,25</b>	<b>0,01</b>	<b>-0,54*</b>	<b>-0,46*</b>	<b>0,27</b>	<b>-0,43</b>	<b>-0,31</b>	<b>-0,37</b>	<b>0,37</b>	<b>0,02</b>	<b>0,14</b>	-----	0,11	0,42
EUA	<b>-0,33</b>	<b>-0,17</b>	<b>-0,26</b>	<b>-0,54*</b>	<b>-0,43</b>	<b>-0,11</b>	<b>-0,51*</b>	<b>-0,54*</b>	<b>-0,52*</b>	<b>0,35</b>	<b>-0,18</b>	<b>-0,21</b>	<b>0,11</b>	-----	0,66*
$\Psi_{am}$	<b>-0,63*</b>	<b>-0,12</b>	<b>-0,23</b>	<b>-0,79*</b>	<b>-0,62*</b>	<b>-0,11</b>	<b>-0,81**</b>	<b>-0,83*</b>	<b>-0,80*</b>	<b>0,47*</b>	<b>-0,17</b>	<b>0,00</b>	<b>0,42</b>	<b>0,66*</b>	-----

Fonte: Da autora (2017).

### Análise de componentes principais

As equações de componentes principais nos dois tratamentos hídricos foram estimadas de acordo com todas as épocas de avaliação (Tabela 11).

Tabela 11 - Correlação das variáveis fisiológicas ( $\Psi_{am}$ ,  $V_{pdL}$ ,  $C_{tleaf}$ ,  $C_i$ , EUA, EUC, A, E,  $g_s$ ) e agronômicas (DCI, HPI, ANG, AFI, NN, DCF, HPF, MSF, MSR, MST) com as duas primeiras componentes principais, sob irrigação e sequeiro. *Coffea arabica* L.

Variáveis	Irigado		Sequeiro	
	CP1	CP2	CP1	CP2
DCI	0,3266	0,0135	0,3027	-0,0736
HPI	0,1428	0,3089	0,1177	0,2633
ANG	-0,0622	0,0613	0,0812	0,1134
AFI	0,3119	0,0672	0,3332	-0,0616
NN	0,0938	0,0166	0,1095	0,3362
DCF	0,3455	0,0159	0,2696	-0,1077
HPF	-0,2650	-0,2108	-0,1752	-0,2291
MSF	0,3536	0,1106	0,3327	-0,0977
MSR	0,3462	0,0162	0,3110	-0,1273
MST	0,3583	0,0987	0,3347	-0,0620
$\Psi_{am}$	0,1472	-0,1620	-0,2221	0,2313
$V_{pdL}$	-0,0624	0,1540	-0,0439	0,3321
$C_{tleaf}$	-0,1481	-0,0129	0,0499	0,3870
$C_i$	-0,0535	-0,3981	0,2626	-0,0103
EUA	0,0877	0,2937	-0,2002	0,1766
EUC	0,2763	-0,2460	-0,2543	0,0211
A	0,2212	-0,3690	-0,2784	-0,1029
E	0,0801	-0,4171	-0,1601	-0,3794
$g_s$	0,1019	-0,4042	-0,1073	-0,4496

Fonte: Da autora (2017).

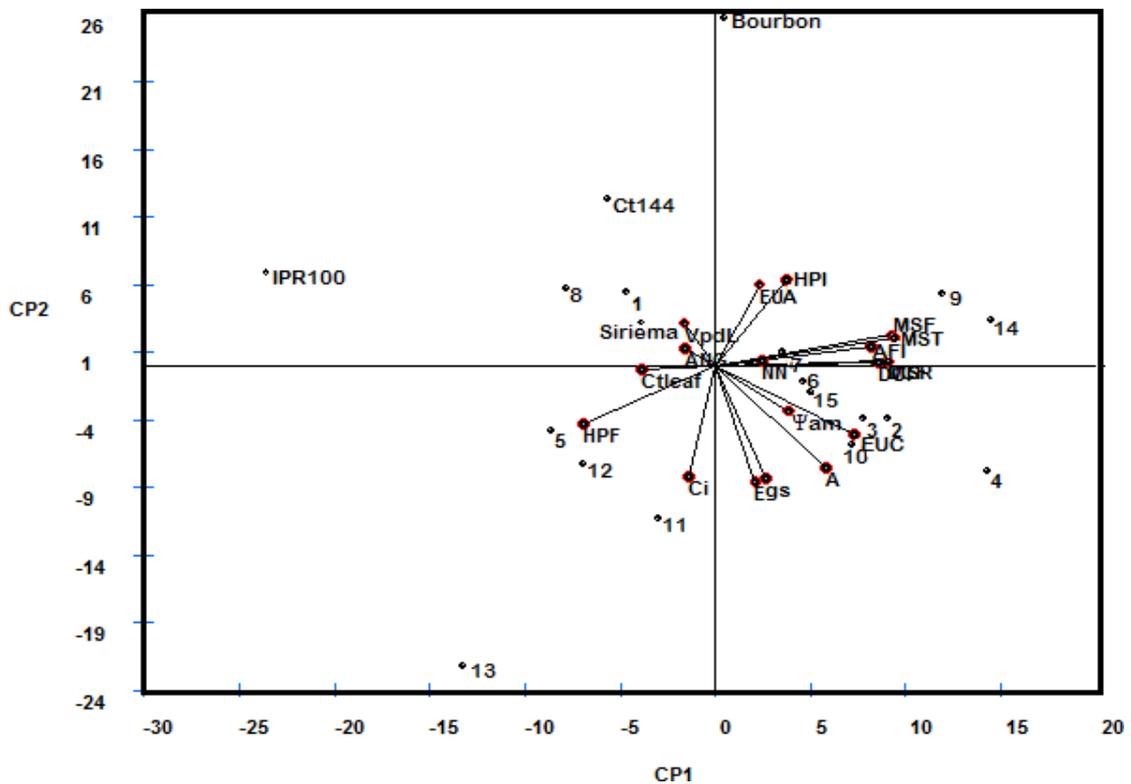
A primeira e a segunda componentes principais explicaram a variabilidade entre os tratamentos com relação às respostas fisiológicas e agronômicas em cada tratamento hídrico (irrigado e sequeiro). Os dados de cada tratamento foram representados com a média dos escores, calculados com base nas quatro repetições. Os tratamentos que apresentaram similaridade em uma ou mais resposta fisiológica e/ou agronômica se aproximaram.

Na Tabela 11, estão apresentados os autovetores associados às duas componentes principais na condição de irrigação e déficit hídrico. Quando os genótipos foram submetidos à condição de irrigação, as duas primeiras componentes principais explicaram 58,45 % da variância total do conjunto de dados, sendo 36,28% de variância acumulada pela componente principal 1 e 22,17% pela componente principal 2. A eficiência do uso da água (EUA), altura

de planta inicial (HPI), matéria seca de folha (MSF), matéria seca total (MST), área foliar inicial (AFI), matéria seca de raiz (MSR), diâmetro de caule inicial (DCI) e diâmetro de caule final (DCF) correlacionaram positivamente. As variáveis que mais representaram o conjunto de dados foram DCF, MSF, MSR e MST, visto que exibiram os maiores autovetores na componente principal 1.

A porcentagem de variação explicada pelas componentes principais 1 e 2 para as plantas na condição de déficit hídrico foi de 59,33%. Sendo a componente principal 1 responsável por explicar 42,51% da variação e a componente 2 explicando 16,82 %. As variáveis agrônômicas AFI, MSF, MSR e MST foram as que mais representaram o conjunto de dados pela componente principal 1. A componente principal 2 foi melhor representada pelas variáveis fisiológicas condutância estomática (gs), transpiração (E) e carbono interno (Ctleaf) (TABELA 11).

Figura 3 - Biplot das características agrônômicas e fisiológicas de mudas de café submetidas à condição de irrigação durante 42 dias. Lavras - MG.



Fonte: Da autora (2017).

As variáveis fisiológicas, agrônômicas e os escores dos genótipos quando em condição de irrigação foram representados na Figura 3, por meio de gráfico biplot. Na componente 1, os genótipos 9 e 14 se destacaram por apresentar maiores valores de MSF (68,46 g e 66,00 g

respectivamente) e MST (115,7 g e 133,9 g respectivamente), e o IPR100 com os menores valores para essas variáveis (27,50 g de MSF e 56,37 g de MST). Pela componente principal 2 o Bourbon se destacou, em decorrência de maior HPI (70,13 cm) e o genótipo 13 com os menores valores para essa variável (38,88 cm).

Na Figura 4, estão representados os escores dos 19 genótipos e os vetores das variáveis fisiológicas e agronômicas, durante 42 dias de avaliação, sob condição de déficit hídrico. Os genótipos com os maiores escores da componente 1 foram o 15 e o Siriema por apresentar maiores valores de MSF (48,34 g e 40,07 g respectivamente), MSR (17,90 g e 17,10 g), MST (91,5 g e 79,1 g). Esses genótipos apresentaram menores valores de potencial hídrico, justificando a alta correlação negativa dessa variável com as variáveis de matéria seca (MSF, MSR e MST). O inverso foi observado para os genótipos 2 e 7, cujos valores de matéria seca foram menores e maiores valores de potencial hídrico principalmente para o genótipo 2. O genótipo 5 apresentou altos valores para as variáveis fisiológicas, embora não tenha apresentado baixos valores para matéria seca (29,67 g para MSF e 13,2 g para MSR), sendo uma vantagem, pois quando comparado à testemunha tolerante (IPR100) o genótipo 5 apresentou maior matéria seca quando submetido ao déficit hídrico. Quanto à fisiologia, os genótipos 2, 5 e IPR100 se comportaram de forma semelhante.

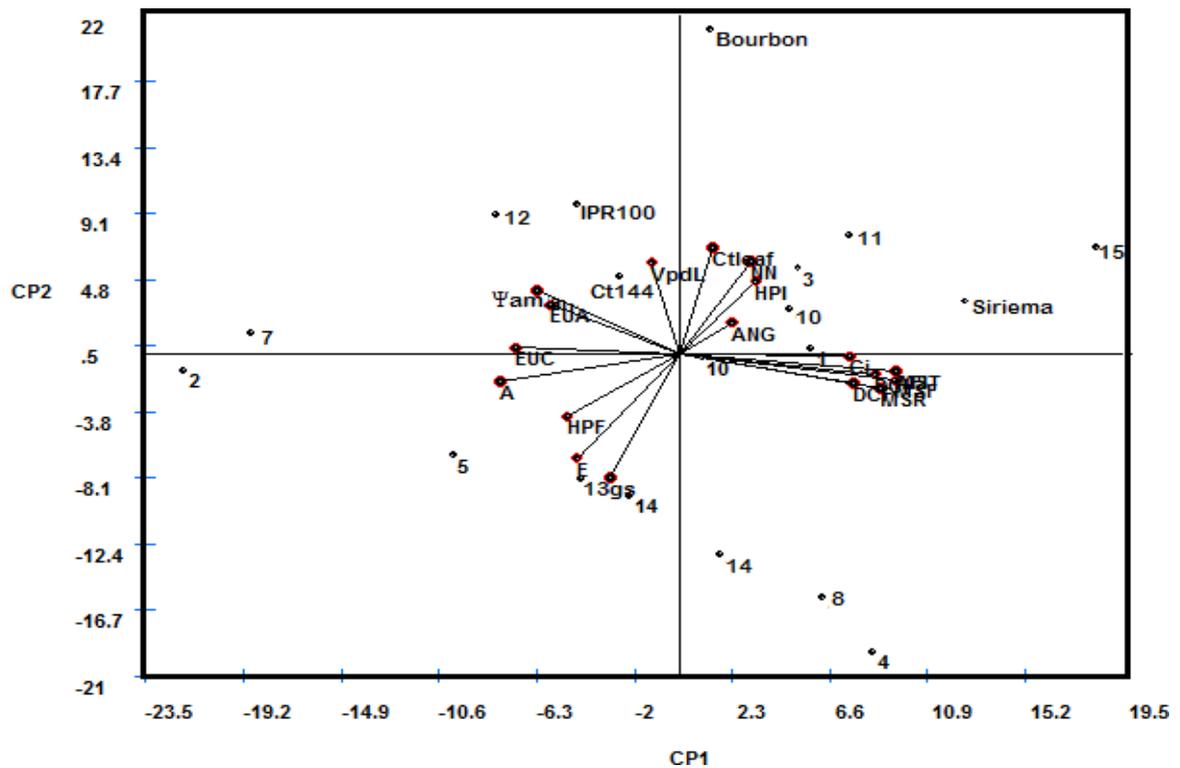
Quando realizada a análise de componentes principais apenas entre as variáveis fisiológicas, a porcentagem de variação acumulada nas componentes principais 1 e 2 é mais elevada do que quando a comparação é feita entre variáveis agronômicas e fisiológicas. Esse fato diz respeito a um menor número de variáveis analisadas e a existência de maior correlação entre elas.

Quando analisadas, as variáveis fisiológicas das plantas em condição de irrigação, a CP1 explica 45,80% da variação dos dados e a CP2 28,19%, as duas componentes juntas são responsáveis pela variação de 73,99%. De acordo com Regazzi (2000), para aplicações em diversas áreas do conhecimento o número de componentes utilizados tem sido aquele que acumula 70% ou mais de proporção da variância total. Já em condição de déficit hídrico, a CP1 explicou 39,84% da variação ocorrida e a CP2 27,85%, dando uma variação total de 67,69%.

Na Tabela 12, estão apresentados os autovetores das duas primeiras componentes das análises sob condição de irrigação e sequeiro. Quando irrigadas, as variáveis A, E,  $g_{se}$  e EUC foram responsáveis pela maior explicação da CP1. As variáveis que mais se correlacionaram com a componente 2 foram EUA, Ctleaf e VpdL. Na condição de sequeiro, a CP1 apresentou

maior correlação com as variáveis A, EUC e Ci. E a CP2 foi melhor explicada pelas variáveis gs, EUA e VpdL.

Figura 4 - Biplot das características agrônômicas e fisiológicas de mudas de café submetidas à condição de déficit hídrico durante 42 dias experimentais. Lavras - MG



Fonte: Da autora (2017).

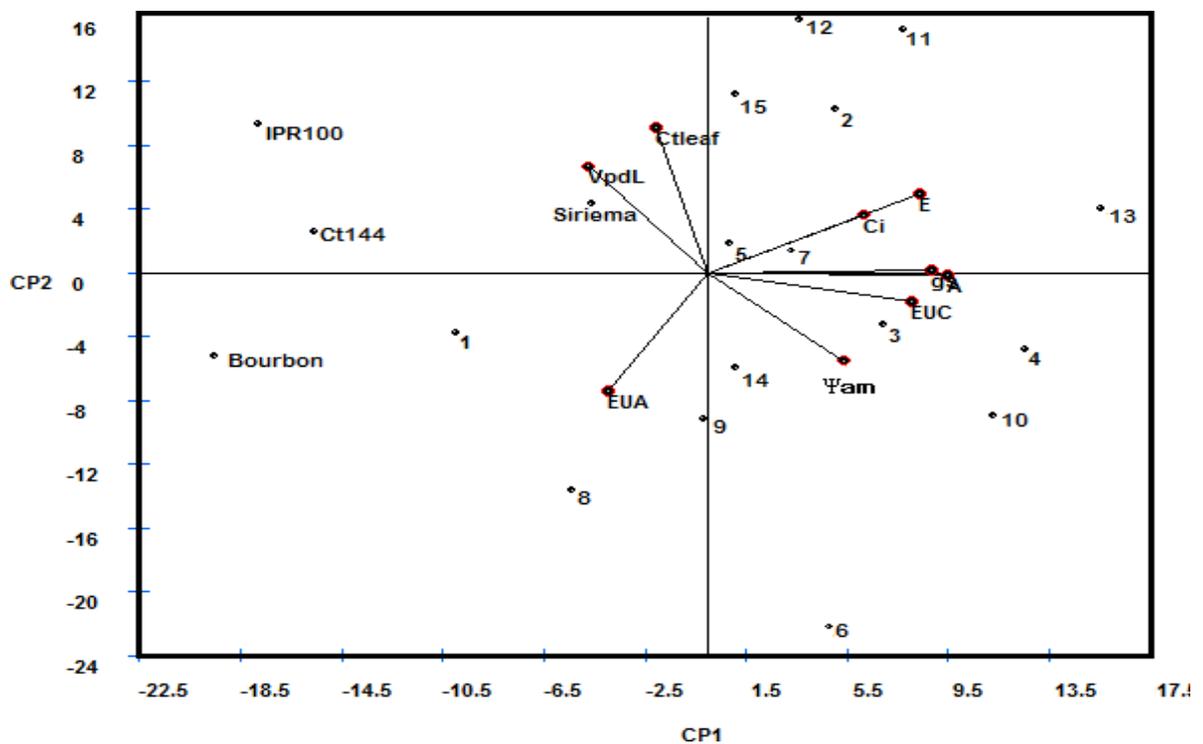
Tabela 12 - Correlação das variáveis fisiológicas ( $\Psi_{am}$ , VpdL, Ctleaf, Ci, EUA, EUC, A, E, gs) com as duas primeiras componentes principais, sob irrigação e sequeiro. *Coffea arabica* L.

Variáveis fisiológicas	Irigado		Sequeiro	
	CP1	CP2	CP1	CP2
$\Psi_{am}$	0,2634	-0,3442	-0,2055	-0,3985
VpdL	-0,2337	0,4191	0,0184	-0,4092
Ctleaf	-0,1009	0,5700	0,1901	-0,3856
Ci	0,3037	0,2291	0,4447	0,1413
EUA	-0,1958	-0,4667	-0,2373	-0,4361
EUC	0,3976	-0,1129	-0,4384	-0,1325
A	0,4663	-0,0074	-0,4709	-0,0926
E	0,4121	0,3126	-0,3642	0,3501
gs	0,4358	0,0107	-0,3472	0,4078

Fonte: Da autora (2017).

De acordo com a Figura 5, os genótipos 13, 4 e 10 foram destaque na componente 1 por apresentar altos valores para as variáveis EUC, gs, A e E. Embora em uma condição de irrigação é desejável que a planta apresente altas taxas fotossintéticas, visto que a fotossíntese é um grande dreno de eletrólitos nos cloroplastos e reduções nesse processo em condições de déficit hídrico podem gerar um quadro potencialmente danoso ao metabolismo celular (TAIZ; ZEIGER, 2013), reduzindo drasticamente a produção de fotoassimilados.

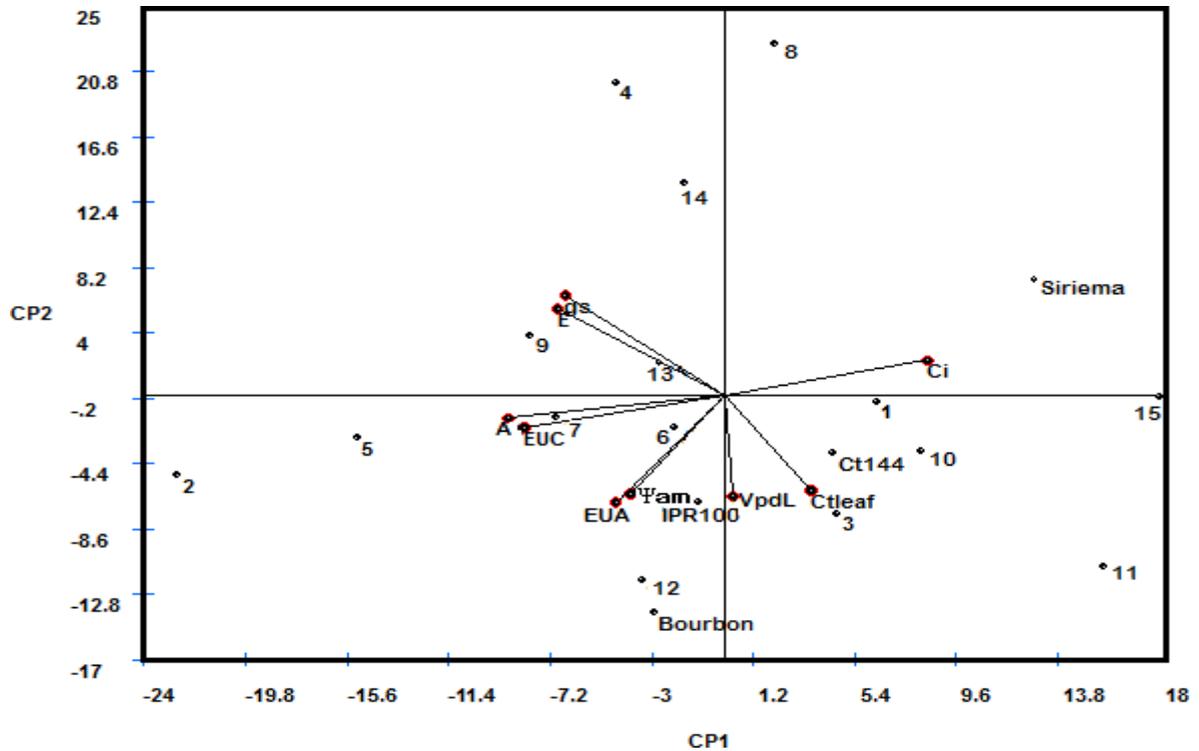
Figura 5 - Biplot das características fisiológicas de mudas de cafeeiro submetidas à condição de irrigação durante 42 dias. Lavras - MG.



Fonte: Da autora (2017).

Sob déficit hídrico (Figura 6), independente da análise agrônômicas os genótipos 2 e 5 se mantiveram como destaque, principalmente por manter taxas fotossintéticas e potencial hídrico mais elevados, além de maior eficiência de uso do carbono, similar a testemunha tolerante (IPR100). Os genótipos 11, 15 e Siriema apresentaram maiores reduções das principais variáveis fisiológicas (A, EUC, gs, E). Os genótipos 7, 9, 12 e Bourbon apresentaram valores de EUA, EUC e A estatisticamente iguais aos genótipos 2, 5 e IPR100, porém apresentaram menores valores de potencial hídrico.

Figura 6 - Biplot das características fisiológicas de mudas de cafeeiro submetidas à condição de déficit hídrico durante 42 dias. Lavras – MG.



Fonte: Da autora (2017).

### Relações hídricas e trocas gasosas

De acordo com os dados apresentados na Tabela 13, a análise de variância indicou a existência de diferença significativa entre quase todos os fatores e interações em estudo.

Tabela 13- Resumo da análise de variância para taxa fotossintética, condutância estomática, transpiração, eficiência do uso do carbono, eficiência do uso da água e potencial hídrico de antemãhã de 19 genótipos, sob condição de irrigação e sequeiro ao longo de sete períodos de avaliação (42 dias).

(Continua)

FV	GL	Quadrado médio					
		A	gs	E	EUC	EUA	$\Psi_{am}$
Genótipos (G)	18	0,6694*	0,016*	0,151*	0,003*	0,142	0,599
Tratamento hídrico (TH)	1	228,253	5,009*	47,610*	0,616*	1,416*	333,346
G x TH	18	0,317	0,007	0,103*	0,002*	0,177	0,810
BLOCO	3	0,062	0,008	0,351*	0,001	1,687*	2,891*
erro 1	111	0,183	0,003	0,036	0,001	0,145	0,425
TEMPO (T)	6	7,638*	0,304*	1,418*	0,100*	4,620*	35,040*
erro 2	18	0,663	0,027	0,150	0,004	0,607	0,639
G x T	108	0,194*	0,006*	0,067*	0,002*	0,151	0,219
T x TH	6	24,374*	0,402*	4,921*	0,079*	3,220*	34,658*
TH x G x T	108	0,199*	0,006*	0,062*	0,002*	0,212*	0,194
erro 3	666	0,113	0,003	0,028	0,001	0,138	0,187

Tabela 13 - Resumo da análise de variância para taxa fotossintética, condutância estomática, transpiração, eficiência do uso do carbono, eficiência do uso da água e potencial hídrico de antemanhã de 19 genótipos, sob condição de irrigação e sequeiro ao longo de sete períodos de avaliação (42 dias).

(Conclusão)

FV	Quadrado médio						
	GL	A	gs	E	EUC	EUA	$\Psi_{am}$
Média		23,420	0,261	0,961	0,153	28,705	4,228
CV 1 (%)		18,260	21,900	19,750	19,310	13,240	15,420
CV 2 (%)		34,770	62,950	40,240	42,780	27,140	18,910
CV 3 (%)		14,3700	19,110	17,250	16,270	12,920	10,220

Fonte: Da autora (2017).

Fotossíntese (A); condutância estomática ( $g_s$ ); transpiração (E); eficiência do uso do carbono (EUC); eficiência do uso da água (EUA). \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F.

Após a suspensão da irrigação os valores de potencial hídrico de antemanhã ( $\Psi_{am}$ ) das plantas diminuíram, em decorrência do incremento gradual do déficit hídrico (TABELA 14). Aos 21 dias após a imposição dos tratamentos hídricos, dentre todos os genótipos em estudo sob déficit hídrico, apenas o Siriema e o genótipo 4 apresentaram potenciais hídricos inferiores a  $-3,0$  MPa, condição considerada como déficit hídrico severo por Reis (2015). Esse autor também observou que após 22 dias de imposição de déficit hídrico o Siriema atingiu déficit hídrico severo. Durante todo o experimento as plantas que receberam irrigação permaneceram com  $\Psi_{am}$  próximo a  $-0,5$  MPa.

Com 28 dias de déficit hídrico os genótipos de café sob avaliação apresentaram potenciais hídricos bem distintos, sendo separados em quatro grupos. O primeiro representado por genótipos de maiores potenciais hídricos ( $> -1,57$  MPa), composto pelos genótipos 2, 5, 6, 7, 11, 12, 13 e IPR100. O segundo grupo representado pelos genótipos 9, 14, Bourbon e Ct144, o terceiro grupo constituído pelos genótipos 1, 3, 8, 10 e Siriema, e o quarto grupo representado pelos genótipos 4 e 15, os quais apresentavam-se em déficit hídrico extremamente severo ( $< -4,00$  MPa). Como o potencial hídrico de antemanhã apresenta alta correlação negativa com a área foliar, os genótipos 2, 5, 7, 12, 13 e IPR100 possivelmente mantiveram maiores valores de potencial hídrico em função de sua menor área foliar. Em contrapartida, os genótipos 4 e 15 por apresentarem maior área foliar tenderam a reduzir rapidamente seu potencial hídrico (TABELA 14).

Aos 35 dias após imposição do déficit, os genótipos também foram divididos em quatro grupos pelo teste de médias, podendo ressaltar que os genótipos 2 e 5 apresentaram potenciais hídricos maiores que os demais ( $-1,16$  Mpa e  $-0,98$  Mpa respectivamente). Nesse momento, o IPR 100 apresentou potencial hídrico de  $-2,22$  Mpa, sendo que nessa avaliação

52,6 % dos genótipos (1, 3, 4, 7, 8, 11, 13, 15, Ct144 e Siriema) apresentaram potencial hídrico de antemanhã menor que  $-4,5$  MPa (TABELA 14).

Com 42 dias de déficit hídrico, os genótipos 2, 5, 12, 14, Bourbon, Ct144, Siriema e IPR100 apresentaram maiores potenciais hídricos em relação aos demais, porém, nesse momento, todos encontravam-se sob a condição de déficit hídrico extremamente severo, com suas trocas gasosas reduzidas (TABELA 14).

Em trabalho desenvolvido por Reis (2015), as cultivares Siriema e Catuaí144 demoraram mais tempo para atingir o potencial hídrico severo ( $-3,0$  MPa) dentre os genótipos avaliados pelo autor, sendo uma característica fisiológica relevante para caracterizá-los como potencialmente tolerantes ao déficit hídrico. Entretanto, Batista et al. (2010), ao avaliar o potencial hídrico de várias cultivares de *Coffea arabica* L. constatou que a cultivar Siriema apresentou menor potencial hídrico quando comparado, por exemplo, com a cultivar Bourbon Amarelo IAC J10. DaMatta et al. (2003), descobriram que clone de café robusta tolerante à seca, em comparação com um sensível à seca, foi associado à manutenção de área foliar e maior  $\Psi_w$ , como consequência do aumento da eficiência do uso de água e raízes mais profundas.

Tabela 14- Médias referentes ao potencial hídrico de antemanhã (Mpa) de 19 genótipos sob condição de irrigação (I) e déficit hídrico (DH) e ao longo de sete períodos de avaliação (42 dias).

Genótipo	Potencial hídrico de antemanhã (MPa)													
	T1 (0dias)		T2 (7 dias)		T3 (14 dias)		T4 (21dias)		T5 (28 dias)		T6 (35 dias)		T7 (42 dias)	
	I	DH	I	DH	I	DH	I	DH	I	DH	I	DH	I	DH
1	-0,34 a	-0,41 a	-0,34 a	-0,58 a	-0,43 a	-0,55 a	-0,49 a	-0,89 a	-0,40 a	-3,32 c	-0,35 a	-5,37 d	-0,40 a	-6,07 b
2	-0,50 a	-0,36 a	-0,41 a	-0,43 a	-0,45 a	-0,58 a	-0,40 a	-0,64 a	-0,41 a	-1,16 a	-0,35 a	-1,33 a	-0,38 a	-4,07 a
3	-0,45 a	-0,44 a	-0,35 a	-0,51 a	-0,36 a	-0,45 a	-0,45 a	-1,20 a	-0,53 a	-2,88 c	-0,31 a	-4,80 d	-0,40 a	-5,53 b
4	-0,54 a	-0,64 a	-0,31 a	-0,50 a	-0,30 a	-0,47 a	-0,58 a	-3,84 b	-0,56 a	-4,70 d	-0,34 a	-5,40 d	-0,35 a	-5,23 b
5	-0,31 a	-0,44 a	-0,35 a	-0,58 a	-0,38 a	-0,49 a	-0,45 a	-0,71 a	-0,48 a	-0,98 a	-0,38 a	-1,63 a	-0,64 a	-4,90 a
6	-0,28 a	-0,36 a	-0,44 a	-0,53 a	-0,36 a	-0,66 a	-0,51 a	-0,66 a	-0,36 a	-1,40 a	-0,30 a	-3,69 c	-0,34 a	-5,53 b
7	-0,28 a	-0,31 a	-0,34 a	-0,55 a	-0,29 a	-0,48 a	-0,55 a	-1,03 a	-0,51 a	-1,25 a	-0,46 a	-4,66 d	-0,43 a	-5,36 b
8	-0,35 a	-0,54 a	-0,31 a	-0,53 a	-0,33 a	-0,74 a	-0,50 a	-1,31 a	-0,49 a	-3,80 c	-0,39 a	-4,78 d	-0,33 a	-5,23 b
9	-0,56 a	-0,60 a	-0,33 a	-0,73 a	-0,29 a	-0,75 a	-0,49 a	-1,09 a	-0,48 a	-2,06 b	-0,34 a	-4,04 c	-0,30 a	-5,38 b
10	-0,50 a	-0,48 a	-0,34 a	-0,46 a	-0,29 a	-0,65 a	-0,31 a	-0,93 a	-0,33 a	-3,81 c	-0,33 a	-4,26 c	-0,31 a	-5,53 b
11	-0,49 a	-0,56 a	-0,44 a	-0,55 a	-0,33 a	-0,47 a	-0,44 a	-0,72 a	-0,48 a	-1,57 a	-0,39 a	-4,54 d	-0,41 a	-6,03 b
12	-0,55 a	-0,49 a	-0,38 a	-0,63 a	-0,40 a	-0,55 a	-0,34 a	-0,81 a	-0,59 a	-1,05 a	-0,36 a	-2,83 b	-0,41 a	-4,42 a
13	-0,46 a	-0,40 a	-0,34 a	-0,51 a	-0,39 a	-0,53 a	-0,46 a	-0,75 a	-0,43 a	-1,10 a	-0,35 a	-4,64 d	-0,36 a	-5,60 b
14	-0,53 a	-0,43 a	-0,39 a	-0,51 a	-0,28 a	-0,41 a	-0,53 a	-0,87 a	-0,48 a	-2,51 b	-0,35 a	-4,40 c	-0,41 a	-5,01 a
15	-0,56 a	-0,44 a	-0,38 a	-0,55 a	-0,41 a	-0,64 a	-0,45 a	-1,86 a	-0,50 a	-5,23 d	-0,36 a	-5,88 d	-0,36 a	-5,88 b
Bourbon	-0,49 a	-0,41 a	-0,36 a	-0,34 a	-0,41 a	-0,59 a	-0,53 a	-0,81 a	-0,61 a	-1,74 b	-0,36 a	-3,64 c	-0,46 a	-5,00 a
Ct144	-0,51 a	-0,46 a	-0,45 a	-0,49 a	-0,28 a	-0,45 a	-0,46 a	-0,91 a	-0,53 a	-2,13 b	-0,34 a	-4,86 d	-0,36 a	-4,84 a
IPR100	-0,51 a	-0,41 a	-0,50 a	-0,46 a	-0,46 a	-0,55 a	-0,50 a	-0,76 a	-0,66 a	-1,29 a	-0,36 a	-2,22 b	-0,54 a	-4,58 a
Siriema	-0,48 a	-0,44 a	-0,31 a	-0,55 a	-0,64 a	-0,66 a	-0,46 a	-3,07 b	-0,51 a	-4,01 c	-0,35 a	-4,88 d	-0,33 a	-5,13 a

Fonte : Da autora (2017).

Início da suspensão da irrigação (T1); 7 dias após suspensão da irrigação (T2); 14 dias após suspensão da irrigação (T3); 21 dias após suspensão da irrigação (T4); 28 dias após suspensão da irrigação (T5); 35 dias após suspensão da irrigação (T6); 42 dias após suspensão da irrigação (T7). Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Skott-knott.

Com o aumento do déficit hídrico, houve redução dos valores médios de fotossíntese, condutância estomática e transpiração, corroborando com dados apresentados no trabalho realizado por Souza et al. (2015), que ao avaliarem as trocas gasosas de mudas de *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, sob irrigação e sob déficit hídrico, constataram que diante escassez de água ocorrem reduções nas taxas de  $A$ ,  $E$  e  $g_s$ .

Após 21 dias de imposição do déficit hídrico, foi possível constatar que as plantas já apresentavam respostas a escassos de água pelos baixos valores de  $\Psi_{am}$ , ocasionando valores de  $A$ ,  $E$  e  $g_s$  inferiores ao das plantas controle (que permaneceram irrigadas), conforme Tabelas 15, 16 e 17.

Ao analisar os dados contidos na Tabela 15, pode-se observar que somente após 21 dias de suspensão da irrigação constatou-se diferença significativa entre os genótipos sob irrigação e déficit hídrico, comprovando, mais uma vez que, a partir desse momento, as plantas passaram a sofrer modificações em suas diversas funções fisiológicas, a fim de tentar superar a condição de estresse à qual foram submetidas.

Aos 42 dias após a imposição de déficit hídrico, os genótipos 2, 5, 7, 9, 12, Bourbon, Ct144 e IPR100 apresentaram as maiores taxas fotossintéticas (TABELA 15), sendo que as dessas taxas, quando comparadas aos mesmos genótipos na condição de irrigação corresponderam a 84%, 83%, 74%, 87%, 90%, 81% e 82 %, respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados no trabalho desenvolvido por Reis (2015), para a cultivar Ct144.

Tabela 15 - Médias da taxa fotossintética de 19 genótipos sob condição de irrigação (I) e déficit hídrico (DH), ao longo de sete períodos de avaliação (42 dia).

Genótipo	Taxa fotossintética ( $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )													
	T1 (0 dias)		T2 (7dias)		T3 (14 dias)		T4 (21 dias)		T5 (28 dias)		T6 (35 dias)		T7 (42 dias)	
	DH	I	DH	I	DH	I	DH	I	DH	I	DH	I	DH	I
1	4,31 c	5,32 b	5,41 b	6,77 a	4,94 a	5,43 b	4,90 a	8,00 b *	3,66 a	9,94 a *	1,90 a	7,52 b *	0,41 b	9,23 b *
2	3,94 c	7,71 a *	6,39 b	7,69 a	5,77 a	7,65 a	5,55 a	11,71 a *	5,46 a	11,19 a *	3,79 a	8,49 a *	1,70 a	10,50 a *
3	5,72 b	7,48 a	7,19 a	7,06 a	4,29 a	5,979 a	3,46 a	9,33 a *	3,36 a	10,69 a *	1,45 a	8,34 a *	0,83 b	13,89 a *
4	8,42 a	7,78 a	7,62 a	7,28 a	5,09 a	6,698 a	5,00 a	9,99 a *	2,73 a	10,23 a *	2,05 a	10,37 a *	0,45 b	12,75 a *
5	3,88 c	6,02 a *	7,90 a	5,85 a	4,17 a	4,969 b	5,03 a	11,42 a *	3,76 a	7,87 a *	2,46 a	8,1 a *	2,01 a	11,53 a *
6	4,58 c	6,39 a	8,00 a	8,21 a	3,98 a	8,864 a	4,08 a	7,93 b *	3,77 a	11,77 a *	2,68 a	8,33 a *	0,46 b	9,09 b *
7	3,03 c	7,53 a *	5,76 b	7,75 a	4,74 a	6,86 a	4,84 a	9,76 a *	4,42 a	12,84 a *	2,89 a	6,38 b *	2,27 a	8,82 b *
8	4,79 c	4,12 b	5,65 b	7,41 a	5,37 a	6,43 a	5,11 a	7,19 b	3,47 a	10,29 a *	1,98 a	5,79 b *	0,74 b	11,10 a *
9	4,46 c	5,63 a	5,34 b	7,19 a	4,09 a	7,42 a *	5,11 a	9,77 a *	4,63 a	10,92 a *	2,07 a	9,19 a *	1,24 a	9,49 b *
10	4,10 c	5,67 a	5,88 b	8,84 a *	6,41 a	6,26 a	5,41 a	9,15 a *	3,83 a	12,02 a *	2,42 a	8,83 a *	0,85 b	11,96 a *
11	4,20 c	6,49 a *	6,05 b	6,00 a	4,08 a	4,89 b	3,78 a	8,50 b *	3,05 a	11,47 a *	2,33 a	9,37 a *	0,83 b	11,32 a *
12	3,09 c	5,05 b *	5,90 b	6,17 a	4,80 a	4,79 b	5,77 a	8,43 b *	4,58 a	9,64 a *	2,11 a	10,12 a *	0,94 a	11,72 a *
13	5,38 b	6,7 a	8,26 a	7,82 a	4,79 a	6,43 a	4,32 a	8,20 b *	2,77 a	12,02 a *	2,29 a	9,83 a *	0,63 b	11,68 a *
14	4,55 c	6,75 a *	9,03 a	7,84 a	4,46 a	5,67 b	6,12 a	10,47 a *	3,04 a	10,80 a *	2,12 a	9,53 a *	0,58 b	10,16 b *
15	5,25 c	4,30 b	6,55 b	6,38 a	5,06 a	5,80 b	4,36 a	11,13 a *	2,89 a	10,63 a *	1,40 a	8,05 a *	0,56 b	12,12 a *
Bourbon	2,82 c	4,52 b	5,14 b	5,45 a	4,32 a	4,47 b	5,79 a	8,11 b *	4,01 a	8,89 a *	2,90 a	6,34 b *	0,96 a	9,30 b *
Ct144	4,13 c	5,83 a	6,23 b	6,74 a	3,61 a	5,27 b	3,95 a	8,24 b *	3,18 a	9,23 a *	1,94 a	7,92 a *	1,23 a	6,44 b *
IPR100	3,53 c	3,75 b	5,91 b	4,59 a	4,32 a	3,77 b	4,92 a	10,21 a *	4,48 a	9,55 a *	2,43 a	3,56 c *	1,78 a	10,00 b *
Siriema	5,02 c	4,56 b	6,71 b	5,86 a	3,44 a	6,37 a *	3,76 a	6,78 b *	3,15 a	10,99 a *	2,14 a	8,86 a *	0,15 b	10,05 b *

Fonte: Da autora (2017).

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, e médias seguidas de \* na linha, para o mesmo tempo e mesmo genótipo, são estatisticamente diferentes entre si, ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Skott-Knott.

Para a condutância estomática (TABELA 16), pode-se observar que aos 21 dias após a imposição do déficit hídrico, as plantas apresentaram expressiva redução, o que pode ser indicativo precoce de seca no solo, indicando que um terço da água disponível no solo esgotou (DAMATTA, 2006). Isso sugere que as plantas de café apresentam estômatos com alta sensibilidade ao déficit hídrico interno, resultando em um eficiente controle estomático a fim de evitar perdas de água.

Contudo, quando comparado às condições de déficit hídrico e irrigação, as plantas sob irrigação apresentaram em todas as avaliações valores de condutividade estomática superiores. As diminuições de  $g_s$  provocam limitações nas trocas gasosas, o que favorece a sobrevivência e manutenção da planta (DAMATTA; RAMALHO, 2006). As taxas transpiratórias seguiram o mesmo padrão da condutividade estomática (TABELA 17). Silva et al. (2010), ao avaliarem as respostas fisiológicas de enxertos de *Coffea canephora* com potencial de tolerância ao déficit hídrico, constataram que as taxas de  $A$ ,  $E$  e  $g_s$  foram menores nas mudas em condição de sequeiro.

Em resumo, a medida que a água disponível às plantas é reduzida, os valores de  $E$ ,  $A$  e  $g_s$  foram significativamente reduzidos, sugerindo que a fotossíntese pode ter sido limitada principalmente por fatores bioquímicos (PELOSO et al., 2017).

Tabela 16 - Médias da condutividade estomática ( $\text{molH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) de 19 genótipos sob condição de irrigação e sequeiro, ao longo de sete períodos de experimentação (42 dia).

Genótipo	Condutância estomática ( $\text{molH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )													
	T1 (0 dias)		T2 (7dias)		T3 (14 dias)		T4 (21 dias)		T5 (28 dias)		T6 (35 dias)		T7 (42 dias)	
	DH	I	DH	I	DH	I	DH	I	DH	I	DH	I	DH	I
1	0,04 d	0,02 b	0,07 b	0,11 a *	0,07 a	0,11 a	0,02 a	0,11 a *	0,03 a	0,17 a *	0,01 a	0,09 a *	0,01 a	0,12 d *
2	0,04 d	0,05 b	0,08 b	0,16 a *	0,11 a	0,14 a	0,04 a	0,13 a *	0,04 a	0,13 a *	0,02 a	0,07 a *	0,02 a	0,16 d *
3	0,05 c	0,10 a *	0,09 b	0,12 a	0,05 a	0,11 a	0,03 a	0,07 b *	0,03 a	0,15 b *	0,01 a	0,08 a *	0,02 a	0,31 a *
4	0,15 a	0,12 a	0,11 a	0,12 a	0,08 a	0,13 a	0,03 a	0,12 a *	0,03 a	0,17 a *	0,01 a	0,12 a *	0,01 a	0,25 b *
5	0,04 d	0,09 a *	0,13 a	0,09 b	0,07 a	0,13 a *	0,04 a	0,11 a *	0,03 a	0,10 a *	0,01 a	0,05 b *	0,02 a	0,25 b *
6	0,04 d	0,06 b	0,11 a	0,15 a	0,08 a	0,18 a *	0,04 a	0,07 b *	0,03 a	0,17 b *	0,01 a	0,07 a *	0,01 a	0,21 c *
7	0,03 d	0,08 a *	0,05 b	0,13 a *	0,09 a	0,16 a *	0,03 a	0,13 a *	0,04 a	0,25 a *	0,02 a	0,05 b *	0,03 a	0,12 d *
8	0,09 b	0,06 b	0,08 b	0,12 a	0,08 a	0,12 a	0,04 a	0,06 b *	0,03 a	0,11 b *	0,01 a	0,05 b *	0,02 a	0,20 c *
9	0,07 c	0,05 b	0,07 b	0,10 b	0,06 a	0,16 a *	0,03 a	0,15 a *	0,04 a	0,16 a *	0,01 a	0,05 b *	0,02 a	0,16 d *
10	0,06 c	0,05 b	0,06 b	0,14 a *	0,11 a	0,12 a	0,04 a	0,09 b *	0,03 a	0,18 b *	0,01 a	0,08 a *	0,01 a	0,20 c *
11	0,05 c	0,08 a	0,07 b	0,09 b	0,07 a	0,13 a	0,03 a	0,09 b *	0,03 a	0,18 b *	0,01 a	0,08 a *	0,01 a	0,16 d *
12	0,03 d	0,07 b *	0,07 b	0,08 b	0,08 a	0,12 a	0,04 a	0,10 b *	0,04 a	0,10 b *	0,01 a	0,12 a *	0,01 a	0,22 b *
13	0,06 c	0,09 a *	0,12 a	0,15 a	0,10 a	0,13 a	0,03 a	0,07 b *	0,03 a	0,12 b *	0,01 a	0,11 a *	0,01 a	0,35 a *
14	0,07 c	0,09 a	0,08 b	0,09 b	0,07 a	0,13 a *	0,04 a	0,12 a *	0,03 a	0,15 a *	0,01 a	0,09 a *	0,02 a	0,14 d *
15	0,06 c	0,05 b	0,08 b	0,10 b	0,06 a	0,11 a	0,03 a	0,14 a *	0,03 a	0,16 a *	0,01 a	0,07 a *	0,01 a	0,20 c *
Bourbon	0,03 d	0,03 b	0,06 b	0,08 b	0,09 a	0,10 a	0,03 a	0,07 b *	0,04 a	0,09 b *	0,01 a	0,04 b *	0,02 a	0,19 c *
Ct144	0,03 d	0,05 b	0,09 b	0,13 a	0,05 a	0,10 a *	0,03 a	0,07 b *	0,03 a	0,09 b *	0,01 a	0,05 b *	0,02 a	0,17 d *
IPR100	0,04 d	0,04 b	0,07 b	0,07 b	0,07 a	0,09 a	0,03 a	0,12 a *	0,04 a	0,10 a *	0,01 a	0,04 b *	0,02 a	0,20 c *
Siriema	0,07 c	0,05 b	0,08 b	0,09 b	0,06 a	0,13 a *	0,03 a	0,13 a *	0,03 a	0,17 a *	0,01 a	0,06 b *	0,01 a	0,23 b *

Fonte: Da autora (2017).

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, e médias seguidas de \* na linha, para o mesmo tempo e mesmo genótipo, são estatisticamente diferentes entre si, ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Skott-Knott.

Tabela 17 - Médias das taxas de transpiração ( $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) de 19 genótipos, sob condição de irrigação (I) e déficit hídrico (DH) ao longo de sete períodos de avaliação (42 dias).

Genótipo	Transpiração ( $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )													
	T1 (0 dias)		T2 (7dias)		T3 (14 dias)		T4 (21 dias)		T5 (28 dias)		T6 (35 dias)		T7 (42 dias)	
	DH	I	DH	I	DH	I	DH	I	DH	I	DH	I	DH	I
1	0,56 d	0,48 b	0,93 b	1,09 a	0,68 a	0,92 a	0,49 a	1,72 a *	0,69 a	1,83 b *	0,26 a	1,79 b *	0,19 a	1,29 b *
2	0,68 d	0,71 b	0,91 b	1,34 a	1,10 a	1,21 a	0,64 a	2,17 a *	0,89 a	2,19 a *	0,55 a	1,66 b *	0,30 a	2,58 a *
3	0,78 c	1,09 a	1,00 b	1,24 a	0,58 a	0,87 a	0,45 a	1,30 b *	0,58 a	2,13 a *	0,22 a	1,38 b *	0,18 a	2,25 a *
4	1,86 a	1,44 a	1,36 a	1,14 a	0,76 a	1,13 a	0,64 a	1,94 a *	0,57 a	2,35 a *	0,27 a	1,01 c *	0,19 a	1,80 b *
5	0,64 d	1,40 a	1,35 a	0,86 b	0,62 a	0,98 a	0,58 a	1,57 b *	0,68 a	1,73 b *	0,36 a	1,04 c *	0,36 a	1,94 b *
6	0,63 d	0,99 b	1,02 b	1,35 a	0,77 a	1,40 a *	0,59 a	1,32 b *	0,71 a	2,67 a *	0,30 a	1,48 b *	0,20 a	1,18 b *
7	0,62 d	0,84 a	0,70 b	1,16 a	0,89 a	1,39 a	0,44 a	1,99 a *	0,85 a	2,74 a *	0,37 a	1,49 b *	0,42 a	1,98 b *
8	1,15 b	0,69 b	0,87 b	0,84 a	0,80 a	0,97 a	0,54 a	1,14 b *	0,66 a	2,32 a *	0,36 a	0,91 c *	0,22 a	2,20 a *
9	0,92 c	0,83 b	0,82 b	0,95 b	0,65 a	1,31 a *	0,55 a	2,31 a *	0,69 a	3,04 a *	0,26 a	1,33 b *	0,22 a	1,22 b *
10	0,61 c	0,89 b	0,88 b	1,34 a	1,09 a	1,03 a	0,65 a	1,55 b *	0,70 a	2,76 a *	0,21 a	1,48 b *	0,22 a	1,91 b *
11	0,72 c	1,22 a *	0,74 b	0,97 b	0,68 a	0,75 a	0,42 a	1,43 b *	0,63 a	2,52 a *	0,27 a	2,41 a *	0,22 a	3,05 a *
12	0,76 d	0,98 b	0,88 b	0,95 b	0,85 a	0,92 a	0,64 a	1,29 b *	0,86 a	2,23 a *	0,19 a	2,22 a *	0,21 a	3,18 a *
13	0,95 c	1,39 a	1,66 a	1,22 a	0,89 a	0,98 a	0,43 a	1,04 b *	0,67 a	2,03 b *	0,17 a	2,48 a *	0,20 a	2,43 a *
14	1,09 c	1,23 a	1,56 a	1,31 b	0,74 a	1,13 a	0,54 a	1,57 b *	0,66 a	2,01 b *	0,34 a	1,72 b *	0,28 a	1,46 b *
15	0,75 c	0,64 b	0,97 b	0,83 b	0,64 a	0,97 a	0,49 a	2,28 a *	0,62 a	2,45 a *	0,16 a	1,59 b *	0,17 a	2,63 a *
Bourbon	0,46 d	0,55 b	0,75 b	0,86 b	0,71 a	0,82 a	0,53 a	1,18 b *	0,77 a	1,82 b *	0,26 a	0,59 d A	0,26 a	1,61 b *
Ct144	0,65 d	0,47 b	1,02 b	1,06 a	0,51 a	0,98 a *	0,49 a	0,94 b *	0,59 a	1,59 b *	0,26 a	1,50 b *	0,29 a	2,10 b *
IPR100	0,75 d	0,65 b	1,08 b	0,74 b	0,69 a	0,74 a	0,50 a	1,93 a *	0,66 a	1,52 b *	0,34 a	0,45 d *	0,32 a	1,97 b *
Siriema	1,29 c	0,73 b *	0,96 b	0,93 b	0,60 a	0,98 a	0,46 a	1,16 b *	0,67 a	2,70 a *	0,34 a	1,38 b *	0,17 a	1,89 b *

Fonte: Da autora (2017).

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, e médias seguidas de \* na linha, para o mesmo tempo e mesmo genótipo, são estatisticamente diferentes entre si, ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Skott-Knott.

Em um comparativo entre a porcentagem de redução da taxa fotossintética e de condutância estomática, aos 42 dias de experimento, os genótipos 2, 5, 7, 9, 12, Bourbon, Ct144 e IPR100 que apresentaram as melhores taxas fotossintéticas, tiveram respectivamente redução de 88%, 91%, 77%, 90%, 92%, 92%, 89% e 91% na condutância estomática das plantas, sob déficit hídrico, em relação às irrigadas.

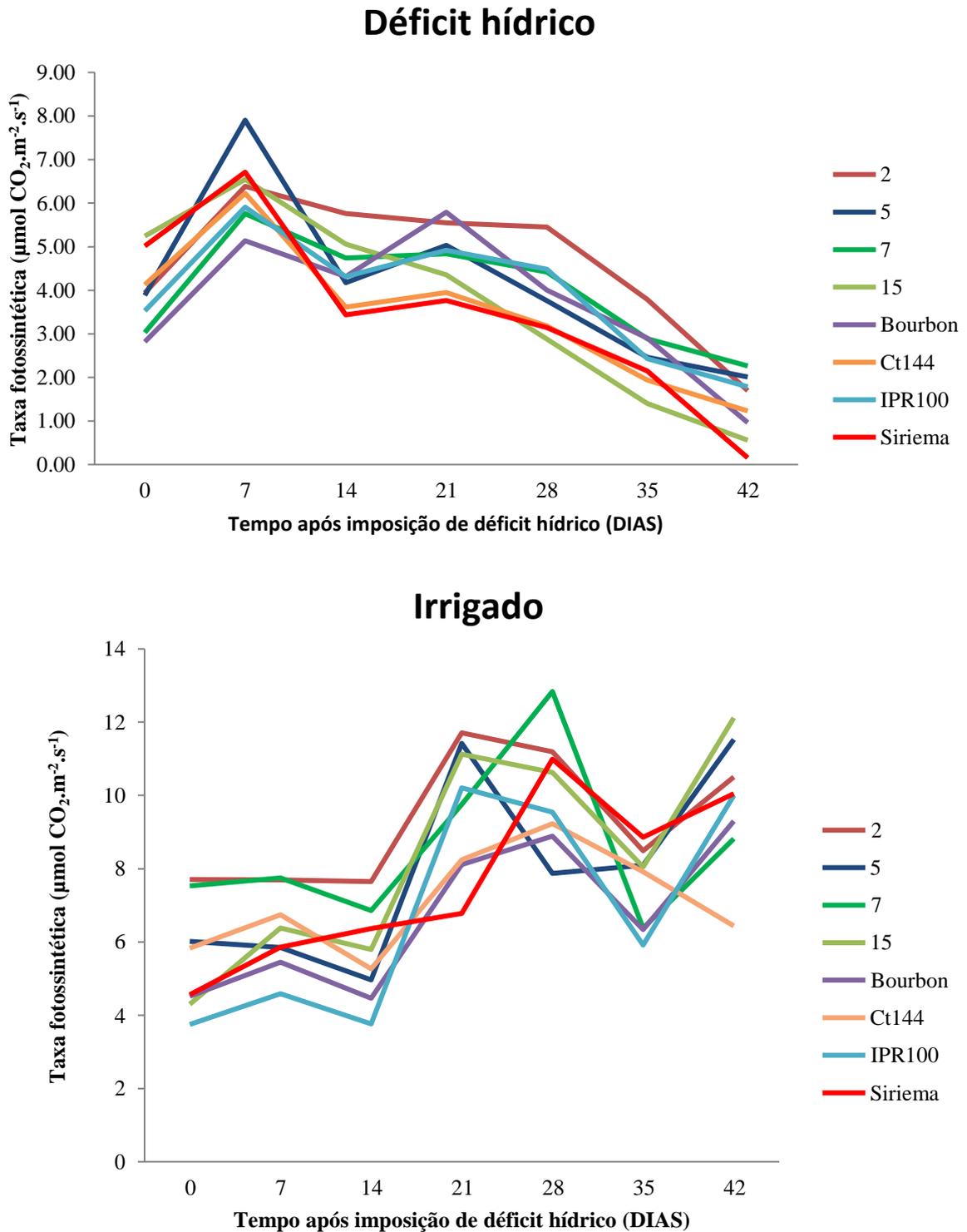
Pode-se afirmar que ocorreram maiores reduções de  $g_s$  que em  $A$ , podendo indicar que a redução da fotossíntese pelo estresse hídrico pode estar associada, principalmente, a limitações à difusão do  $CO_2$  para o interior da folha, causado pelo aumento da restrição estomática e não às limitações bioquímicas das reações fotossintéticas (CORNIC, 2000; DAMATTA; RAMALHO, 2006; PIMENTEL, 2004).

Plantas que passam por um período de estresse hídrico tendem a diminuir sua taxa de crescimento, em razão da diminuição na taxa fotossintética e abertura estomática, evitando assim perdas de água por transpiração, e redução da assimilação de  $CO_2$  (TAIZ; ZEIGER, 2013). Em estudos desenvolvidos por Damatta, Maestri e Barros(1997), ao avaliarem a performance fotossintética de mudas de *Coffea arabica* (Catuaí vermelho) e *Coffea canephora* (cultivar Kouillou) sob condição de seca, os autores constataram que quanto maiores os níveis de estresse hídrico, menores foram as taxas fotossintéticas apresentadas pelas plantas com 14 meses de idade.

Em avaliação de clones de *Coffea canephora*, Pinheiro et al. (2005) concluíram que a condutância estomática reduz a medida que o potencial hídrico das plantas é reduzido, ou seja, a condutância estomática tende a diminuir com o aumento da demanda evaporativa. Esse processo reduz a taxa transpiratória e, conseqüentemente, contribui para o aumento ou para a manutenção do potencial hídrico dentro de limites que permitam a manutenção do crescimento vegetal (CAVATTE et al., 2012).

No Gráfico 2, pode-se observar como ocorreu a variação das taxas fotossintéticas entre os genótipos contrastantes que foram estudados.

Gráfico 2 - Resumo de variação da taxa fotossintética de genótipos contrastantes sob condição de déficit hídrico e irrigação aos 0, 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias após a imposição dos tratamentos hídricos.



Fonte: Da autora (2017).

A eficiência do uso da água (EUA) tendeu a aumentar a medida que houve redução da água disponível para as plantas (TABELA 18). Para melhorar o desempenho da planta nas regiões sujeitas à seca, é importante a identificação e seleção de características que contribuem para a tolerância à seca ou a eficiência do uso da água (DAMATTA, 2004). Na maioria das avaliações, não foi possível detectar diferença entre os genótipos na condição de sequeiro. Apenas aos 42 dias de imposição do déficit hídrico os genótipos 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 12, Bourbon, Ctc144 e IPR 100 apresentaram maior eficiência do uso da água que os demais. Nesse momento, para quase todos os genótipos ocorreu redução na EUA, sendo extremamente reduzida nos genótipos 1, 6, 8, 13, 14, 15 e Siriema, entretanto, essa redução acentuada pode ser causada pela menor eficiência de controle estomático. Em trabalho desenvolvido por Souza et al. (2015), a eficiência do uso da água das cultivares Catuaí vermelho e Catuaí amarelo aumentou a medida que o potencial hídrico diminuiu. O aumento da eficiência de uso da água quando sob condições de déficit hídrico é uma característica relevante na seleção de genótipos potencialmente tolerantes ao déficit hídrico, uma vez que essa característica demonstra uma maior eficiência do controle estomático, o que pode promover maior adaptabilidade às condições de déficit hídrico (REIS, 2014).

Silva et al. (2010) observaram que ocorreu fechamento estomático da mudas sob déficit hídrico, acarretando decréscimos, proporcionalmente maiores à transpiração do que à fotossíntese, já que a eficiência do uso da água (A/E) aumentou em condições de estresse hídrico, ao avaliar clones de *Coffea canephora* sob condição de estresse hídrico.

Tabela 18 - Médias da eficiência de uso da água de 19 genótipos, sob condição de irrigação e déficit hídrico ao longo de sete períodos de avaliação (42 dias).

Genótipos	Eficiência do uso da água ( $\mu\text{molCO}_2\text{mmol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$ )													
	Irrigado							Déficit hídrico						
	T1 (0dias)	T2 (7dias)	T3 (14dias)	T4 (21dias)	T5 (28dias)	T6 (35dias)	T7 (42dias)	T1 (0dias)	T2 (7dias)	T3 (14dias)	T4 (21dias)	T5 (28dias)	T6 (35dias)	T7 (42dias)
1	6,29 b	6,33 a	6,23 a	4,71 a*	5,69 a	6,31 b	7,26 a	6,62 a	5,73 a	7,22 a	9,68 a	5,71 a	7,29 a	2,45 b
2	10,51 a*	5,80 a	6,51 a	5,37 a	5,18 a	5,19 b	4,34 b	6,64 a	7,04 a	5,32 a	8,76 a	6,36 a	8,01 a	6,16 a
3	6,83 b	5,79 a	6,86 a	7,49 a	4,95 a	6,20 b	7,19 a	6,31 a	7,14 a	7,68 a	7,58 a	6,69 a	8,74 a	5,47 a
4	5,41 b	6,40 a	5,98 a	5,19 a	4,71 a	10,38 a	8,37 a	4,52 a	5,61 a	6,82 a	7,86 a	5,39 a	7,97 a	6,18 a
5	4,40 b	6,76 a	5,48 a	7,23 a	4,59 a	7,99 a	6,99 a	5,82 a	6,09 a	8,13 a	8,84 a	6,55 a	8,73 a	5,78 a
6	7,12 b	6,17 a	6,83 a	6,00 a	4,41 a	6,65 b	7,52 a	6,90 a	6,71 a	5,27 a	7,46 a	6,00 a	11,37 a	4,18 b
7	8,48 a*	6,87 a	6,22 a	5,23 a*	4,89 a	4,50 b*	5,30 b	4,91 a	6,80 a	5,45 a	11,26 a	5,80 a	9,69 a	4,48 a
8	5,97 b	7,38 a	7,06 a	6,42 a	4,78 a	6,39 b	5,82 b*	4,57 a	6,49 a	7,19 a	9,68 a	5,84 a	5,82 a	2,84 b
9	6,83 b	7,54 a	6,10 a	4,25 a*	3,57 a*	8,16 a*	7,66 a	4,71 a	6,44 a	6,36 a	10,20 a	6,74 a	6,98 a	6,28 a
10	6,46 b	6,62 a	6,05 a	6,00 a	4,31 a	6,50 b	6,32 a	6,60 a	6,54 a	5,99 a	8,38 a	6,18 a	11,60 a	6,52 a
11	5,33 b	6,20 a	6,88 a	6,06 a*	4,49 a	3,87 b*	3,69 b	5,67 a	6,68 a	5,89 a	9,35 a	5,18 a	9,37 a	4,97 a
12	6,21 b	6,90 a	5,20 a	6,68 a	4,51 a	4,54 b	3,84 b	4,86 a	6,76 a	5,68 a	8,84 a	5,91 a	11,77 a	4,97 a
13	5,35 b	6,70 a	6,38 a	7,05 a	6,07 a	4,04 b*	4,85 b	5,63 a	5,20 a	5,56 a	10,91 a	4,55 a	14,25 a	3,48 b
14	5,53 b	9,24 a	5,18 a	6,80 a*	5,50 a	6,34 b*	7,04 a*	4,17 a	5,81 a	6,27 a	11,78 a	4,98 a	11,61 a	1,83 b
15	5,56 b	6,68 a	5,93 a	5,11 a*	4,77 a	5,14 b	5,35 b	5,56 a	6,94 a	7,92 a	9,04 a	4,91 a	8,61 a	3,39 b
Bourbon	8,96 a	6,44 a	5,63 a	6,94 a	4,97 a	9,84 a	5,84 b	6,57 a	6,86 a	6,38 a	9,20 a	5,75 a	8,03 a	6,29 a
Ct144	12,17 a*	6,46 a	5,79 a	9,21 a	5,77 a	5,49 b	3,41 b	5,28 a	6,08 a	7,43 a	8,20 a	6,34 a	7,50 a	4,88 a
IPR100	6,34 b	5,42 a	5,19 a	5,38 a*	8,02 a	9,84 a	5,12 b	4,95 a	5,27 a	6,39 a	10,05 a	6,92 a	7,11 a	4,63 a
Siriema	6,63 b	6,39 a	6,57 a	5,85 a	4,17 a	7,98 a	5,29 b*	3,96 a	7,01 a	5,76 a	8,09 a	4,37 a	8,01 a	2,29 b

Fonte: Da autora (2017).

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, e médias seguidas de \* na linha, para o mesmo tempo e mesmo genótipo, são estatisticamente diferentes entre si, ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Skott-Knott.

Em relação à eficiência de uso do carbono (EUC) aos 0, 7 e 14 dias após a suspensão da irrigação, houve uma tendência dessa variável manter seus valores entre 0,01 e 0,03  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ ppm}^{-1}$  nos dois tratamentos hídricos. Aos 21 dias, pode-se observar reduções na EUC nos tratamentos sob a condição de déficit hídrico quando comparados aos irrigados (TABELA 19).

Aos 35 dias de experimentação, foi observada grande variação na EUC entre os genótipos, sendo que os genótipos Siriema, Bourbon Amarelo, 2 e 6 apresentaram maiores valores para EUC. Ao fim do experimento, os genótipos 2, 5, 7, 9, 12, Ctc144, Bourbon e IPR100 apresentaram os maiores valores de EUC, sendo que essa maior eficiência pode ocorrer em função da maior capacidade dos genótipos em se adaptarem às condições de estresse hídrico (TABELA 19).

Tabela 19- Médias da eficiência de uso do carbono ( $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{ppm}^{-1}$ ) de 19 genótipos, sob condição de irrigação e déficit hídrico ao longo de sete períodos de avaliação (42 dias).

Genótipo	Eficiência de uso do carbono ( $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{ppm}^{-1}$ )													
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
	(0dias)	(7dias)	(14dias)	(21dias)	(28dias)	(35dias)	(42dias)	(0dias)	(7dias)	(14dias)	(21dias)	(28dias)	(35dias)	(42dias)
	Irrigado							Déficit hídrico						
1	0,009 a*	0,024 a	0,017 a	0,032 a	0,040 a*	0,041 a	0,031 a*	0,019 a	0,019 a	0,018 a	0,040 a	0,018 a	0,034 b	0,001 b
2	0,032 a*	0,026 a	0,025 a	0,049 a	0,042 a*	0,052 a	0,034 a*	0,019 a	0,024 a	0,019 a	0,039 a	0,024 a	0,059 a	0,009 a
3	0,029 a	0,024 a	0,021 a	0,044 a*	0,042 a*	0,061 a*	0,045 a*	0,024 a	0,027 a	0,016 a	0,017 b	0,021 a	0,011 d	0,003 b
4	0,029 a	0,024 a	0,022 a	0,042 a*	0,040 a*	0,055 a*	0,043 a*	0,029 a	0,027 a	0,018 a	0,024 b	0,013 a	0,016 c	0,001 b
5	0,024 a	0,020 a	0,016 a	0,052 a*	0,031 a*	0,046 a*	0,037 a*	0,017 a	0,027 a	0,018 a	0,025 b	0,019 a	0,020 c	0,008 a
6	0,027 a	0,027 a	0,028 a	0,040 a*	0,045 a*	0,048 a*	0,030 a*	0,018 a	0,028 a	0,013 a	0,023 b	0,020 a	0,060 a	0,001 b
7	0,031 a	0,026 a	0,022 a	0,051 a	0,048 a*	0,054 a*	0,029 a*	0,012 a	0,020 a	0,015 a	0,035 a	0,026 a	0,021 c	0,009 a
8	0,017 a	0,025 a	0,022 a	0,037 a	0,040 a*	0,051 a*	0,036 a*	0,018 a	0,020 a	0,020 a	0,025 b	0,018 a	0,024 c	0,002 b
9	0,024 a	0,024 a	0,023 a	0,046 a*	0,043 a*	0,055 a*	0,032 a*	0,016 a	0,020 a	0,015 a	0,023 b	0,025 a	0,034 b	0,005 a
10	0,024 a	0,029 a	0,020 a	0,041 a*	0,045 a*	0,054 a*	0,039 a*	0,017 a	0,020 a	0,021 a	0,028 a	0,023 a	0,010 d	0,003 b
11	0,024 a	0,019 a	0,015 a	0,043 a*	0,041 a*	0,048 a*	0,038 a*	0,016 a	0,021 a	0,014 a	0,020 b	0,018 a	0,008 d	0,003 b
12	0,019 a	0,021 a	0,015 a	0,033 a	0,038 a*	0,047 a*	0,039 a*	0,013 a	0,022 a	0,016 a	0,029 a	0,023 a	0,029 b	0,004 a
13	0,024 a	0,024 a	0,021 a	0,034 a*	0,045 a*	0,049 a*	0,037 a*	0,021 a	0,027 a	0,016 a	0,023 b	0,013 a	0,027 b	0,002 b
14	0,026 a	0,025 a	0,018 a	0,045 a*	0,042 a*	0,053 a*	0,034 a*	0,016 a	0,033 a	0,016 a	0,028 a	0,014 a	0,018 c	0,002 b
15	0,016 a	0,022 a	0,020 a	0,046 a*	0,042 a*	0,050 a*	0,040 a*	0,020 a	0,024 a	0,019 a	0,020 b	0,013 a	0,009 d	0,001 b
Bourbon	0,018 a	0,019 a	0,014 a	0,047 a	0,037 a*	0,041 a*	0,031 a*	0,013 a	0,019 a	0,015 a	0,034 a	0,021 a	0,061 a	0,003 a
Ct144	0,030 a	0,023 a	0,017 a	0,043 a*	0,037 a*	0,056 a*	0,022 a*	0,016 a	0,022 a	0,014 a	0,018 b	0,019 a	0,016 d	0,005 a
IPR100	0,014 a	0,016 a	0,014 a	0,043 a*	0,038 a*	0,024 a*	0,033 a*	0,014 a	0,020 a	0,015 a	0,029 a	0,026 a	0,007 d	0,006 a
Siriema	0,020 a	0,019 a	0,020 a	0,033 a*	0,041 a*	0,046 a*	0,034 a*	0,019 a	0,024 a	0,012 a	0,017 b	0,016 a	0,072 a	0,000 b

Fonte: Da autora (2017).

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, e médias seguidas de \* na linha, para o mesmo tempo e mesmo genótipo, são estatisticamente diferentes entre si, ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Skott-Knott.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A taxa fotossintética e o potencial hídrico foliar foram as variáveis estudadas mais indicadas para se avaliar a adaptabilidade dos genótipos ao déficit hídrico.

Tendo em vista o melhor entendimento fisiológico do déficit hídrico, sugere-se identificar e avaliar a anatomia foliar e transcrição diferencial de genes relacionados ao potencial de tolerância a déficit hídrico em mudas de *Coffea arabica* L.

## 6 CONCLUSÃO

A cultivar IPR 100 e as progênies 2 (H 29-1-8-5-14-2), 5 (H 136-1-19-7-14-4) e 12 (H 136-1-19-4-6-5) apresentaram características agronômicas e fisiológicas que contribuíram para uma melhor manutenção do *status* hídrico no desenvolvimento inicial de plantas de café, sendo fatores indicativos para a seleção desses genótipos como potencialmente tolerantes ao déficit hídrico, pode-se destacar que esses genótipos apresentaram maior taxa fotossintética, maior eficiência de uso da água e eficiência de uso do carbono, em função de apresentarem menor área foliar e menor angulação de ramo plagiotrópico.

A não manutenção do *status* hídrico das demais progênies podem ter ocorrido em função de vários fatores como a menor eficiência de uso da água e do carbono, maior área foliar e menor capacidade de manter o potencial hídrico.

## REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, A. de P. **Produção e outras características de progênies de café Icatu (*Coffea spp*)**. 1991. 75 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1991.
- ANDROCIOLI FILHO, A.; ANDROCIOLI, L. G. Adensamento e poda do café arábica. In: TOMAZ, M. A. et al. (Ed.). **Tecnologias para a sustentabilidade da cafeicultura**. Alegre: Caufes, 2011. p. 69-94.
- ARAUJO, G. L. et al. Influência do déficit hídrico no desenvolvimento inicial de duas cultivares de café conilon. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 2, p. 115-124, 2011.
- ARAÚJO, S. A. do C.; DEMINICIS, B. B. Fotoinibição da fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 463-472, 2009.
- ARAUJO, W. L. et al. Limitations to photosynthesis in coffee leaves from different canopy positions. **Plant Physiology and Biochemistry**, New Delhi, v. 46, n. 10, p. 884-890, 2008.
- BARROS, R. S. et al. Determinação da área foliar em café (*Coffea arabica* L. cv. 'Bourbon Amarelo'). **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 20, n. 107, p. 44-52, 1973.
- 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, 2010.
- BOTELHO, C. E. et al. Seleção de progênies F4 de cafeeiros obtidas pelo cruzamento de Icatu com Catimor. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 57, n. 3, p. 274-281, maio/jun. 2010.
- BRUM, C. N. et al. Modifications in the metabolism of carbohydrates in (*Coffea arabica* L. cv. siriema) seedlings under drought conditions. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, p. 140-147, 2013.
- CAMARGO, A. P. de. Balanço hídrico, florescimento e necessidade de água para o cafeeiro. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, 1987, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargil, 1987. p. 53-90.
- CAMARGO, A. P. de. Florescimento e frutificação de café arábica nas diferentes regiões (cafeiras) do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, n. 7, p. 830-839, jul. 1985.
- CAMARGO, A. P. de. Necessidades hídricas do cafeeiro. In: CONCURSO PRÁTICO INTERNACIONAL DE AGROMETEOROLOGIA, 3., 1989, Campinas. **Anais...** Campinas: IAC, 1989. 1 CD-ROM.
- CARVALHO, A.; MÔNACO, L. C. Melhoramento do cafeeiro visando à resistência à ferrugem alaranjada. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 141-146, 1971.
- CARVALHO, A. M. et al. Correlação entre crescimento e produtividade de cultivares de café em diferentes regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 45, n. 3, p. 269-275, mar. 2010.

CARVALHO, F. G. et al. Tolerância ao déficit hídrico em mudas de genótipos de café portadores de genes de diferentes espécies. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 156-163, abr./jun. 2017.

CAVATTE, P. C. et al. Could shading reduce the negative impacts of drought on coffee: a morphophysiological analysis. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 144, n. 2, p. 111-122, Feb. 2012.

CLIMA TEMPO. **São Sebastião do Paraíso, MG**. Disponível em: <<http://www.climatempo.com.br/climatologia/1603/saosebastiaodoparaíso-mg>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

COELHO, G. et al. Efeito de épocas de irrigação e de parcelamento de adubação sobre a produtividade do cafeeiro ‘Catuai’. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 67-73, jan./fev. 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira café: safra 2017: primeiro levantamento**. Brasília, DF, 2017. 98 p.

CONSÓRCIO PESQUISA CAFÉ. **MGS Aranãs**. Disponível em: <<http://www.consorciopesquisacafe.com.br/index.php/tecnologias/separador-8/cultivares/625>>. Acesso em: 21 nov. 2017.

CORNIC, G. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture—not by affecting ATP synthesis. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 5, n. 5, p. 187-188, 2000.

CRUZ, C. D. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**. Agronomy, Maringá, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.

DAMATTA, F. M. Exploring drought tolerance in coffee: a physiological approach with some insights for plant breeding. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 16, n. 1, p. 1-6, 2004.

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

DAMATTA, F. M. et al. Uso da água e tolerância a seca em *Coffea canephora*. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2000, Poços de Caldas. **Anais...** Brasília, DF: EMBRAPA/CAFÉ, 2000. p. 907-910.

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

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**, Campos dos Goytacazes, v. 18, n. 1, p. 55-81, 2006.

DAMATTA, F. M.; RENA, A. B.; ZAMBOLIM, L. Ecofisiologia de cafezais sombreados a pleno sol. In: \_\_\_\_\_. **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2002. p. 93-135.

DARDENGO, M. C. J. D. **Influência da disponibilidade hídrica no crescimento inicial do cafeeiro conilon**. 2006. 57 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal)-Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2006.

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 BRASIL, 2005, Londrina. **Resumos Expandidos...** Brasília, DF: EMBRAPA Café, 2005. 1 CD-ROM.

DOMINGHETTI, A. W. et al. Tolerância ao déficit hídrico por cafeeiros produzidos por estaquia e embriogênese somática. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 117-126, 2016.

FARIAS, J. R. B. Dinâmica da água no sistema solo-água-atmosfera: déficit hídrico em culturas. **ITEM**, Brasília, DF, n. 68, p. 32-37, 2005.

FAZUOLI, L.; COSTA, W. M.; BORBOLETO, N. Efeito do porta-enxerto LiC 2258 de *Coffea canephora*, resistente a *Meloidogyne incognita*, no desenvolvimento e produção inicial de dois cultivares de *Coffea arabica*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIIRAS, 1983, Poços de Caldas. **Resumos...** Rio de Janeiro: MIC/IBC, 1983. p. 113-115.

FERRÃO, R. G. et al. Genética e melhoramento: desenvolvimento e recomendação de cultivares com tolerância à seca para o Espírito Santo. **Incaper em Revista**, Vitória, v. 6/7, n. 4, p. 51-71, jan. 2015/dez. 2016.

FIALHO, G. S. et al. Comportamento de plantas de café arábica submetidas a déficit hídrico durante o desenvolvimento inicial. **Idesia**, Arica, v. 28, n. 3, p. 35-39, 2010.

FLEXAS, J.; MEDRANO, H. Photosynthetic responses of C3 plants to drought. **Advances in Plant Physiology**, Varanasi, v. 4, p. 1-56, 2002.

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

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

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. **Termos de referência para o cargo de Diretor-Executivo da Organização Internacional do Café**. Disponível em: <<http://www.ico.org/documents/cy2016-17/icc-118-2p-terms-reference-new-ed.pdf>>. Acesso em: 2 fev. 2017.

LACERDA, C. F. de. **Relações solo-água-plantas em ambientes naturais e agrícolas do nordeste brasileiro**. Recife: Ed. UFRPE, 2007. 78 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2004. 531 p.

LAWLOR, D. H.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell & Environment**, Oxford, v. 25, n. 2, p. 275-294, 2002.

LI-COR BIOSCIENCES. **Using the LI-6400/LI6400 XT**: portable photosynthesis system. 2012. Disponível em: <<https://app.boxenterprise.net/s/s8zyqu2vwndny903qutg>>. Acesso em: 10 out. 2016.

MATIELLO, J. B. et al. **Culturado café no Brasil**: novo manual de recomendações. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFE, 2010. 438 p.

MENDES, A. J. T. Observações citológicas em *Coffea*: XI métodos de tratamento pela colchicina. **Bragantia**, Campinas, v. 7, n. 9/10, p. 221-230, 1947.

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

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

MÔNACO, L. C.; CARVALHO, A.; FAZUOLI, L. C. Melhoramento do cafeeiro: germoplasma Icatu e seu potencial no melhoramento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIAS, 1974, Poços de Caldas. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1974. p. 103.

MONTE RASO, B. de S. et al. Avaliação agrônômica de cafeeiros da cultivar Mundo Novo no Estado de Minas Gerais. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 4, p. 2363-2372, 2015.

MURTHY, P. S.; NAIDU, M. M. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition: a review. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 66, p. 45-58, 2012.

OLIVEIRA, I. P. de et al. Cultura de café: histórico, classificação botânica e fases de crescimento. **Revista Faculdade Montes Belos**, São Luís de Montes Belos, v. 5, n. 4, p. 17-32, ago. 2012.

OLIVEIRA, L. F. C. de et al. Comportamento fisiológico de cafeeiros submetidos a diferentes disponibilidades de água no solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 3, p. 83-91, 2009.

PAIVA, R. F. et al. Comportamento de cultivares de cafeeiro *C. arabica* L, enxertados sobre cultivar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 7, p. 1155-1160, 2012.

PELOSO, A. de F. et al. Limitações fotossintéticas em folhas de cafeeiro arábica promovidas pelo déficit hídrico. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 389-399, jul./set. 2017.

- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia fundamentos e aplicações**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.
- PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: EDUR, 2004. 191 p.
- PINHEIRO, H. A. et al. Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. **Annals of Botany**, London, v. 96, n. 1, p. 101-108, 2005.
- REGAZZI, A. J. **Análise multivariada**: notas de aula INF 766. Viçosa, MG: Departamento de Informática, UFV, 2000. v. 2.
- REIS, A. M. **Caracterização morfofisiológica de genótipos de *Coffea arabica* sob déficit hídrico**. 2015. 51 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.
- RIBEIRO, W. R. et al. Atuação do déficit hídrico no solo como fator limitante da transpiração relativa e desenvolvimento inicial do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 9., 2015, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2015. 1 CD-ROM.
- RODRIGUES, R. R. et al. Crescimento inicial do Cafeeiro Conilon sob déficit hídrico no solo. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 33-38, 2016.
- RONCHI, C. P. et al. Respostas ecofisiológicas de cafeeiros submetidos ao deficit hídrico para concentração da florada no Cerrado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 50, n. 1, p. 24-32, jan. 2015.
- SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.
- SEVERINO, L. S. et al. Seleção de progênies de Catimor (*Coffea arabica* L.) em Martins Soares. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA CAFES DO BRASIL, 2000, Poços de Caldas. **Resumos Expandidos...**Brasília, DF: EMBRAPA/MINASPLAN, 2000. v. 1, p. 522-526.
- SILVA, A. L. da. **Estudo técnico e econômico do uso de sistemas de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro (*Coffea arábica*)**. 2002. 67 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.
- SILVA, C. A. da; TEODORO, R. E. F.; MELO, B. de. Produtividade e rendimento do cafeeiro submetido a lâminas de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 3, p. 387-394, mar. 2008.
- SILVA, P. E. M. et al. The functional divergence of biomass partitioning, carbon gain and water use in *Coffea canephora* in response to the water supply: implications for breeding aimed at improving drought tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 87, p. 49-57, 2013.

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, DF, v. 45, n. 5, p. 457-464, maio 2010.

SOUZA, B. P. de et al. **Trocas gasosas em mudas de café arábica submetidas ao déficit hídrico e deficiência de nitrogênio**. Brasília, DF: EMBRAPA Café, 2015.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: McGraw-Hill, 1980.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

TARDIEU, F. Plant tolerance to water deficit: physical limits and possibilities for progress. **Comptes Rendus Geoscience**, Paris, v. 337, n. 1/2, p. 57-67, 2005.

TARDIEU, F.; SIMONNEAU, T. Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modelling isohydric and anisohydric behaviours. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 49, p. 419-432, 1998.

VIEIRA, E. S. N. et al. Development of microsatellite markers for identifying Brazilian *Coffea arabica* varieties. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 33, p. 507-514, 2010.

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