

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA –
PPGA

GUSTAVO MIRANDA CREMONINI

CARACTERIZAÇÃO MORFOFISIOLÓGICA E GENÉTICA DE PROGÊNIES DE
Coffea canephora IRMÃOS COMPLETOS PROVENIENTES DO CRUZAMENTO DE
GENÓTIPOS CONTRASTANTES QUANTO A TOLERÂNCIA A SECA

ALEGRE
2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA -
PPGA

GUSTAVO MIRANDA CREMONINI

CARACTERIZAÇÃO MORFOFISIOLÓGICA E GENÉTICA DE PROGÊNIES DE
Coffea canephora IRMÃOS COMPLETOS PROVENIENTES DO CRUZAMENTO DE
GENÓTIPOS CONTRASTANTES QUANTO A TOLERÂNCIA A SECA

Orientadora: Dra. Taís Cristina Bastos Soares
Coorientador: Dr. Paulo Cezar Cavatte

ALEGRE
2025

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

M672c Miranda Cremonini, Gustavo, 1999-
CARACTERIZAÇÃO MORFOFISIOLÓGICA E GENÉTICA DE PROGÊNIES DE *Coffea canephora* IRMÃOS COMPLETOS PROVENIENTES DO CRUZAMENTO DE GENÓTIPOS CONTRASTANTES QUANTO A TOLERÂNCIA A SECA / Gustavo Miranda Cremonini. - 2025.
91 p. : il.

Orientadora: Tais Cristina Bastos Soares.

Coorientador: Paulo César Cavatte.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Café. 2. Estresse hídrico. 3. Diversidade. 4. Genética. 5. Conilon. 6. IRGA. I. Bastos Soares, Tais Cristina. II. Cavatte, Paulo César. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 63

GUSTAVO MIRANDA CREMONINI

**CARACTERIZAÇÃO MORFOFISIOLÓGICA E GENÉTICA DE PROGÊNIES DE
Coffea canephora IRMÃOS COMPLETOS PROVENIENTES DO CRUZAMENTO
DE GENÓTIPOS CONTRASTANTES QUANTO A TOLERÂNCIA A SECA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da
Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para obtenção do
título de Mestre em Agronomia.

Aprovado em 24 de janeiro de 2025.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof.^a Dra. Taís Cristina Bastos Soares
Universidade Federal do Espírito Santo
(Orientadora)

Prof.^aDra. Vanessa Holanda Righetti de Abreu
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. João Batista Esteves Peluzio
Instituto Federal do Espírito Santo

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) pelo financiamento deste projeto, que foi essencial para o seu desenvolvimento. Também sou grato à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento à pesquisa, permitindo que eu avançasse no meu trabalho e contribuísse para a geração de conhecimento.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	8
2. HIPÓTESES	9
3. OBJETIVOS	9
3.1 Objetivo Geral	9
3.2 Objetivos Específicos	9
4. MATERIAL E MÉTODOS	9
4.1. Descrição da área de estudo e material genético	9
4.2. Coleta dos dados	13
4.3. Análise do potencial osmótico	14
4.4. Análises de trocas gasosas	14
4.5. Avaliação da concentração de clorofila	15
4.6. Análise por microscopia dos estômatos e da venação das folhas	15
4.7. Análise estatística dos dados	16
5. REVISÃO DE LITERATURA	17
5.1 Origem do Coffea canephora.	17
5.2 Aspectos botânicos de Coffea canephora	18
5.3 Produtividade e consumo de C. canephora.	19
5.4 Fenologia de Coffea canephora.	20
5.5. Respostas do cafeeiro ao déficit hídrico	22
5.6. Estresse hídrico e tolerância à seca em Coffea canephora	25
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
6.1 Potencial osmótico	30
6.2 Teor de clorofila	33
6.3 Taxa fotossintética (Photo) condutância estomática (Cond), dióxido de carbono intracelular (Ci) e taxa de transpiração (Trmmol);	38
6.4 Eficiência no uso da água intrínseca dos indivíduos (WUE);	47
6.5 Análise de estômatos e venação	50
7. CONCLUSÕES	62
8. REFERÊNCIAS	63
9. APÊNDICES	76
10. ANEXO	87

RESUMO

O café é uma planta e um produto popularmente conhecido em todo o mundo. O gênero *Coffea* possui duas espécies amplamente conhecidas: *Coffea arábica*, de origem Etíope, e *Coffea canephora*, que tem origem em uma área que abrange o Congo à Nova Guiné. A tolerância à seca é uma característica desejável nas culturas agrícolas pois permite que as plantas sobrevivam e cresçam em regiões com baixa disponibilidade de água, ou com problemas de distribuição anual. Com o avanço das mudanças climáticas e o crescente consumo de alimentos em todo o mundo, a tolerância à seca torna-se característica primordial para garantir a segurança alimentar e sustentar a produtividade que a agricultura demanda. A seleção de plantas que possuem a capacidade de tolerar a escassez de água pode aumentar a produtividade e a resiliência das espécies em condições de estresse hídrico, melhorar a segurança alimentar global e promover a adaptação às mudanças climáticas. Dessa forma, o *Coffea canephora* possui grande importância econômica para o estado do Espírito Santo (ES) devido o seu potencial produtivo e a qualidade de sua bebida, que é consumida diariamente. As 12 progênies utilizadas no experimento foram selecionadas a partir dos cruzamentos recíprocos 109x120 e 120x109 entre clones de café Conilon com características relevantes para a cafeicultura e constatou-se que o clone 109 é suscetível e o 120 é tolerante à seca. Dos 12 genótipos selecionados, 6 foram pré-selecionados da população 120x109 (3 tolerantes – 3T, 6T e 7T e 3 suscetíveis – 4S, 2S, 10S); e 6 pré-selecionados da população 109x120 (3 tolerantes – 1T, 6T e 50T; e 3 susceptíveis 42S, 44S e 59S). Nas análises foram incluídos os parentais 120T e 109S. Portanto, objetivou-se com esta proposta, selecionar genótipos de *Coffea canephora* oriundos de cruzamentos entre os clones 120 e 109, verificando os possíveis efeitos dos cruzamentos recíprocos 109x120 e 120x109 entre clones de café Conilon, com características de interesse para o programa de melhoramento do cafeeiro. Entre as variáveis analisadas, os genótipos 1T, 2S, 3T, 6aT, 7T, 10S, 40S, 44S e 59S destacaram-se estatisticamente em condições de escassez hídrica, evidenciando sua tolerância ao déficit hídrico. Em especial, os clones 2S, 40S, 44S e 6aT, que apresentaram maior eficiência no uso da água em comparação aos demais.

Palavras-chave: Coffea, Estresse hídrico, Diversidade Genética, Conilon, Genótipos.

ABSTRACT

Coffee is a plant and a product popularly known throughout the world. The genus *Coffea* has two widely known species: *Coffea arabica*, which has an Ethiopian origin, and *Coffea canephora*, which originates from an area that covers an extension from the Congo until New Guinea. Drought tolerance is a desirable characteristic in crops because it allows plants to survive and grow in regions with low water availability, or with problems of annual distribution. With the advancement of climate change and the increasing consumption of food worldwide, drought tolerance becomes a key characteristic to ensure food security and sustain the productivity that agriculture demands. The selection of plants that can tolerate water scarcity can increase the productivity and resilience of species under conditions of water stress, improve global food security, and promote adaptation to climate change. Thus, *Coffea canephora* has great economic importance for the state of Espírito Santo (ES) due to its productive potential and the quality of its beverage, which is consumed daily. The 12 progenies used in the experiment were selected from reciprocal crosses 109x120 and 120x109 between Conilon coffee clones with characteristics relevant to coffee growing, and it was found that clone 109 is susceptible and 120 is tolerant to drought. Of the 12 genotypes selected, 6 were preselected from the 120x109 population (3 tolerant – 3T, 6T, and 7T and 3 susceptible – 4S, 2S, 10S); and 6 were preselected from the 109x120 population (3 tolerant – 1T, 6T and 50T; and 3 susceptible 42S, 44S and 59S). The 120T and 109S parents were included in the analyses. Therefore, the objective of this proposal was to select *Coffea canephora* genotypes from crosses between clones 120 and 109, verifying the possible effects of reciprocal crosses 109x120 and 120x109 between Conilon coffee clones, with characteristics of interest for the coffee breeding program. Among the variables that were analyzed, the genotypes 1T, 2S, 3T, 6aT, 7T, 10S, 40S, 44S, and 59S stood out statistically in conditions of water scarcity, evidencing their tolerance to water deficit. In particular, the clones 2S, 40S, 44S, and 6aT, showed greater efficiency in water use compared to the others.

Palavras-chave: Coffea, Water stress, Genetic diversity, Conilon, Genotype

INTRODUÇÃO

Desde o século XIX, o café tem sido uma das principais commodities do Brasil, gerando riqueza e influenciando a política e a sociedade do país (Duarte, 2022). O Estado do Espírito Santo, localizado na região Sudeste do Brasil, é conhecido por sua rica produção de café. A história do cultivo na região remonta ao início do século XIX, quando os primeiros cafezais foram plantados no estado (Fassarella, 2020). Desde então, a cultura do café se desenvolveu e se tornou uma das principais atividades agrícolas do estado (De Mello & Kreter, 2022). As duas espécies amplamente conhecidas do gênero *Coffea* são: *Coffea arábica* L., de origem Etíope, e *Coffea canephora* Pierre Ex. Frohner, originária de uma vasta região indo do Congo à Nova Guiné (De Oliveira, et al. 2012). A capacidade de tolerância à seca é uma característica altamente valorizada em muitas culturas agrícolas, pois permite que as plantas sobrevivam e prosperem em regiões com baixa disponibilidade de água (Rocha, 2019).

Assim, a busca por novos clones de café conilon com tolerância à seca se faz necessária, para garantir a sustentabilidade da produção diante das mudanças climáticas. A variabilidade das condições climáticas, como o aumento das temperaturas e a redução da precipitação, pode afetar significativamente a produtividade das lavouras. Novos clones de café conilon que apresentem resistência à seca não apenas ajudam a manter a produção, mas também contribuem para a segurança alimentar e a economia rural. Além disso, essa inovação pode reduzir a necessidade de irrigação e insumos, promovendo práticas agrícolas mais sustentáveis e mitigando os impactos ambientais. Portanto, investir em pesquisa e desenvolvimento de variedades mais resilientes é fundamental para assegurar o futuro do cultivo de café em um cenário de alterações climáticas. O objetivo deste estudo foi analisar os genótipos de *Coffea canephora* oriundos de cruzamentos recíprocos entre os clones 120 e 109, verificando os possíveis efeitos dos cruzamentos com características fisiológicas e morfoagronômicas relacionadas à tolerância à seca.

HIPÓTESES

Existe herança materna nas características de tolerância à seca?

As características avaliadas contribuem para a investigação da possibilidade de herança materna nos mecanismos de tolerância à seca?

OBJETIVOS

1.1 Objetivo Geral

Analisar os genótipos de *Coffea canephora* oriundos de cruzamentos entre os clones 120 e 109, verificando os possíveis efeitos dos cruzamentos recíprocos 109x120 e 120x109 entre clones de café Conilon, com características de interesse para o programa de melhoramento do cafeeiro.

1.2 Objetivos Específicos

- Analisar o potencial osmótico dos genótipos em campo.
- Avaliar Teor de clorofilas A e B das progênies.
- Mensurar a taxa fotossintética (Photo) condutância estomática (Cond), dióxido de carbono intracelular (Ci) e taxa de transpiração (Trmmol).
- Avaliar a eficiência no uso da água intrínseca dos indivíduos (WUE).
- Estimar as distribuições e funcionalidades estomáticas dos indivíduos tolerantes à seca (variabilidade, dimensões, frequência).
- Comparar o padrão de venação dos indivíduos tolerantes e suscetíveis à seca.

MATERIAL E MÉTODOS

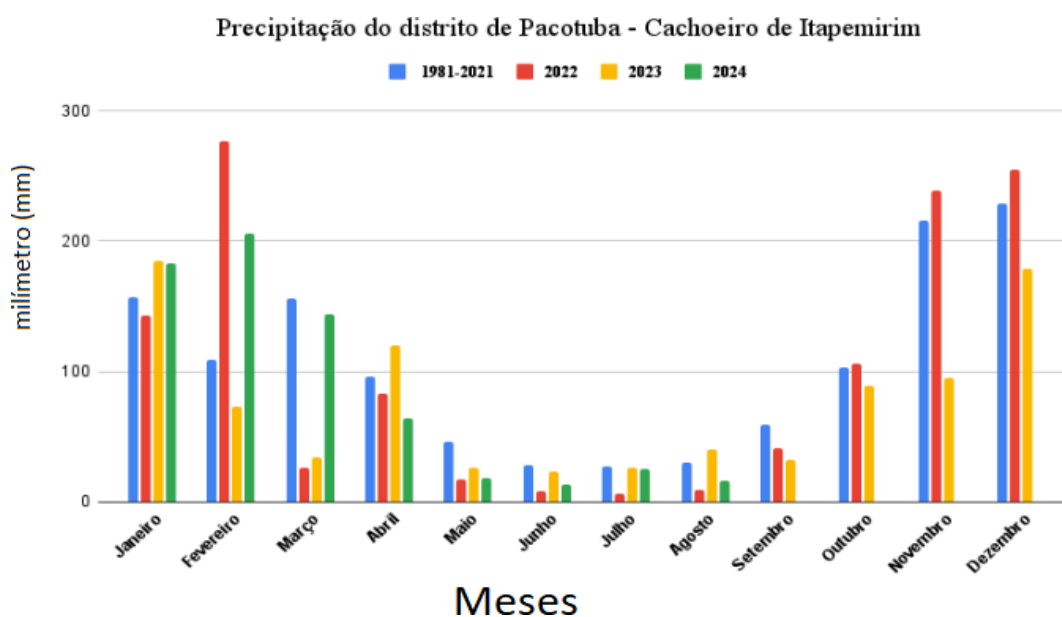
4.1. Descrição da área de estudo e material genético

O experimento foi implantado na fazenda experimental Bananal Do Norte - Incaper, Pacotuba, distrito de Cachoeiro de Itapemirim – ES, que se localiza entre as coordenadas geográficas 20°45' S e 41°17' O.

A temperatura mínima do ar na região varia entre 11,8 e 18°C e a máxima varia entre 30,7 e 34°C. Possui uma precipitação média anual de 1.293 mm, a

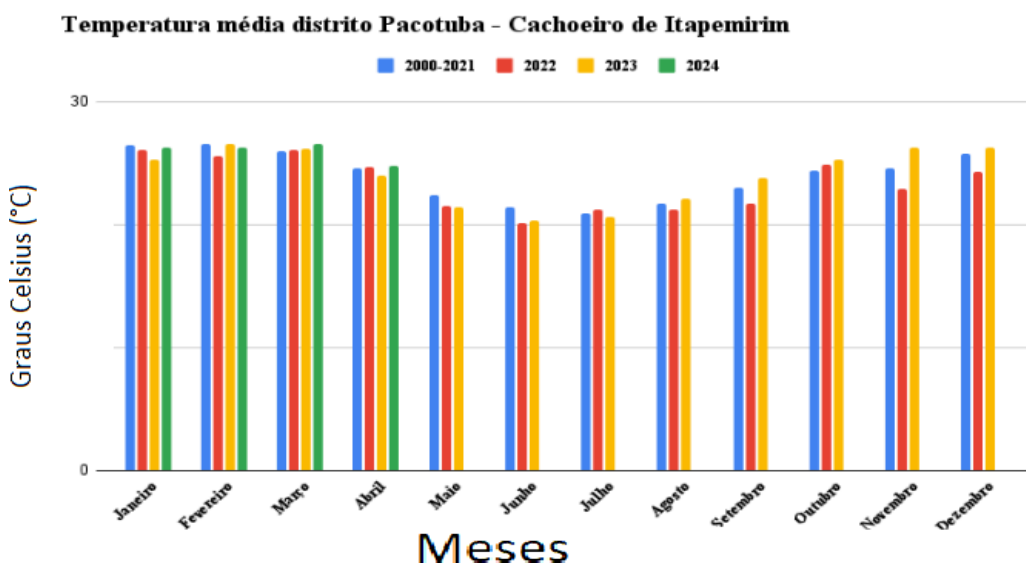
região caracteriza-se por apresentar três meses secos (junho, julho e agosto) com variações locais para semiúmido de quatro a cinco meses (maio a setembro) (Figura 1). A temperatura média das máximas dos meses mais quentes é de aproximadamente 33,0°C e a temperatura média das mínimas dos meses mais frios é de 14,3°C (Figura 2). O clima no local é classificado como temperado quente com inverno seco e verão quente (Cwa) Köppen (Senra, et al. 2022).

Figura 1 - Precipitação do distrito de Pacotuba - Cachoeiro de Itapemirim



Fonte: Incaper, 2024a.

Figura 2 - Temperatura Média distrito Pacotuba - Cachoeiro de Itapemirim



Fonte: Incaper, 2024b.

O tipo de solo predominante é o argissolo amarelo distrocóseo, a topografia é

ondulada acidentada e a altitude no local é de 140 m em relação ao nível do mar (De Oliveira, et al. 2020). A área destinada ao plantio foi de aproximadamente 1 hectare, as plantas de café conilon foram transplantadas em julho de 2021, e seguiram em campo em turno de rega fixo, com regas a cada duas semanas, e lâminas de acordo com a demanda. As lâminas foram determinadas pelo balanço de água no solo de acordo com o funcionamento da fazenda experimental. A adubação seguiu o manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo, a 5ª Aproximação (Prezotti, et al. 2007).

Em junho de 2020, antes do plantio, foi realizada uma análise de solo de rotina que apresentou e as seguintes características: pH em água = 5,36; Al^{3+} = 0,07 $cmolc\ dm^{-3}$; Ca^{2+} = 2,35 $cmolc\ dm^{-3}$; Mg^{2+} = 0,78 $cmolc\ dm^{-3}$; $P_{mehlich-1}$ = 4,93 $mg\ dm^{-3}$; K^+ = 52,7 $mg\ dm^{-3}$; Soma de Bases (SB)= 3,29 $cmolc\ dm^{-3}$; CTC Efet. (t)= 3,36 $cmolc\ dm^{-3}$; CTC pH 7,0 (T)= 4,79 $cmolc\ dm^{-3}$. O solo da área experimental apresentou uma classificação textural argilosa em abril de 2022. Em março de 2023 como rotina foi realizado novamente a coleta de solo e o solo manteve a classificação textural, nesta análise obteve-se os seguintes resultados: pH em água = 5,77; Al^{3+} = 0,00 $cmolc\ dm^{-3}$; Ca^{2+} = 2,53 $cmolc\ dm^{-3}$; Mg^{2+} = 0,84 $cmolc\ dm^{-3}$; P resina = 10,7 $mg\ dm^{-3}$; K^+ = 144,7 $mg\ dm^{-3}$; Soma de Bases (SB)= 3,74 $cmolc\ dm^{-3}$; CTC Efet. (t)= 3,74 $cmolc\ dm^{-3}$; CTC pH 7,0 (T)= 6,38 $cmolc\ dm^{-3}$.

Os manejos de adubação foram realizados pelos funcionários do Incaper, seguindo o Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo, 5ª aproximação conforme descrito por Prezotti, et al. (2007). A condução das plantas ocorreu com três hastes durante todo o experimento, o manejo de desbrota e condução das plantas avaliadas foram conduzidas pelos colaboradores do Incaper.

O experimento foi implantado em um Delineamento de Blocos Casualizados (DBC) a partir de 14 genótipos (incluindo os parentais) de *C. canephora* com espaçamento de 3x1m (croqui da Identificação das plantas por placa em apêndices), com três repetições e três plantas por parcela (croqui das parcelas na área em apêndices) , totalizando 126 plantas, todas as plantas analisadas foram previamente selecionadas, foram utilizadas as plantas ao centro das parcelas de modo a estarem protegidas com bordadura, entre as plantas, em torno do campo experimental também foi utilizado bordadura conforme apresentado no croqui de bordadura das

plantas da progênie, presente em apêndice.

Os materiais genéticos utilizados foram obtidos através do programa de Melhoramento de Café do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER).

Foram utilizadas plantas de *Coffea canephora* variedade Conilon, sendo um clone tolerante (120) e um clone sensível (109) ao déficit hídrico.

O clone 120 de café Conilon é conhecido por apresentar maior tolerância à seca em comparação com outros genótipos de café canéfora, apresenta porte médio, maturação média, é suscetível à ferrugem e vigoroso (Ferrão, et al. 2016; Silva, 2007; Andrade Júnior, 2012; Soares, 2008; Sobreira, 2017).

O clone 109 de café Conilon se mostra mais suscetível à seca em comparação com outras variedades de café sendo o mesmo utilizado em diversas pesquisas na área de déficit hídrico, apresenta ainda porte médio, maturação média e é suscetível à ferrugem (Prado, et al. 2018; Silva, et al. 2018; Praxedes, et al. 2006; Gerais, 2017). A seleção das progênies utilizadas no experimento foi a partir dos cruzamentos recíprocos 109x120 e 120x109 entre clones.

Foram selecionados 12 genótipos, sendo 6 pré-selecionados da população 120x109 (3 tolerantes – 3T, 6T e 7T e 3 susceptíveis – 4S, 2S, 10S); e 6 pré-selecionados da população 109x120 (3 tolerantes – 1T, 6aT e 50T; e 3 susceptíveis 42S, 44S e 59S. E os parentais 120T e 109S. A Fazenda Experimental de Marilândia (FEM) disponibilizou os materiais genéticos, os quais foram preparados para a reprodução de brotos utilizados na obtenção das mudas clonais por estaquia (WEIGEL & JURGENS, 2002; PARTELLI et al., 2006; ANDRADE JÚNIOR, 2012). Na pesquisa realizada por Souza-Sobreira (2017), foi feita a seleção dos genótipos das populações, os quais foram cuidadosamente escolhidos com base em critérios específicos. Posteriormente, esses genótipos foram inseridos em campo, onde foram submetidos a uma avaliação detalhada para analisar seu desempenho e características em condições ambientais reais. O presente trabalho, portanto, tem como objetivo apresentar os resultados dessas avaliações de campo, com foco na análise do comportamento dos genótipos selecionados em diferentes condições experimentais.

Para a avaliação, foram selecionadas 126 plantas, oriundas de 14 genótipos, todas posicionadas no centro das parcelas, de modo a estarem protegidas por

bordaduras. Além disso, as bordaduras foram utilizadas também ao redor das parcelas, garantindo que as plantas analisadas estivessem adequadamente isoladas e protegidas para a realização do estudo.

4.2. Coleta dos dados

As coletas foram realizadas em forma de campanha, todas as coletas foram realizadas em dois dias de forma sucessiva, em dois períodos distintos do ano de 2023, após o período chuvoso (março) caracterizado como período fenológico de vegetação e formação de gemas florais, e início do período seco (junho) caracterizado como período fenológico indução e maturação das gemas florais, do mesmo ano (figura 3, em anexo). Foi necessário iniciar a coleta de dados em 2023, pois as plantas apresentaram um desenvolvimento mais avançado em campo, atingindo um estágio semelhante ao de um plantio convencional, comparável à produção agrícola de café conilon. O ano de 2023 para as plantas em campo foi considerado como primeiro ano do período fenológico das plantas, em anexos apresento a esquematização (adaptada) das fases fenológicas do cafeeiro nas condições climáticas tropicais do Brasil, segundo os autores Camargo e Camargo (2001), figura 4 em anexo.

No primeiro dia da campanha foram coletadas folhas maduras, sadias e totalmente expandidas do terço médio de todas as plantas de cada tratamento, de modo a serem coletadas em torno das plantas, em distintas posições nos ramos ortotrópicos, no período de antemanhã, entre 4 e 5 horas e entre 11 e 12 horas (horário de BSB), para determinações do potencial hídrico foliar (Ψ_w) metodologia descrita por Scholander, et al. (1965). em MPa. As análises foram feitas utilizando uma câmara de pressão Scholander modelo 1505D-EXP (PMS Instrument Company, Albany, OR, USA).

Às 7:00h, após o nascer do sol, utilizando o Infrared Gas Analyser (IRGA) foram avaliadas as trocas gasosas de cada planta. Às 11:00h com o clorofilog, foi analisado o teor de clorofila de três folhas pré-selecionadas de cada planta, cerca de 3 folhas por planta. As plantas foram pré-selecionadas alguns dias antes da coleta em campo. Para a marcação, foram utilizadas fitas de cores distintas, que foram posicionadas nas folhas ao longo da planta, de maneira a circundá-las na seleção

das folhas. A marcação foi realizada com base nas características das folhas maduras, sadias e totalmente expandidas, localizadas no terço médio de cada planta de todos os tratamentos (Figura 5 em apêndices).

No segundo dia de campanha às 7:00h, foram coletadas folhas, do ramo plagiotrópico, do terceiro a quarto par, em estádios similares de desenvolvimento, foram colhidas 3 folhas de cada planta que foram identificados e armazenados em câmara úmida para análises laboratoriais (Figura 6 em apêndices).

4.3. Análise do potencial osmótico

Para a análise do potencial osmótico de cada planta, foi coletada uma folha de cada planta previamente selecionada, respeitando a mesma pré-seleção de folhas estabelecida no tópico anterior, no horário 4:00h, e com auxílio da bomba de Scholander e um cilindro de CO₂ comprimido, foram feitas as análises, conforme descrito por Alvim (2021).

Às 12:00h, foi realizada, novamente, a coleta de folhas de cada planta para nova análise do potencial hídrico com a bomba de Scholander.

As análises foram feitas em dois períodos distintos do ano, após o período chuvoso (março) e início do período seco (junho), em ambos os momentos foi respeitado o horário da coleta de dados.

4.4. Análises de trocas gasosas

As trocas gasosas foram analisadas com o uso do Infrared Gas Analyser (IRGA). As quantificações foram realizadas entre 8:00h até 11:00h, na terceira e quarta folha, de ramos plagiotrópicos, fisiologicamente maduras e completamente expandidas, localizadas na parte mediana da copa em torno de toda a planta, de modo a ser avaliada em variadas posições de radiação solar. Este período do dia é adequado devido à janela térmica e as condições serem mais homogêneas entre as folhas e entre as plantas em campo.

O IRGA (Infrared Gas Analyzer) foi utilizado, ainda, para a obtenção dos seguintes parâmetros fisiológicos: mensuração da taxa fotossintética (Photo), condutância estomática (Cond), concentração de dióxido de carbono intracelular (Ci) e taxa de transpiração (Trmmol), as medições foram realizadas em sistema aberto,

sob radiação fotossinteticamente ativa constante e saturante de $1000 \mu\text{mol}$ (fótons) $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, com a pressão parcial de CO_2 mantida em aproximadamente 40 Pa. O equipamento utilizado, um analisador de gases no infravermelho (LI G400XT, LI-COR®, Lincoln, USA), também foi empregado para determinar a eficiência do uso da água (WUE), calculada pela equação: $\text{WUE} = \text{Photo} / \text{Trmmol}$ (Chen et al., 2006).

4.5. Avaliação da concentração de clorofila

Para avaliação da concentração de clorofila das plantas em campo, foi utilizado o clorofiLOG CFL 1030® - Medidor Eletrônico de Teor de Clorofila, da marca Falker. Foram avaliadas três folhas de ramos plagiotrópicos, do terceiro a quarto par de ramos ortotrópicos, em estádios similares de desenvolvimento (Pereira, et al. 2021). Em cada folha analisada, priorizou-se a parte próximo ao centro do limbo foliar, próximo ao local entre as nervuras secundárias e a nervura central da folha, conforme a figura 7 em apêndice.

4.6. Análise por microscopia dos estômatos e da venação das folhas

Estas análises foram conduzidas no Laboratório de Botânica do Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde da Universidade Federal do Espírito Santo/CCENS-UFES. Para quantificação dos estômatos e venação, foi utilizada a metodologia de Johansen (1940) que com 3 fragmentos de 3 cm de cada folha (Figura 8 em apêndice), foram armazenados e fixados em tubos contendo 25mL de FAA. Após 24 horas, as mesmas foram retiradas da solução de FAA, sendo feita a lavagem três vezes por cinco minutos com água destilada, ao término, os três fragmentos de folhas foram inseridos em Etanol 10%, 30%, 50% e 70%, por cerca de 10 min, de forma crescente e ao término do tempo, utilizou-se água destilada por cerca de 10 minutos.

Por sequência os três fragmentos de folha foram inseridos em uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 10% no período de duas horas, em estufa de fluxo indireto a 60°C (celsius), posteriormente, foram realizadas três lavagens de cinco minutos do material com água destilada.

Após o processo de lavagem o material vegetal foi armazenado em Hipoclorito de sódio (NaClO) por cerca de 30 minutos, para o clareamento. Em seguida os fragmentos foram lavados mais 3 vezes por 30 minutos com água destilada, por cerca de 10 min e em seguida iniciou-se a coloração dos fragmentos.

A coloração dos fragmentos foram com Safranina 1:1 (Johansen) em um período de 30 minutos a uma hora, foi realizada a lavagem em seguida com água destilada. As lâminas foram montadas seguidas com glicerina e seladas com esmalte incolor.

As fotomicrografias foram realizadas por meio de microscopia de luz (ML), considerando as seguintes características micromorfológicas: 1) Área total venação - 5X (μm^2); 2) porcentagem área ocupada - 5X; 3) Número de estômatos - 40X (50 μm); 4) Área média de estômatos - 40X; 5) largura média dos estômatos - 40X e 6) comprimento médio dos estômatos 40X (conforme a prancha histológica em apêndices). O registro fotográfico foi conduzido utilizando um microscópio Leica DM2500, equipado com uma câmera de captura de imagem MC170 HD. A avaliação foi em três campos de cada lâmina.

Com uso do software ImageJ foi realizada a quantificação desses dados, foi elaborada uma planilha no software Excel para uma análise estatística e registro mais eficazes das modificações estruturais.

4.7. Análise estatística dos dados

Entre os potenciais osmóticos foi realizada uma análise estatística de correlação, para comparar dois ambientes com diferentes disponibilidades hídricas, a fim de confirmar as diferenças entre eles em relação à água disponível.

As variáveis morfológicas, anatômicas e fisiológicas dos clones foram submetidas a análises estatísticas de variância (ANOVA) e teste de médias Scott-Knott ($P < 0,05$), com auxílio do programa R e Rstudio (R Core Team 2024), utilizando a biblioteca para organizar os dados (Wickham, et al. 2019) e a Biblioteca para as análises de anova (Arnhold, 2013). Para a análise das fotografias das lâminas de quantificação estomática e análise de venação foi utilizado o programa ImageJ, e posteriormente foi realizado a análise de variância (ANOVA) e teste de médias Scott-Knott ($P < 0,05$).

REVISÃO DE LITERATURA

1.3 Origem do *Coffea canephora*.

O café (*Coffea* sp.), originário da África, possui duas principais variedades destacadas mundialmente: *Coffea canephora*, originária do Congo, e *Coffea arabica*, vinda da Etiópia. A *Coffea canephora*, conhecida no Brasil como café conilon, se destaca por sua ampla adaptação geográfica, sendo cultivada em áreas baixas e quentes, com altitudes que variam de 0 a 500 metros, e recentemente, com melhores resultados de produção, em altitudes superiores a 700 metros (Charrier e Berthaud, 1988; Mauri, 2016; Banks et al., 2000; Cliford, 1985; Da Costa, 2012). O Espírito Santo se destaca como o maior produtor nacional de café conilon, sendo responsável por uma parte significativa da produção mundial dessa espécie (Volpi et al., 2015).

A introdução do café conilon no Espírito Santo é marcada por divergências nas datas, mas documentos do Instituto Brasileiro do Café (IBC) indicam que ocorreu por volta de 1925 (IBC, 1964). A nomenclatura "Conilon" surgiu devido a uma adaptação do nome "Kouillou", uma variedade de *Coffea canephora* originária das margens do rio Kouillou, no Congo, que foi trazida para o Brasil na década de 1870 e se consolidou como uma planta cultivada (Ferrão, 2004). O café conilon se destacou pela sua resistência a doenças e adaptação ao clima equatorial, inicialmente denominado "robusta" pela sua robustez (Eccardi e Sandalj, 2002; Ferrão et al., 2007).

A variedade foi gradualmente disseminada ao redor da costa africana e, posteriormente, chegou ao Brasil, onde se adaptou bem, principalmente no Espírito Santo. A etimologia do nome "Conilon" reflete sua origem no Congo e no Zaire, sendo uma adaptação linguística de "Kouillou" (Berthaud, 1985). A disseminação do café conilon no Brasil foi documentada por Fazuoli (1986), com o nome "Conilon" sendo escolhido por uma adaptação fonética para facilitar a pronúncia no contexto brasileiro.

Em 1961, o cultivo do café conilon no Espírito Santo era ainda incipiente, com apenas 2,4% da produção de café, representando cerca de 326.928 pés de café

robusta. A produção cresceu significativamente durante e após a Segunda Guerra Mundial, mas foi a partir de 1957 que o cultivo do café conilon ganhou expressiva expansão, especialmente nas regiões Norte e Sul do estado (Siqueira, 2005; Volpi et al., 2015).

1.4 Aspectos botânicos de *Coffea canephora*

Com a disseminação da cultura do café em todo o mundo, o estudo das diferentes espécies do gênero *Coffea* tornou-se um campo de pesquisa detalhado e complexo. A primeira espécie de café, *Coffea arabica* L., foi identificada por Lineu em 1737, como mencionado por Carvalho (1946). Chevalier (1946) comenta que esse marco inicial na classificação do café abriu portas para a identificação de várias outras espécies, culminando em uma revisão abrangente realizada pelo botânico alemão Albrecht Froehner em 1897, que incluiu *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, reconhecida por sua ampla presença na África.

Carvalho (1946) ressalta a classificação do gênero *Coffea* proposta por Chevalier, que fragmentou o gênero em cinco: *Eucoffea*, *Mozambicoffea*, *Mascarocoffea*, *Paracoffea* e *Argocoffea*. A classificação das espécies de *Coffea* é motivo de debate, especialmente devido à reclassificação de várias espécies asiáticas inicialmente categorizadas no gênero. Chevalier observou que todas as espécies da fração denominada *Eucoffea* produzem sementes que, quando torradas, moídas e secas, resultam em uma bebida conhecida como café, que é rica em cafeína e possui uma fragrância distinta.

A curiosidade em investigar todas as variedades desta categoria levou Chevalier a dividi-la em subcategorias. Dentre elas, a subcategoria *Erithrocoffea* engloba as variedades *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, que têm relevância econômica significativa. A diferenciação dessas variedades destaca a variedade e a complexidade do gênero *Coffea*, demonstrando a riqueza da botânica do café e sua evolução ao longo da história.

Desta forma, o café Conilon (*Coffea canephora*) é classificado na classe Dicotyledonea, pertencente à ordem Rubiales e à família Rubiaceae. Dentro do gênero *Coffea*, é categorizado na seção *Eucoffea* e na subseção *Erithrocoffea*, que agrupa espécies de café com características adaptativas, como resistência ao calor e à seca. A espécie específica é a *Coffea canephora* Pierre ex Froehner,

amplamente cultivada devido à sua alta produtividade e resistência. Essa classificação taxonômica é fundamental para compreender a posição do café Conilon no reino vegetal e suas propriedades botânicas.

Segundo Fazuoli (1986) a *Coffea canephora*, possui porte arbustivo e caule lenhoso, é uma espécie perene e alógama que se destaca por suas características botânicas distintas. Esta planta geralmente apresenta múltiplos caules e pode atingir até 5 metros de altura em condições de temperatura e precipitação elevadas. Suas folhas, maiores e de coloração verde menos intensa comparadas às de *Coffea arabica*, são elípticas, lanceoladas, com bordas onduladas e nervuras salientes. As flores brancas surgem em grande quantidade por inflorescência e por axila foliar, enquanto os frutos variam em formato e número, podendo apresentar de 30 a 60 frutos por verticilo foliar. Estes frutos possuem uma superfície lisa, exocarpo fino, mesocarpo aquoso e endocarpo delgado.

A *Coffea canephora* é uma espécie diplóide, conhecida por sua grande variabilidade genética e alta heterozigosidade entre os indivíduos (Conagin & Mendes, 1961; Berthaud, 1980).

1.5 Produtividade e consumo de *C. canephora*.

A produção de café conilon (*Coffea canephora*) no Espírito Santo, um dos principais estados produtores, iniciou com uma previsão de 45,1 sacas por hectare na safra de 2021, totalizando cerca de 11.221 milhões de sacas de café conilon beneficiadas (CONAB, 2022). Em 2022, a produtividade aumentou para 47,7 sacas por hectare, resultando em 12.358 milhões de sacas beneficiadas (CONAB, 2023). No entanto, na safra de 2023, a produção caiu para 38,8 sacas por hectare, gerando cerca de 10.155 milhões de sacas beneficiadas, devido às condições climáticas adversas (CONAB, 2024).

Em termos de produção mundial, a safra de café beneficiado de 2022/2023 foi estimada em 170 milhões de sacas, com 79,9 milhões de sacas provenientes de café robusta (USDA, 2024). O Brasil foi um dos maiores produtores dessa variedade, com destaque para o Espírito Santo.

O consumo global de café em 2023 alcançou 168,26 milhões de sacas, e a previsão é que suba para 170,2 milhões de sacas na safra 2023/24, refletindo o

crescimento global na demanda por café (MAPA, 2024). No Brasil, o consumo está projetado para crescer de 22 milhões para 27 milhões de sacas até o final do período de projeção, com uma taxa de crescimento anual de 2,0%.

Para o ano-safra de 2024, as previsões indicam uma produção de 58,8 milhões de sacas de café no Brasil, com 30,7% dessa produção sendo de café robusta/conilon, representando um aumento em relação a 2023 (CONAB, 2024). O Espírito Santo deve continuar sendo um dos maiores produtores dessa variedade, contribuindo significativamente para a produção nacional.

Com essas variações nas condições climáticas e na produção, o setor de café no Brasil tem mostrado resiliência, e a produção de café conilon no Espírito Santo segue com boas perspectivas, mantendo-se relevante tanto no mercado nacional quanto internacional.

1.6 Fenologia de *Coffea canephora*.

O café, *Coffea canephora*, que inclui tanto o grupo Robusta quanto o Conilon, é cultivado em diversas regiões do Brasil e possui características distintas de fenologia e morfologia. O grupo Conilon é reconhecido por suas plantas com porte arbustivo e ciclo fenológico mais acelerado (figura 3 em anexo), com frutos que amadurecem mais rapidamente. Além disso, essas plantas apresentam internódios mais curtos e folhas menores em comparação às plantas do grupo Robusta (Fazuoli et al., 2007; Rodrigues, 2010; Temóteo, 2012; Costa, 2023). As plantas de Conilon são notavelmente tolerantes à seca, embora suscetíveis à ferrugem. Essas características conferem uma produtividade diferenciada, com frutos de menor tamanho e peso, e grãos de peneira média baixa, mas com altos teores de cafeína (cerca de 2,7%) (Temóteo, 2012). As plantas podem atingir de 2 a 4 metros de altura e têm um elevado número de hastes ortotrópicas, o que caracteriza um crescimento multicaule (Peruzzolo et al., 2019).

Por outro lado, o grupo Robusta é identificado por plantas com porte maior, podendo chegar a 4 a 5 metros de altura. Suas folhas e frutos são maiores e o amadurecimento dos frutos é mais tardio. As plantas da variedade Robusta têm uma maior resistência à ferrugem, mas são mais exigentes em relação à água e menos

tolerantes à seca, se comparadas ao Conilon (Temóteo, 2012). O ciclo fenológico das plantas do grupo Robusta também se caracteriza por internódios mais longos, com sementes mais pesadas e grandes. Essas plantas são mais vigorosas, o que facilita o crescimento e a adaptação em diversos tipos de solo e clima (Ferrão et al., 2007).

Ambos os grupos de *Coffea canephora* têm um ciclo de desenvolvimento que começa com a formação dos ramos vegetativos ao longo do primeiro ano. As gemas axilares se desenvolvem ao longo dos ramos ortotrópicos, e algumas dessas gemas se tornam gemas reprodutivas, resultando na formação de ramos plagiotrópicos. A partir de então, as gemas florais se desenvolvem nas estruturas chamadas "rosetas" e entram em um período de dormência até que se tornem aptas para a antese (Peruzzolo et al., 2019; Voltan et al., 2007).

A polinização cruzada é um fator determinante para o sucesso reprodutivo do *Coffea canephora*, incluindo o café Conilon, uma vez que essa planta é alógama. Em outras palavras, a fecundação depende da troca de material genético entre diferentes indivíduos, o que garante variabilidade genética e, conseqüentemente, a qualidade e a adaptação das plantas. Como as flores do *Coffea canephora* são hermafroditas e possuem um mecanismo de autoincompatibilidade gametofítica, elas não se autofecundam naturalmente, necessitando da ação de polinizadores, como o vento e insetos, para transferir o pólen de uma planta para outra (Berthaud, 1980; Marcolan et al., 2009).

A sincronização da floração do café Conilon, que ocorre entre o final de julho e o início de agosto, após um período de seca, favorece a polinização cruzada (do Amaral et al., 2018; Marcolan et al., 2009). Esse fenômeno, por sua vez, é essencial para a troca de alelos entre as plantas. Durante a polinização cruzada, os alelos de diferentes plantas se combinam, aumentando a variabilidade genética das gerações seguintes. Esse processo resulta na formação de genótipos variados, o que é crucial para o desenvolvimento de plantas com características desejáveis, como resistência a doenças, maior produtividade e adaptação a diferentes condições climáticas (FERRÃO et al., 2015).

A transferência de pólen entre diferentes plantas durante a polinização

cruzada resulta em recombinação genética. Isso promove uma troca de alelos que influencia diretamente as características fenotípicas das plantas, como tolerância à seca, resistência a pragas e doenças, além de maior vigor. Essa variabilidade genética é um dos fatores-chave para a adaptação do café Conilon às condições ambientais e para a melhoria contínua das cultivares, já que permite o desenvolvimento de plantas mais robustas e produtivas ao longo do tempo (FERRÃO et al., 2015).

Portanto, a polinização cruzada não apenas garante a fecundação bem-sucedida das flores, mas também desempenha um papel crucial na evolução e no melhoramento genético das variedades de café, como o Conilon, por meio da troca de alelos entre as plantas.

Apesar das diferenças morfológicas e fenológicas, tanto o Café Conilon quanto o Café Robusta são altamente produtivos e amplamente cultivados em diferentes regiões, com características de resistência e adaptação distintas, o que contribui para sua importância no cenário agrícola brasileiro (Fonseca et al., 2015; Montagnon et al., 2012).

Ferrão, et al. (2008) comentam que as duas variedades botânicas possuem plantas de ciclo de maturação distintas, variando de plantas que se caracterizam como precoce (240 dias), média ou intermediárias (270 dias), tardias (300 dias) e extremamente tardias (330 dias), tornando-se opções de escolhas para os usos de diferentes manejos agrícolas do cafeeiro.

5.5. Respostas do cafeeiro ao déficit hídrico

A água para química, são dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio (fórmula: H_2O), para a física um fluido, sem um formato definido e que se deformam com facilidade, quando aplicado uma força exercem uma força paralela ao movimento do fluido contido em uma superfície (Martins, 2001). Para a biologia a água é o componente essencial à manutenção de toda a vida animal e vegetal (Cardoso, et al. 1992; Marques, 2019). Na agricultura a água é essencial, possuem um ciclo complexo, com variações ambientais e locais, sendo necessário para o desenvolvimento e manutenção da vida das plantas e dos animais (Bica, 2015).

A água é o recurso mais limitante para as plantas, uma consequência direta de absorção por difusão do CO₂ para a utilização na fotossíntese, pois sem água não ocorre a fotossíntese, a mesma é essencial para o fornecimento de elétrons para o complexo enzimático (Matos, 2020). A água se torna indispensável para os processos fisiológicos das plantas, se apresenta como regulador térmico, dá sustentação mecânica, reage diretamente na fotossíntese sendo o solvente universal de várias reações químicas dentro das estruturas celulares vegetais (Matos, 2020).

Coelho, et al. (2009) afirmam que o café possui forte influência na produtividade de grãos de acordo com a disponibilidade do suprimento adequado de água e nutrientes.

A queda na produção agrícola cafeeira se dá por fatores ambientais, sendo a deficiência hídrica um dos responsáveis, tornando-se uma realidade no cenário nacional quando em outros países produtores de café (DaMatta & Ramalho, 2006). O autor Pérez (2006) comenta que a água pode representar cerca de 50 a 95% da massa fresca total dos diferentes órgãos e tecidos vegetais, portanto a necessidade de um balanço entre a absorção e a perda de água, por parte da planta, sendo um desafio recorrente para as plantas que são mantidas em condição de campo (Carvalho, et al. 2017).

Taiz e Zeiger (2006) comentam que o estresse hídrico é algo que demonstra influência negativa para a planta, sendo uma alteração no conteúdo de água nas células ou nos tecidos da planta, definido como um fator externo. Esse estresse é responsável por qualquer queda nas quantidades de água abaixo ou inferior à exibida pela planta no estado de maior hidratação.

Larcher (2000) define de uma forma mais ampla o que seria o estresse hídrico, abordando-o como algo inicialmente reversível, mas que pode se tornar permanente. Esse processo ocasiona um desvio significativo das condições ótimas para a vida do organismo, promovendo alterações em todos os seus níveis funcionais. No caso das plantas de cafeeiro, essa condição pode impactar a planta de maneiras bem complexas.

As plantas de cafeeiros adultos, mesmo em estágios iniciais de estresse

hídrico, já apresentam sinais visíveis de que estão sofrendo com a falta de água. Um exemplo claro disso é o murchamento das folhas, que se torna facilmente perceptível com o tempo. À medida que a oferta de água diminui de forma prolongada, pode ocorrer uma redução substancial no crescimento da planta (Silva & Mazzafera, 2008).

Blum (1996), no entanto, argumenta que a falta d'água afeta principalmente a parte aérea das plantas e a expansão foliar. O impacto do déficit hídrico nas plantas de cafeeiro vai além da simples ausência de água, influenciando diretamente sua dinâmica biológica e podendo resultar em danos mais graves e profundos.

Cheserek e Gichimu (2012) afirmam que, nessas condições de estresse hídrico, em plantas de café, ocorrem alterações em processos biológicos e fisiológicos, que se tornam evidentes com o aparecimento de injúrias nas plantas. Essas lesões podem levar a uma redução significativa na produção e na qualidade dos grãos, resultando em perdas que impactam diretamente a produtividade das plantações.

As plantas sob estresse hídrico podem apresentar diversas respostas fisiológicas que refletem mecanismos de resistência, os quais podem ser classificados em três categorias principais: escape, retardo e tolerância (Kerbaury, 2009; Medici, et al. 2007; Taiz, et al. 2017).

O escape ao estresse hídrico refere-se à capacidade das plantas de completar rapidamente seu ciclo de vida antes que a deficiência hídrica cause danos severos aos seus tecidos. Nesse mecanismo, as plantas exibem alta plasticidade fenotípica, acelerando seu desenvolvimento fenológico. Essa estratégia permite que as plantas antecipem eventos críticos, como a floração e a frutificação, reduzindo o tempo de exposição ao estresse, o que lhes confere uma vantagem adaptativa em ambientes sujeitos à variação hídrica (Franks, 2011).

O retardo, se torna uma estratégia fisiológica interessante adotada pelas plantas, pois está relacionado ao reparo do volume celular e à manutenção do turgor, ocasionado diretamente pela redução da perda por transpiração por intermédio do fechamento estomático ou por vias não estomáticas como a cutícula, quanto pelo sistema radicular bem desenvolvido, possibilitando uma absorção de

água (Verslues, et al. 2006; De Moraes Campos, et al. 2021). Por fim, a tolerância à seca se mostra um mecanismo interessante da planta, já que possibilita manter suas funções fisiológicas funcionais juntamente com o metabolismo, ainda que a planta esteja passando por momento de déficit hídrico. A tolerância à seca ocorre principalmente pois a o acúmulo de solutos compatíveis ou osmólitos, proteínas osmoprotetoras e à capacidade antioxidante como evidenciado por Verslues, et al. (2006). Portanto, as estratégias adotadas pelas plantas são complexas, geralmente para superar o estresse hídrico as plantas realizam uma ação relacionada à sensibilidade e à tolerância a outros estresses, sendo que cada variedade ou espécie pode responder de uma forma (Chaves, et al. 2002).

Em um estudo realizado por Bastita, et al. (2010), foi observado que as plantas de café arábica da variedade Bourbon amarelo e Catimor apresentaram um aumento significativo na espessura da nervura central em comparação com outras cultivares. Esse aumento na nervura central pode estar relacionado a um maior transporte de fotossintatos e água na planta. Isso possibilita a translocação de mais água para manter a turgidez celular nas folhas, o que é fundamental para o metabolismo correto da planta. Dessa forma, essas plantas demonstraram ser mais tolerantes ao déficit hídrico em regiões adequadas para o cultivo, mesmo sofrendo com limitações de água. Esse estudo evidencia que as plantas buscam modificações para se tornarem tolerantes ao déficit hídrico, mesmo dentro de uma mesma espécie.

Ferrão, et al. (2008) comentam que as duas variedades botânicas possuem plantas de ciclo de maturação distintas, variando de plantas que se caracterizam como precoce (240 dias), média ou intermediárias (270 dias), tardias (300 dias) e extremamente tardias (330 dias), tornando-se opções de escolhas para os usos de diferentes manejos agrícolas do cafeeiro.

5.6. Estresse hídrico e tolerância à seca em *Coffea canephora*

A fisiologia do estresse hídrico em *C. canephora* se torna um ponto de interesse para os pesquisadores, de modo a levar materiais vegetais resistentes e resilientes aos produtores de café, comumente a resposta fisiológica geral.

A maneira como uma planta responde ao impacto do déficit hídrico do solo é altamente complexa, pois afeta quase todos os aspectos do crescimento, incluindo

modificações anatômicas, morfológicas, fisiológicas e bioquímicas. A deficiência hídrica leva a alterações no crescimento da planta, com seus efeitos sendo potencialmente reversíveis ou irreversíveis, dependendo da interação de outros estresses, como temperatura, luz, genótipo, duração, severidade, estágio de desenvolvimento da planta e competição entre plantas (Freitas, 2018).

Em geral, uma das respostas iniciais das plantas ao déficit hídrico é a redução da área foliar, que pode ser resultado da abscisão foliar, produção de folhas menores ou diminuição da emergência de novas folhas. Segundo estudos de Dias, et al. (2005), em condições de seca, o crescimento das partes aéreas é mais severamente inibido do que o crescimento das raízes, levando a mudanças na distribuição e alocação de biomassa entre o sistema radicular e as partes aéreas, com aumento da produção de raízes em relação às partes aéreas, resultando, por conseguinte, em aumento da razão raiz-broto.

A temperatura é um fator crucial que pode influenciar o efeito do estresse hídrico na fotossíntese (Nascimento, et al. 2011). A fixação e redução de CO_2 ocorrem lentamente em baixas temperaturas, aumentando rapidamente com a elevação da temperatura até atingir um valor ótimo. Em altas temperaturas, os processos de transporte de elétrons ligados às membranas são instáveis, limitando o fornecimento de energia redutora e causando um declínio acentuado na fotossíntese (Taiz; Zeiger, 2013).

O aumento do crescimento da raiz pode facilitar a absorção de água de horizontes mais profundos do solo, enquanto a inibição do crescimento acima do solo, juntamente com o fechamento estomático, pode limitar a transpiração e, assim, proteger a planta da desidratação excessiva. Ademais, sob condições de deficiência moderada de água, parece que o crescimento das folhas é mais afetado do que a fotossíntese, resultando em uma maior quantidade de carboidratos disponíveis nas folhas e presumivelmente servindo como a fonte primária para o crescimento da raiz (DaMatta; Rena, 2001). Conseqüentemente, é relativamente comum que raízes de plantas com déficit hídrico moderado cresçam em maior extensão do que raízes de plantas bem hidratadas.

Aqui está o texto reescrito para a terceira pessoa do singular:

Existem essencialmente três estratégias pelas quais a planta pode crescer e

prosperar em ambientes com limitação de água: (a) escapar do estresse passando por um curto ciclo de desenvolvimento - este mecanismo é predominantemente relevante para plantas anuais; (b) prevenir o déficit hídrico reduzindo a transpiração ou aumentando a absorção de água; e (c) tolerância ao estresse hídrico, permitindo o crescimento sob condições de estresse por meio de mecanismos de sobrevivência, como cutículas espessas, tricomas densos, posicionamento estomático nas folhas, estômatos afundados na epiderme, entre outros (Rodrigues, 2013).

De acordo com a literatura, vários indicadores de plantas foram treinados para medir seu estado hídrico, incluindo variação de temperatura foliar monitorada por sensores de radiação infravermelha; potencial hídrico foliar usando várias técnicas de medição, como câmara de pressão, método higrométrico (equilíbrio de pressão de vapor); detecção de cavitação de vasos do xilema por detector de ultrassom; variação de condutância estomática medida por porometria; entre outros (Venturin, 2016).

O indicador mais comumente usado para avaliar o estado hídrico da planta tem sido o potencial hídrico foliar (Améglio, et al. 1999; Hsiao, 1990). O potencial hídrico foliar no início da manhã e ao meio-dia tem sido amplamente usado como indicadores de plantas para estimar o estresse hídrico em pomares. Outro indicador usado é o potencial hídrico do caule (Choné, et al. 2001).

Apesar de todos os indicadores citados serem originários da própria planta, a aplicação prática destes apresenta desafios, como a dificuldade na determinação dos dados devido à incapacidade de automatizar as medições, bem como o desafio significativo em estabelecer relações entre os indicadores citados e o grau de déficit hídrico da planta (Venturin, 2016).

Devido à dificuldade em mensurar os indicadores relatados, o uso de outros indicadores da planta tem aumentado. A medição do fluxo de seiva tem sido utilizada como um indicador do estado hídrico da planta, considerada uma ferramenta promissora na gestão da supervisão, permitindo registros contínuos e automáticos do estado hídrico da planta, e fornecendo uma resposta imediata, consistente e confiável ao déficit hídrico, trazendo benefícios à produtividade em laboratórios (Souza, 2009).

Para mitigar os impactos negativos do déficit hídrico na floração, produtividade e qualidade da produção do *C. canephora*, os agricultores da região devem empregar irrigação suplementar por meio do gerenciamento de transparência. Isso garantirá que a cultura do café tenha água suficiente disponível durante todo o seu ciclo de crescimento e em diferentes épocas do ano para atender às suas necessidades hídricas sem comprometer o crescimento, o desenvolvimento, a abundância e o enchimento de grãos, levando, em última análise, a uma alta produtividade por unidade de área (Martins, et al. 2011).

Um fator importante e controverso relacionado à segurança do café é a necessidade de suspensão de irrigações à atmosfera, estresse hídrico ou simplesmente déficit hídrico para quebra de dormência do broto floral para indução de proteção, conforto na uniformidade ou sincronização da floração, sem causar danos à produção. Entretanto, segundo Marsetti, et al. (2013), ainda não há conhecimento fisiológico suficiente para aplicar o déficit hídrico ideal, e no momento certo para atingir esses objetivos em condições de campo, notadamente devido às diferenças climáticas (temperatura e umidade relativa) de cada região cafeeira e de cada ano, em cada região, bem como condições de trabalho, em termos de idade, espaçamento, espécie e variedade.

A indução de estresse hídrico nas plantas pela suspensão da irrigação estimula o crescimento ao retomar a irrigação. Segundo Guerra, et al. (2005), após quatro ciclos anuais de suspensão da irrigação, as plantas dos regimes de irrigação regulada apresentaram maior altura, número de ramos plagiotrópicos e número de nós nos ramos quando comparadas às plantas irrigadas durante todo o ano. Maior produtividade também foi observada nos tratamentos com estresse moderado e adequado, atribuída ao melhor enchimento de grãos devido à uniformidade de maturação e ao aumento do desenvolvimento vegetativo das plantas.

Em geral, é recomendado imitar a natureza aplicando tratamentos em regiões frias de 45 a 60 dias antes, em regiões moderadas de 30 a 45 dias antes e em regiões quentes até um máximo de 30 dias antes da floração esperada, que pode variar anualmente (Marsetti, et al. 2013).

O uso racional de técnicas de supervisão na agricultura pode contribuir para melhorar o desempenho do agronegócio de uma região, o que pode ser considerado um elemento importante na diversificação agrícola, além de permitir colheitas fora de época e melhoria da qualidade do produto. Entretanto, segundo Martins, et al.

(2011), mais estudos são necessários para garantir que os irrigadores consigam suprir as necessidades hídricas das culturas no momento certo e em quantidades suficientes. A transparência previne déficits hídricos, que podem variar tanto em quantidade quanto em qualidade na produção das culturas.

O estresse hídrico e a tolerância à seca são aspectos críticos no cultivo de *Coffea canephora*, especialmente em regiões com regimes de precipitação irregular. A capacidade de uma planta de resistir à seca está intimamente ligada ao seu potencial hídrico total, que é determinado pela soma do componente de pressão e osmótico ($\psi_{tw} = \psi_p + \psi_{\pi}$), como descrito por Kramer (1983). Dutra, et al. (2011) utilizaram a câmara de pressão de Scholander para medir esses componentes, o que fornece estimativas da pressão da água nas células vegetais, incluindo o potencial hídrico e a pressão de turgescência. Embora essa técnica permita uma avaliação detalhada do estado hídrico das células do xilema, parênquima, fibras e floema, ela possui limitações que podem afetar a precisão das medições.

A capacidade das plantas de resistirem ao estresse hídrico também está associada à estrutura anatômica das folhas. De acordo com Castro, et al. (2009), a cutícula, uma camada protetora composta por lipídios, atua como uma barreira eficaz contra a perda de água. Plantas com cutículas mais espessas conseguem conservar melhor a umidade, tornando-se mais tolerantes ao déficit hídrico. Esse mecanismo é particularmente relevante em condições de seca, ajudando a planta a minimizar a desidratação.

No contexto de respostas ao estresse, Taiz e Zeiger (2006) discutem dois tipos principais de mecanismos: aclimação e adaptação. A aclimação ocorre quando a planta, após ser exposta a um estresse como a seca, desenvolve mecanismos temporários para economizar água, como o fechamento estomático ou a redução da área foliar. Esse processo é reversível, ou seja, a planta pode retornar ao seu estado anterior se o estresse for removido. Já a adaptação é um processo de longo prazo, resultante de alterações genéticas acumuladas ao longo de gerações, que conferem à planta características permanentes de resistência. Plantas adaptadas ao estresse hídrico, como aquelas que evoluíram em ambientes áridos, apresentam características estruturais, como cutículas espessas e sistemas radiculares profundos, que as capacitam a suportar condições severas de seca (Pimentel, 2004; Bueno, et al. 2006).

Portanto, o manejo eficaz do estresse hídrico em *Coffea canephora* requer

uma combinação de respostas imediatas de aclimatação, que garantem a sobrevivência da planta durante períodos de seca, e adaptações genéticas de longo prazo, que aumentam sua resiliência. Compreender esses mecanismos é fundamental para desenvolver estratégias de cultivo que melhorem a tolerância à seca, promovendo assim uma produtividade sustentável, mesmo em condições ambientais adversas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

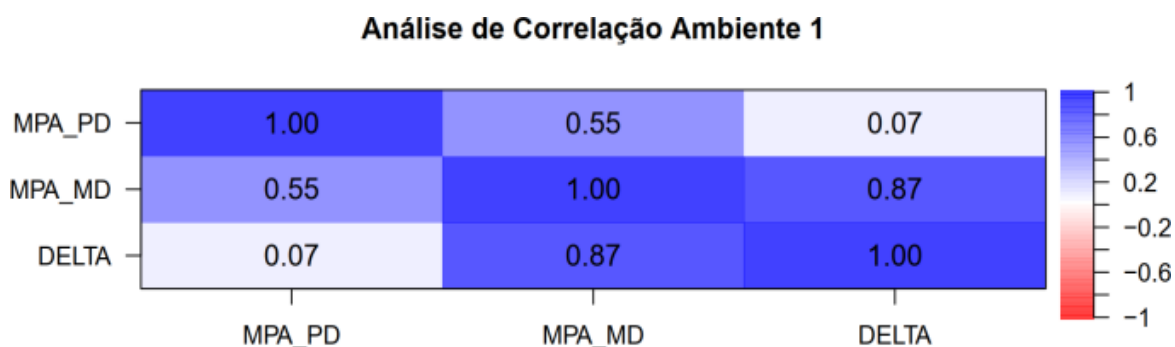
1.7 Potencial osmótico

Este primeiro parágrafo destina-se exclusivamente a evidenciar essa diferenciação, servindo como ponto de partida para toda a análise. Vale ressaltar que o ambiente 1, caracterizado por condições chuvosas, difere significativamente do ambiente 2, que apresenta um cenário seco. Realizou-se uma análise de correlação onde o ambiente 1, representa a coleta dos dados em período chuvoso e o ambiente 2, se refere ao período de seca (Figura 9 e Figura 10).

A partir do teste de correlação entre potencial osmótico pré-manhã (MPA_PD), potencial osmótico meio-dia (MPA_MD) e Delta (sendo Delta potencial osmótico meio-dia subtraído do potencial osmótico pré manhã) foi possível atestar que há uma baixa correlação entre potencial osmótico pré-manhã e potencial osmótico meio dia e ainda, que há uma alta correlação entre potencial osmótico pré-manhã e potencial osmótico meio-dia com Delta, o que viabiliza a análise apenas de DELTA para atestar que os ambientes eram estatisticamente diferentes em relação à disponibilidade de água.

A pressão necessária para transferir a água das células da folha para o xilema é aproximadamente igual e oposta ao potencial hídrico da amostra, conforme afirmado por Kirkham (2014). Com base nessa citação, pode-se concluir que o potencial osmótico foi utilizado apenas para corroborar as diferenças observadas nas plantas em ambos os ambientes da pesquisa, denominados ambiente 1 e 2.

Figura 9 - Análise de correlação ambiente 1



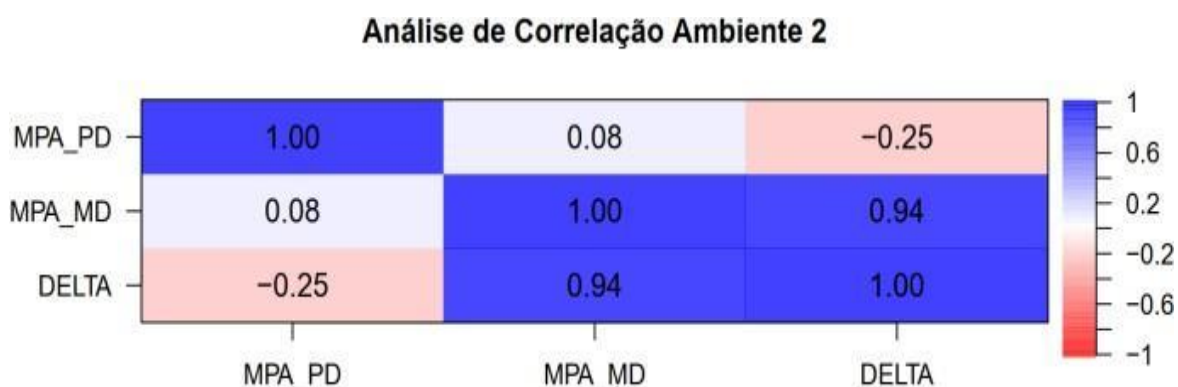
MPA_PD=Média do potencial osmótico pré-manhã (madrugada)

MPA_MD= Média do potencial osmótico meio-dia

DELTA= Média do Potencial osmótico Meio-dia subtraído da Média do potencial osmótico pré manhã

A partir do teste de correlação entre potencial osmótico pré-manhã (madrugada), potencial osmótico meio-dia e Delta (sendo Delta potencial osmótico meio-dia subtraído do potencial osmótico pré manhã) foi possível atestar que há uma baixa correlação entre potencial osmótico pré-manhã e potencial osmótico meio-dia. E uma alta correlação entre potencial osmótico pré-manhã e potencial osmótico meio-dia com Delta, o que viabiliza a análise apenas de DELTA para atestar que os ambientes eram estatisticamente diferentes em relação à disponibilidade de água.

Figura 10- Análise de correlação ambiente 2



MPA_PD= Média do potencial osmótico pré-manhã (madrugada)

MPA_MD= Média do potencial osmótico meio-dia

DELTA= Média do Potencial osmótico Meio-dia subtraído da Média do potencial osmótico pré manhã

Portanto atesta-se que existe diferença significativa entre os ambientes 1 e 2 baseando-se no Delta. Com uso de um teste de Normalidade e Homoscedasticidade, conclui-se que os dados utilizados possuem Normalidade e Homoscedasticidade.

Com uso de um teste anova dos dados dos ambientes 1 e 2, conclui-se que ambos possuem diferenças significativas estatisticamente (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de Variância para pressão osmótica

FV	GL	SQ	QM	F Calc	p-value
Ambientes	1	4,3653	4,3653	12,1629	0,001**
Resíduo	82	29,4299	0,3589	-	-

** significativo ao nível de 0,05

Os dados de potencial osmótico foram coletados em duas épocas do ano: uma durante o período chuvoso (mês de março) e outra durante o período seco (mês de agosto). As medições foram realizadas em dois momentos do dia: I) durante a madrugada, para evitar a interferência da radiação solar, e II) às 12h, quando a incidência de raios solares é máxima.

Durante a madrugada, as plantas apresentam estômatos fechados, uma adaptação às baixas temperaturas e à ausência de luz solar direta. Este horário é caracterizado por temperaturas significativamente mais baixas, resultado da dissipação da radiação solar para a atmosfera e para o solo ao longo da noite. O intervalo entre quatro e seis da manhã, ou até o nascer do sol, é particularmente relevante, pois registra as temperaturas mínimas do dia, conforme evidenciado por estudos anteriores (De Oliveira, 2023; Stull, 1988).

Em contraste, o meio-dia representa o momento de maior aquecimento diário, com temperaturas que atingem seus picos. Durante esse período, os estômatos das plantas se abrem, facilitando as trocas gasosas essenciais para a fotossíntese e a respiração, contribuindo para uma maior eficiência fisiológica das plantas (RODRIGUES, 2013). Essa dinâmica reflete a adaptação das plantas às condições ambientais, influenciando diretamente suas estratégias de sobrevivência e crescimento em diferentes contextos hídricos. As diferenças nos dados de potencial osmótico entre as duas épocas do ano e os dois momentos do dia são cruciais para entender como as plantas reagem a variações climáticas e para a interpretação dos

resultados na análise das adaptações fisiológicas em resposta a ambientes chuvosos e secos.

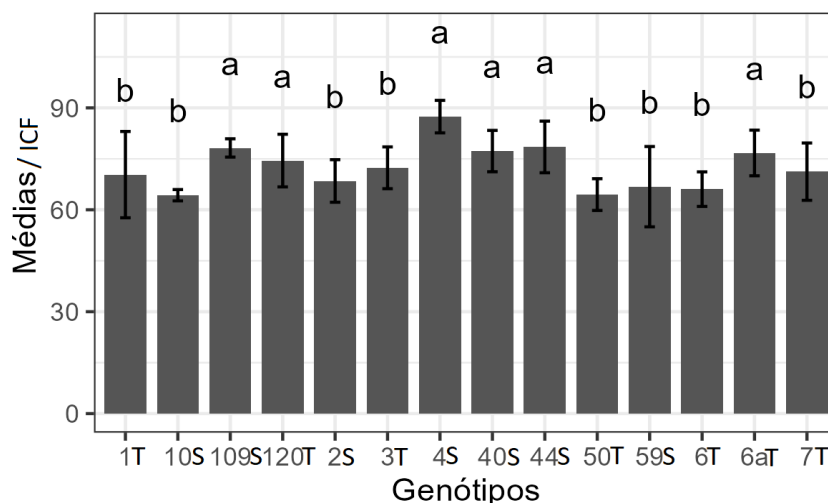
A análise de pressão osmótica foi utilizada para comprovar a diferença entre o período chuvoso e seco, de maneira a viabilizar o estudo experimental dos clones da progênie. Pois em ambiente semelhante os dados resultariam sem diferença estatística, porém em período distante e com uma grande diferença na precipitação, a então análises dos clones da progênie em campo foi viabilizada, de modo a confirmar o então estudo a campo, proposto por esse experimento.

Para a análise dos dados relativos ao teor de clorofilas A e B nas progênies, taxa fotossintética (Photo), condutância estomática (Cond), dióxido de carbono intracelular (Ci), taxa de transpiração (Trmmol), eficiência no uso da água intrínseca (WUE), assim como a distribuição, dimensões e frequência dos estômatos em indivíduos, e o padrão de venação, foi inicialmente realizada uma análise de variância (ANOVA) para os dois ambientes em estudo. Essa análise abrangeu todas as características mencionadas, com o objetivo de verificar a existência de diferenças significativas entre os grupos. Os resultados das ANOVAs, disponíveis nas tabelas anexas, confirmam a normalidade dos dados, assegurando a validade das comparações realizadas.

1.8 Teor de clorofila

Foram observadas diferenças estatísticas ($P > 0,05$) entre os tratamentos para as variáveis analisadas. Dentre os 14 genótipos de cafeeiro analisados, o que apresentou valores de médias estatisticamente superiores foram os clones 109S, 120T, 4S, 40S, 44S e 6aT quando apresentados no Ambiente 1 (Figura 11).

Figura 11 - Teste de médias do teor de clorofilas A e B no ambiente 01



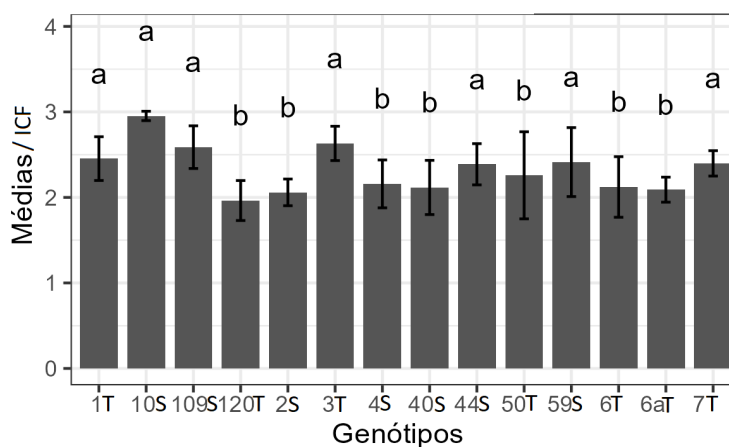
Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott ($p < 0.05$).

ICF= ICF (índice de clorofila Falker)

Em condições de seca (Ambiente 2) as plantas demonstram outro comportamento com relação ao teor de clorofila A e clorofila B, sendo as médias dos clones 1T, 3T, 7T, 10S, 44S, 59S e 109S (Figura 12) as que apresentaram médias superiores estatisticamente aos demais clones da progênie.

Em relação aos teores de clorofila, foram observadas maiores médias de clorofila, mesmo com a variação ao longo do ano e com a mudança de estação, de uma estação com uma maior presença de água no ambiente para uma estação de seca mais prolongada, as médias dos clones como 1T, 3T, 7T, 10S e 59S se mostram superiores estatisticamente aos demais.

Figura 12- Teste de médias do teor de clorofilas A e B no ambiente 02



Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott ($p < 0.05$).

ICF= índice de clorofila Falker.

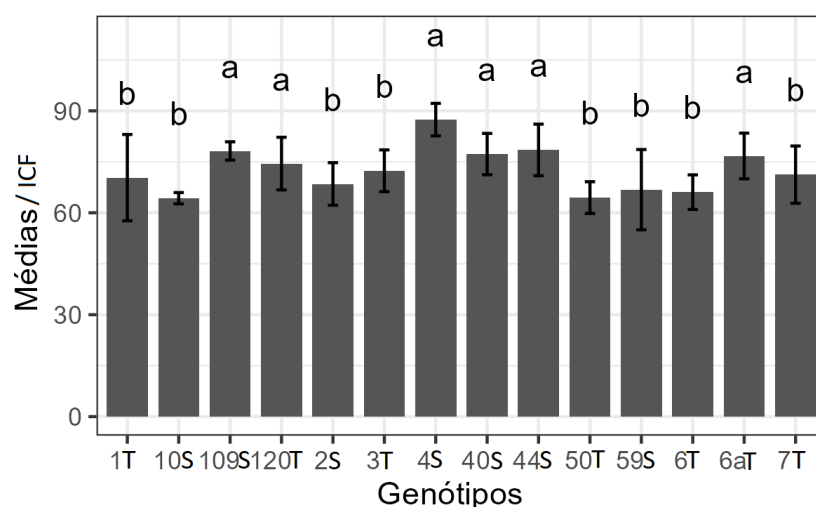
Os teores de clorofila são indicadores críticos da capacidade fotossintética das plantas, influenciando diretamente seu crescimento e produtividade. A clorofila, especialmente a clorofila A e B, é responsável pela absorção da luz solar e conversão dessa energia em compostos químicos durante a fotossíntese. Quando clones, como os identificados (1T, 3T, 7T, 10S e 59S), apresentam teores significativamente superiores de clorofila, isso sugere que possuem uma maior capacidade de captar energia luminosa, mesmo em condições ambientais adversas, como a seca prolongada (Aparecido, 2021).

Essa característica é especialmente relevante em ambientes com variação hídrica ao longo do ano, pois plantas com maiores níveis de clorofila tendem a manter a eficiência fotossintética e o crescimento, mesmo sob estresse hídrico (Costa, 2021). A manutenção de altos teores de clorofila durante períodos secos pode significar que esses clones conseguem preservar sua atividade fotossintética, garantindo uma produção mais estável (Silva, 2013). Além disso, a maior concentração de clorofila pode estar relacionada à resistência ao estresse, uma vez que plantas capazes de manter a função fotossintética sob condições de seca têm mais chances de sobreviver e produzir (Bianchi, et al. 2016).

Sendo assim, os maiores teores de clorofila nos clones mencionados não apenas indicam uma vantagem fisiológica em termos de captação e uso da energia solar, mas também um possível mecanismo de adaptação ao déficit hídrico, tornando esses clones potenciais candidatos para ambientes com estresse hídrico, garantindo melhor performance agrônômica e maior produtividade.

Quando observamos a clorofila total, é notório que os resultados na comparação entre clorofila a e b estão diretamente relacionados a este resultado, e Netto, et al. (2001) observou que o teor de clorofila da folha também se correlaciona positivamente com o teor de carotenoides. Os clones 4S, 6aT, 40S, 44S, 109S e 120T se apresentaram com médias superiores estatisticamente se comparadas aos outros clones da progênie (Figura 13) no ambiente mais chuvoso.

Figura 13 - Teste de médias do teor de clorofila total no ambiente 01



Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott ($p < 0.05$).

ICF= índice de clorofila Falker.

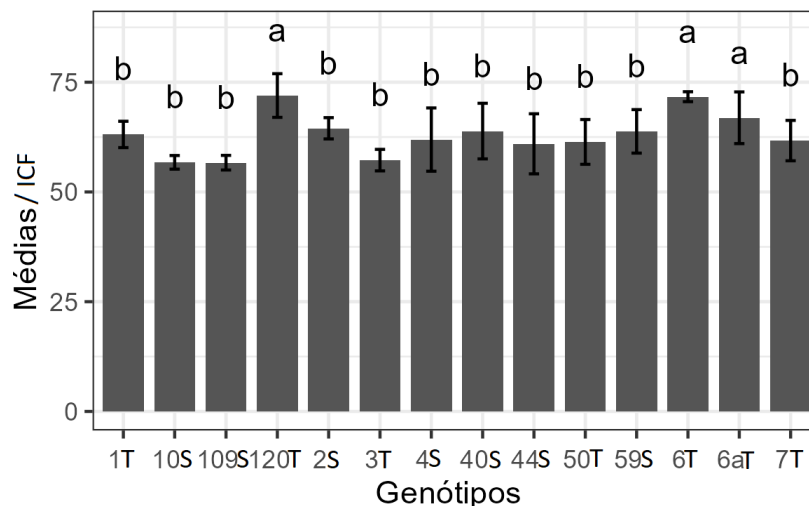
A observação de que os clones 4S, 6aT, 40S, 44S, 109S e 120T apresentaram médias superiores em ambientes mais chuvosos é relevante, pois indica que esses clones demonstram um desempenho otimizado em condições de alta disponibilidade hídrica. Em ambientes com maior oferta de água, a capacidade de uma planta de aproveitar esses recursos e maximizar processos como fotossíntese, crescimento e produção de biomassa torna-se decisiva para a produtividade. Esses clones, ao responderem positivamente à umidade, podem ser mais adequados para regiões ou estações com alta precipitação, garantindo rendimentos agrícolas superiores.

Além disso, essa informação possui importância estratégica para o planejamento de manejo e a seleção de clones. Em sistemas de cultivo onde a irrigação é possível ou em regiões com padrões de chuva intensos, esses clones podem ser preferidos para aumentar a eficiência produtiva. A seleção de clones mais adaptados a determinadas condições ambientais permite um uso mais racional dos recursos, promovendo uma produção agrícola mais responsável quanto ao uso do recurso água. A superioridade desses clones em ambientes chuvosos ressalta sua aptidão para tais cenários, auxiliando nas decisões agronômicas e de manejo.

Nas condições experimentais em que se caracterizou por um maior déficit hídrico (Ambiente 2) apenas os clones 120, 6 e 6a se apresentaram com as médias

estatisticamente superiores (Figura 14).

Figura 14 - Teste de médias do teor de clorofila total no ambiente 02.



Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott ($p < 0.05$).

ICF= índice de clorofila Falker.

Ao comparar as clorofilas A e B com a clorofila total, é importante destacar que, enquanto a clorofila A é fundamental para o processo de fotossíntese (Silva, et al. 2014), a clorofila B aumenta a eficiência geral, permitindo que a planta maximize a captação de luz em diversas condições (Hirata, 2014), sendo a clorofila total é a soma das duas clorofilas (De Moura Neto, et al. 2021).

Vale ressaltar que o equilíbrio entre a clorofila A e B é crucial, pois um excesso de luz gerado pela clorofila B pode prejudicar a fotossíntese (fotoinibição), enquanto a ausência dela pode limitar a eficiência da captação de luz (Streit, et al. 2005). Sendo assim, a clorofila total é um excelente indicador de saúde e eficiência fotossintética da planta.

Colodetti, et al. (2013) comentou que um dos principais fatores que determina a eficiência fotossintética das plantas é o teor de clorofila presente nas folhas, que pode determinar a capacidade de crescimento e adaptabilidade da planta a diferentes ambientes.

A clorofila, pigmento verde essencial para a fotossíntese, possui duas formas principais: a clorofila A, que converte luz em energia, e a clorofila B, que amplia a absorção de luz, otimizando assim a captação de energia solar, especialmente em

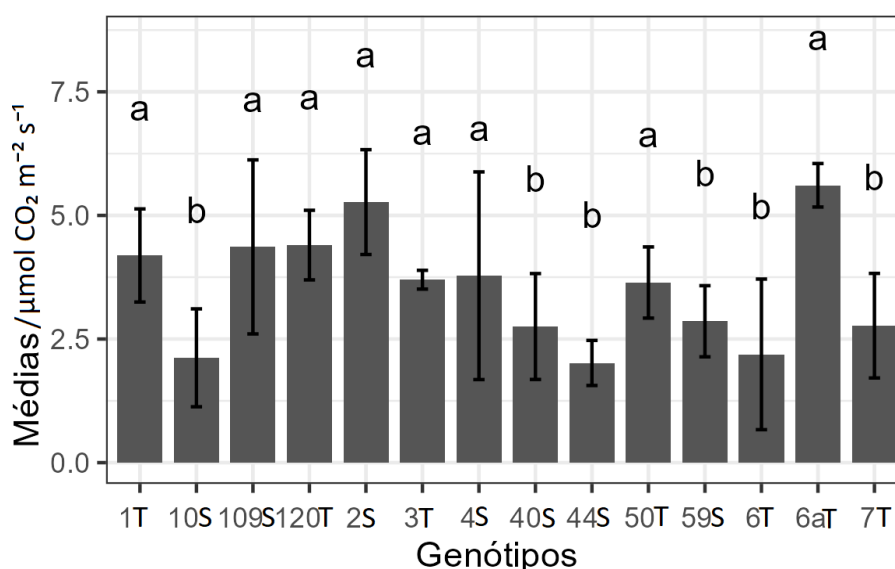
ambientes com pouca luz. A clorofila B transfere energia para a clorofila A, aumentando a produção de alimentos e permitindo adaptações a diferentes condições de luz, no entanto, um excesso de clorofila B pode prejudicar a fotossíntese e causar amarelecimento das folhas, portanto, o equilíbrio entre as duas clorofilas é crucial para a saúde da planta, garantindo uma fotossíntese eficiente e uma coloração vibrante (Camatta, 2024).

1.9 Taxa fotossintética (Photo) condutância estomática (Cond), dióxido de carbono intracelular (Ci) e taxa de transpiração (Trmmol);

A avaliação das trocas de gases através do IRGA (Infrared Gas Analyzer), com técnicas de medições não destrutivas, é um método rápido e preciso para caracterização de fatores fisiológicos influentes na eficiência fotossintética e partição de assimilados (Veríssimo, et al. 2010).

Ambos os ambientes apresentam resultados significativos ao nível de $p < 0,05$. Posteriormente, foram feitos teste de médias dos clones do presente experimento, que confirmaram que as médias dos clones 1T, 2S, 3T, 4S, 6aT, 50T, 109S e 120T no ambiente 1 apresentaram médias superiores às demais (Figura 15).

Figura 15 - Teste de médias de mensuração da taxa fotossintética (Photo) no ambiente 01



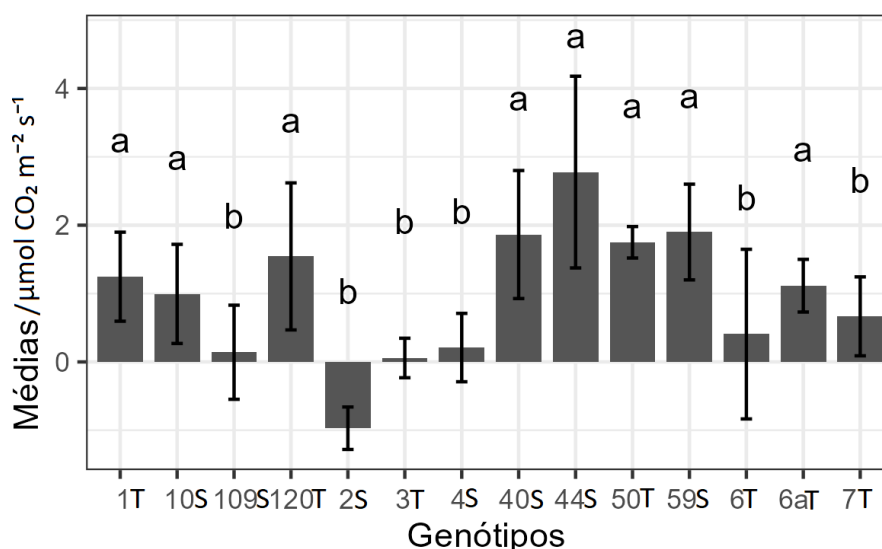
(Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott ($p < 0.05$).) Micromol de CO_2 por metro quadrado por segundo = $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

A diminuição da fotossíntese é um efeito frequente em plantas expostas a condições de estresse hídrico, causado, principalmente, pela limitação na condutância estomática e, posteriormente, pelo comprometimento do metabolismo. O fechamento dos estômatos não só diminui a transpiração para conservar água, mas também reduz a absorção de CO₂, resultando em uma queda na fotossíntese (Lisar, et al. 2012).

No segundo momento da coleta de dados, no ambiente 2, ocorreu uma variação dos clones, sendo as médias dos clones 1T, 6aT, 10S, 40S, 44S, 50T, 59S e 120T, as que apresentaram maiores médias, estatisticamente (Figura 16).

A mensuração da taxa fotossintética em plantas de *Coffea canephora* é um parâmetro essencial para entender como essas plantas respondem a diferentes condições ambientais e de manejo, influenciando diretamente seu crescimento e produtividade. Diversos estudos destacam a importância de fatores como a irradiância, disponibilidade de nutrientes, sombreamento e condutância estomática na regulação da fotossíntese.

Figura 16 - Teste de médias mensuração da taxa fotossintética (Photo) no ambiente 02.



Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott ($p < 0.05$).

Micromol de CO₂ por metro quadrado por segundo = μmol CO₂ m⁻² s⁻¹.

Fahl (1989) investigou a influência da irradiância e do nitrogênio sobre a fotossíntese e o crescimento de plantas jovens de *Coffea arabica*, destacando a

importância da luz e do nitrogênio na maximização da taxa fotossintética. Embora o estudo tenha foco em *Coffea arabica*, muitos desses princípios também se aplicam ao *Coffea canephora*, pois ambas as espécies apresentam fotossíntese dependente de fatores como luz e nutrientes. A aplicação de práticas que otimizem a captura de luz e o uso eficiente de nitrogênio pode aumentar a taxa fotossintética em plantas de conilon, especialmente em sistemas de cultivo intensivos.

Knuppel, et al. (2017) discutem a relação entre a taxa fotossintética e a condutância estomática de cafeeiros sob diferentes manejos. A condutância estomática é um fator crucial na fotossíntese, pois regula a entrada de CO₂ nas folhas, afetando diretamente a capacidade de assimilação de carbono. No conilon, que é frequentemente cultivado em regiões com alta irradiância, a abertura dos estômatos e a taxa fotossintética podem variar dependendo do manejo da água e nutrientes. Em ambientes bem manejados, com irrigação adequada e disponibilidade de nutrientes, o conilon pode manter uma alta taxa fotossintética, resultando em maior produtividade.

Além disso, no ambiente 2, em que os clones 1T, 6aT, 10S, 40S, 44S, 59S e 120T apresentaram as maiores médias, estatisticamente avaliadas, reforça a importância da seleção de clones com maior desempenho fotossintético. Esses clones, que demonstraram superioridade em termos de taxa fotossintética, indicam maior eficiência no uso de recursos, como luz e água, em diferentes condições ambientais, o que pode ser vantajoso em termos de produtividade.

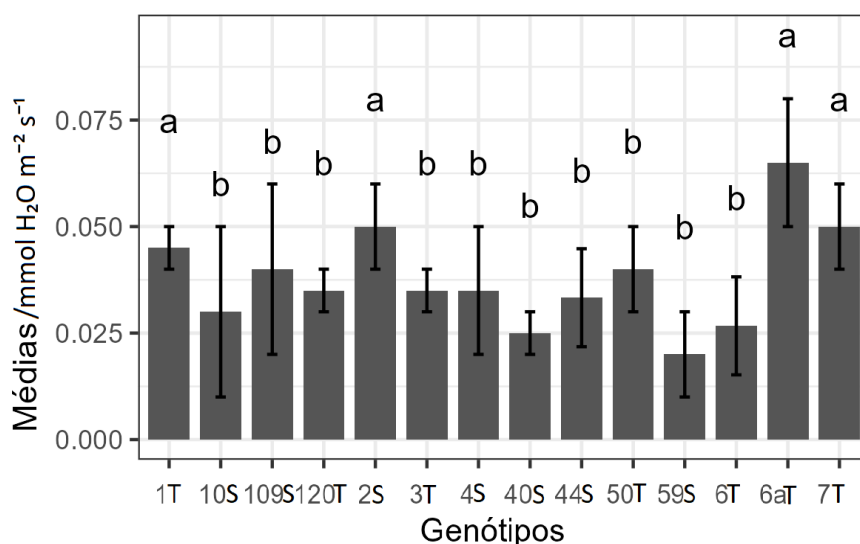
Freitas, et al. (2003) estudaram a influência do sombreamento sobre o comportamento fisiológico de cultivares de café, incluindo *Coffea arabica*, o que também pode fornecer insights para o conilon. O sombreamento pode reduzir a irradiância excessiva e o estresse térmico nas plantas, permitindo uma maior eficiência fotossintética em ambientes de alta luminosidade. Para conilon o cultivo em sistemas agroflorestais ou sob sombreamento controlado pode otimizar a fotossíntese ao reduzir o estresse por excesso de luz e calor, fatores que podem limitar a taxa fotossintética em condições extremas.

Portanto, a mensuração da taxa fotossintética em *Coffea canephora* deve levar em consideração a irradiância, condutância estomática, sombreamento, manejo nutricional e a escolha de clones mais eficientes, como os que demonstraram melhor desempenho no ambiente 2. Esses fatores são essenciais para maximizar a assimilação de CO₂ e, conseqüentemente, a produção da planta

em diferentes sistemas de cultivo.

As médias dos genótipos 1T, 2S, 6aT e 7T, se apresentaram superiores estatisticamente (Figura 17). Para a otimização da captação de água buscando uma melhor sobrevivência sob estresse hídrico, a planta reduz a taxa de fotossíntese em relação à quantidade de água que usa, de modo a buscar uma sobrevivência e com o foco na produtividade em condições de seca. Portanto, muitas vezes os dados da taxa fotossintética (Photo), pode se apresentar como um dado subentendido, no sentido de que nem sempre a maior taxa fotossintética (Photo), resultar na melhor planta tolerante à seca.

Figura 17 - Teste de médias da condutância estomática (Cond) no ambiente 01.



Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott ($p < 0.05$).

Milimol de H₂O por metro quadrado por segundo (mmol H₂O m⁻² s⁻¹).

Knuppel et al. (2017) encontrou resultados que permitem concluir que os tratamentos com mulching, braquiária e fertilizantes de liberação controlada promovem uma maior condutância estomática nas plantas de cafeeiro. Esse aumento na condutância estomática possibilita uma maior captação de CO₂, elemento essencial para a fotossíntese, o que, por sua vez, pode contribuir significativamente para o crescimento e desenvolvimento da cultura.

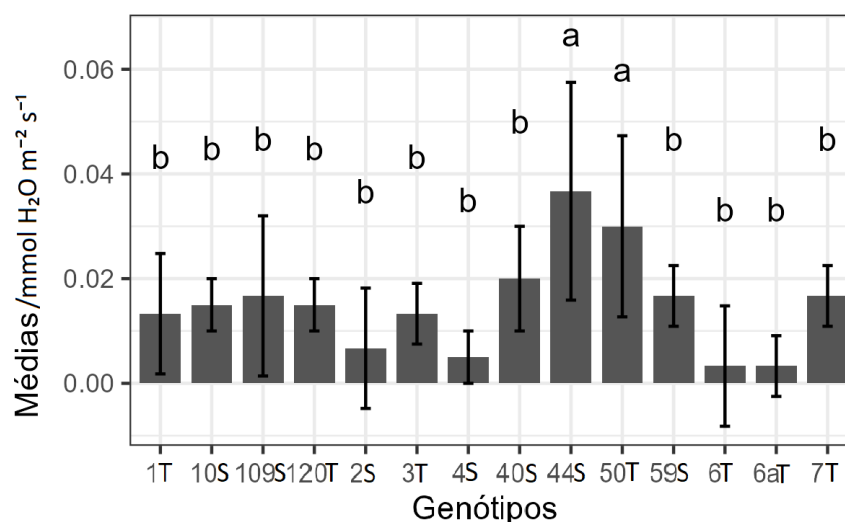
Andrade (2011) constatou que a aplicação de doses excessivas de potássio, superiores às recomendações usuais, levou à redução da condutância estomática e da transpiração nas plantas, independentemente do regime hídrico. Essa diminuição

reflete uma resposta adaptativa para minimizar a perda de água, especialmente em condições de déficit hídrico.

No entanto, ao limitar a abertura dos estômatos, há também uma diminuição na captação de CO₂, o que pode afetar negativamente a fotossíntese e o crescimento. Portanto, o manejo equilibrado de nutrientes é essencial para evitar que essa redução na condutância estomática agrave o impacto do estresse hídrico. Assim, práticas que favoreçam a manutenção da condutância estomática podem ser uma estratégia eficaz para otimizar o desempenho fisiológico do cafeeiro em condições de campo.

Nesse contexto, Oliveira et al. (2005) observaram que plantas de feijão submetidas ao estresse hídrico apresentavam redução significativa na condutância estomática e na transpiração, o que agravava ainda mais o estresse. Além disso, constataram que a severidade do déficit hídrico influenciava diretamente a variabilidade da condutância estomática. Apenas as médias dos clones 44S e 50T foram estatisticamente superiores às médias de outros clones (Figura 18) em relação à condutância estomática (Cond).

Figura 18 - Teste de médias da condutância estomática (Cond) no ambiente 02.



Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott ($p < 0.05$).

Milimol de H₂O por metro quadrado por segundo (mmol H₂O m⁻² s⁻¹).

As variações na condutância estomática observadas entre os clones podem ser atribuídas a diversos fatores (Oliveira et al., 2005). As diferenças apresentadas

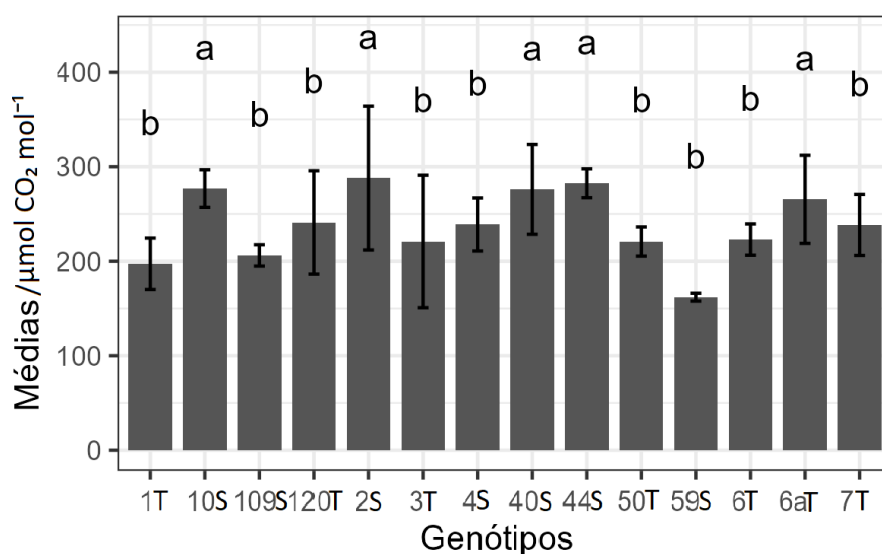
nas Figuras 17 e 18 podem estar relacionadas à sensibilidade dos clones à radiação solar em campo. Turner (1974) destacou que, em condições de estresse, a ação estomática pode ser influenciada, com o déficit de pressão de vapor d'água atuando como um indicador do equilíbrio térmico entre a planta e o ambiente. Além disso, ritmos endógenos podem ser afetados pela redução da disponibilidade de água no solo.

Conforme observado por Cornic (1991), plantas expostas à deficiência hídrica tendem a apresentar uma redução significativa na condutância estomática. Essa diminuição é considerada uma das principais estratégias adaptativas da planta, sendo um mecanismo inicial e crucial para limitar a perda excessiva de água pelas folhas e, assim, evitar a desidratação. A regulação da abertura estomática, por meio da redução da condutância, desempenha um papel central na manutenção do equilíbrio hídrico durante condições de estresse hídrico (Viana, et al. 2012). Entre esses fatores, destacam-se a disponibilidade de água no solo, a intensidade da radiação solar e o déficit de pressão de vapor d'água, que juntos modulam a resposta dos estômatos ao estresse hídrico. Assim, a compreensão dessas interações é fundamental para otimizar o manejo de culturas e melhorar a resistência das plantas em condições adversas.

Os dados se apresentam normalmente distribuídos, sendo distribuídos tendo sido aplicado o teste de médias (figura 19).

No ambiente 1 as médias dos clones de café 2S, 6aT, 10S, 40S e 44S, se apresentaram superiores aos demais clones (Figura 19), estaticamente, com relação ao dióxido de carbono intracelular (C_i), que por sua vez caracteriza plantas eficientes. As plantas que conseguem manter uma boa produção mesmo em condições de estresse hídrico tendem a ter adaptações que permitem uma captação eficiente de água do solo. As mesmas apresentam uma condutância estomática mais alta, permitindo uma boa troca de gases (Blum, 2009).

Figura 19 - Teste de médias de dióxido de carbono intracelular (Ci) no ambiente 01

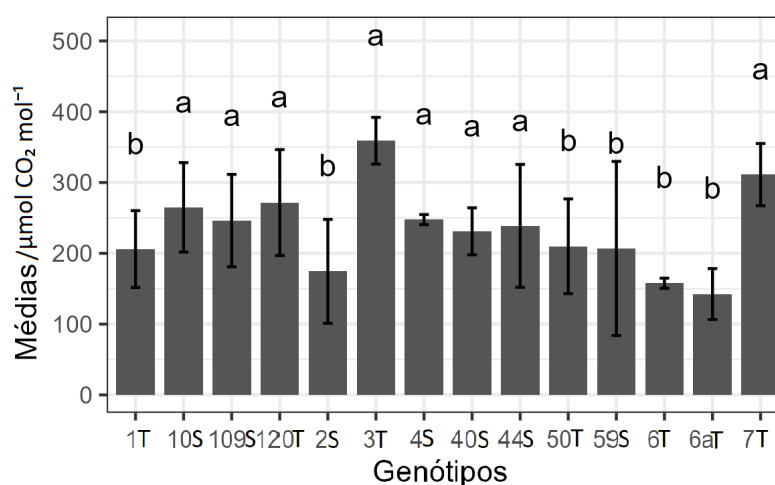


Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott ($p < 0.05$).

Micromol de CO_2 por mol de ar ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$).

Dentre as médias de dados dióxido de carbono intracelular (Ci) os clones que apresentaram as maiores médias estatisticamente foram 3T, 4S, 7T, 10S, 40S, 44S, 109S, 120T, no ambiente 02 (Figura 20). As médias dos clones 10S, 40S, 44S se mostram superiores nos dois ambientes do presente estudo, sendo o clone 10S um clone suscetível à seca oriundo do cruzamento 120x109 e os clones 40S e 44S ambos suscetíveis à seca oriundo dos cruzamentos 109x120.

Figura 20 - Teste de médias de dióxido de carbono intracelular (Ci) no ambiente 02



Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott ($p < 0.05$).

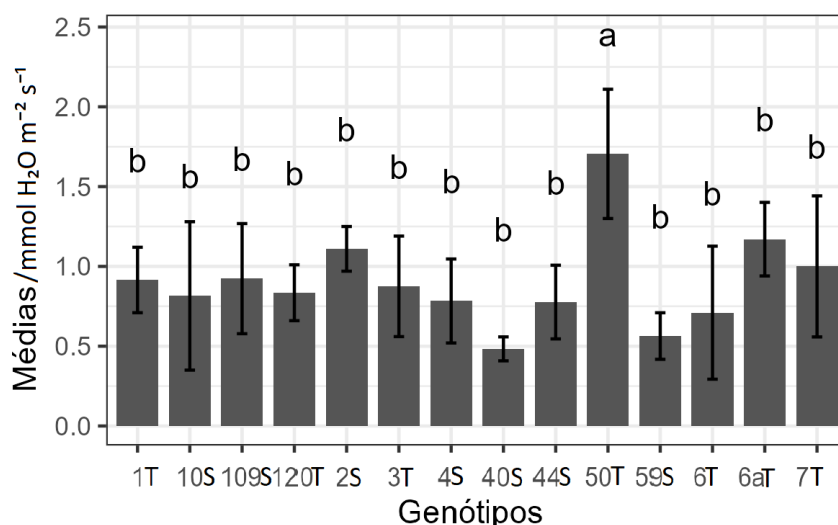
Micromol de CO_2 por mol de ar ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$).

Martinez, et al. (2015) afirmam que a enzima Rubisco pode agir como carboxilase, fixando CO₂, ou como oxigenase, fixando O₂. Altos níveis de dióxido de carbono aumentam a atividade carboxilativa da Rubisco, elevando a fixação de carbono e a taxa fotossintética líquida. No entanto, quando a concentração de CO₂ diminui e a de O₂ aumenta, a Rubisco favorece a atividade oxigenante, levando à fotorrespiração. Isso ocorre em condições de alta luminosidade e temperatura, quando os estômatos se fecham, limitando a entrada de CO₂, especialmente em situações de deficiência hídrica (Taiz e Zeiger, 2015).

Sendo assim, em período de maior déficit hídrico com os estômatos fechados a uma limitação da entrada de CO₂, portanto os clones 1T, 2S, 6T, 6aT, 7T, 50T e 59S apresentaram uma maior ação da Rubisco elevando à fotorrespiração, sendo clones com uma melhor respostas fisiológicas para o estresse hídrico a campo.

Com respeito à taxa de transpiração (Trmmol) as médias analisadas apresentaram dados estatisticamente similares entre si, somente as médias do clone 50T, se apresentou superior aos demais clones (Figura 21). Quando a água no solo é abundante, as plantas cultivadas geralmente apresentam altas taxas de transpiração (Salisbury & Ross, 1992).

Figura 21 - Teste de médias da taxa de transpiração (Trmmol) no ambiente 01

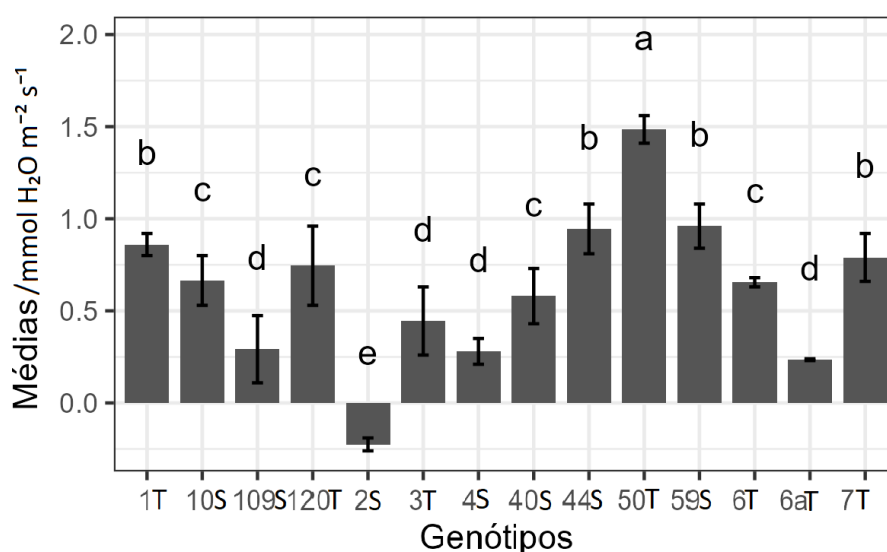


Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott ($p < 0.05$).

Milimol de H₂O por metro quadrado por segundo = (mmol H₂O m⁻² s⁻¹)

Somente as médias do clone 50T foram estaticamente superiores, sendo evidente que o clone 2S foi o clone apresentou as menores médias estatisticamente entre os clones avaliados (Figura 22). Esses resultados demonstram que as plantas que menos transpiram efetuam um maior controle interno, e a mesma se apresenta mais turgida. Sendo as médias do clone 2S não os piores resultados e sim umas das plantas mais eficientes em campo, devido ao seu melhor controle de taxa de transpiração (T_{mmol}) no ambiente mais seco.

Figura 22 - Teste de médias da taxa de transpiração (T_{mmol}) no ambiente 02.



Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott ($p < 0.05$).

Milimol de H₂O por metro quadrado por segundo = (mmol H₂O m⁻² s⁻¹).

No entanto, com o fechamento estomático para limitar a perda de água por transpiração, as plantas conseguem fazer um maior controle de água no sistema de modo a ser vantajoso em campo. A taxa de transpiração é um importante indicador da disponibilidade de água nas plantas, e evidencia que com a escassez de água, as plantas reduzem essa taxa para conservar a água disponível (Ribeiro, et al. 2015).

O fechamento estomático em situações de déficit hídrico, conforme observado por Ray & Sinclair (1997), pode resultar em perda de produtividade. Em monoculturas, espécies que fecham os estômatos em condições mais severas de déficit hídrico conseguem economizar água e aumentar suas chances de sobrevivência em períodos de seca prolongada (Ribeiro, et al. 2015).

O fechamento estomático desempenha um papel fundamental na redução da perda de água por transpiração em cafeeiros, sendo um dos mecanismos mais importantes para retardar a desidratação e manter o turgor e o volume celular (Pincelli, 2010). Smit e Singles (2006) afirmam “Genótipos mais tolerantes à seca apresentam fechamento estomático em valores de potencial da água maiores quando comparados aos genótipos sensíveis”. Esse processo é essencial para a conservação de água, especialmente em condições de déficit hídrico, onde a planta utiliza tanto o fechamento estomático quanto as vias não estomáticas, como a resistência da cutícula, para minimizar a perda hídrica, regulação do fechamento estomático, embora eficiente, é extremamente complexa e depende de uma interação dinâmica entre fatores ambientais, como disponibilidade hídrica, e respostas fisiológicas da planta (Pincelli, 2010). A compreensão desse processo é crucial para o manejo de cultivos em regiões suscetíveis à seca e para a seleção de genótipos mais adaptados a ambientes com baixa disponibilidade de água.

1.10 Eficiência no uso da água intrínseca dos indivíduos (WUE);

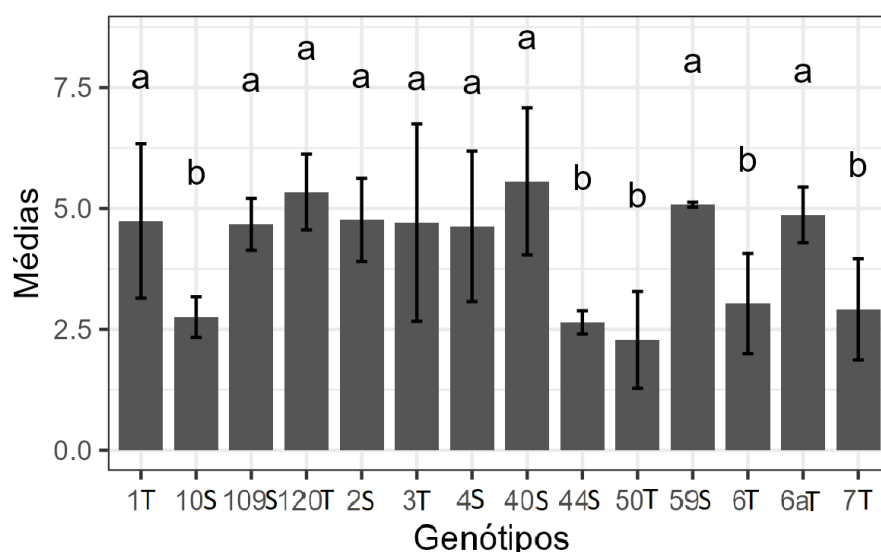
A eficiência do uso da água (WUE) foi determinada pela equação de Chen, et al. 2006.

Foi realizado teste de média nos dois ambientes, anteriormente mencionados, o teste de Scott-Knott ($P < 0,05$) confirmou que no ambiente 01, as médias dos clones 1T, 2S, 3T, 4S, 6aT, 40S, 59S, 109S e 120T apresentaram melhores resultados se comparados aos outros coletos presentes no estudo (Figura 23). Sendo evidente que 120 e 109 são clones que originaram os clones da progênie em estudo. As médias dos clones 1T, 2S, 3T, 4S, 6aT, 109S e 120T, anteriormente apresentaram se como as melhores médias de mensuração da taxa fotossintética (Photo), que interferem diretamente no cálculo de eficiência no uso da água intrínseca dos indivíduos (WUE).

A relação entre a eficiência no uso da água e a identificação de genótipos de plantas que se saem melhor em condições de seca, Blum (2009) sugere que, para encontrar esses genótipos, é importante selecionar aqueles que consigam captar ao máximo a água disponível no solo. Isso deve ocorrer juntamente com um aumento da transpiração e da condutância estomática, que são processos que permitem que as plantas absorvam mais CO_2 .

Embora essa estratégia possa aumentar a fotossíntese (já que mais CO₂ é assimilado), ela também leva a um uso menos eficiente da água, porque as plantas estão transpirando mais e, portanto, perdendo mais água no processo. Em suma, a busca por genótipos que maximizam a captação de água e a fotossíntese pode paradoxalmente resultar em um uso menos eficiente desse recurso vital.

Figura 23 - Teste de médias de eficiência no uso da água intrínseca dos indivíduos (WUE) no ambiente 01.



Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott ($p < 0.05$)

As médias não possuem unidade de medida pois os dados são adimensionais.

No ambiente de estudo 2 dentre as médias da progênie em estudo, as plantas que apresentaram melhores médias foram os clones 2S, 6aT, 40S e 44S estatisticamente ($P < 0,05$) (Figura 24). Sendo o clone 2 originário do cruzamento 120x109, e os demais clones 6aT, 40S e 44S originários do 109x120, nos evidencia que plantas originadas do cruzamento 109x120 apresentam plantas com uma maior eficiência no uso da água.

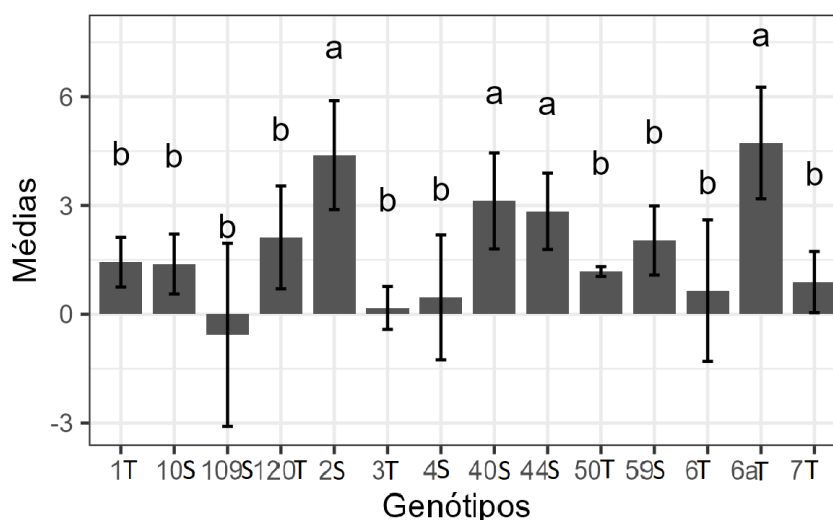
A eficiência intrínseca no uso da água (WUE), que mede a relação entre a fotossíntese e a condutância estomática, é um indicador crucial para identificar espécies capazes de se adaptar a ambientes com pouca água. Juntamente com a eficiência no uso da água, que avalia a relação entre fotossíntese e transpiração, esses parâmetros são essenciais para selecionar espécies adequadas para plantios florestais e monitorar ecossistemas sob estresse hídrico, ajudando a otimizar o uso

da água e promover a resiliência em condições de seca (Cernusak, et al. 2007; Ferreira, et al. 2012; Nogueira, et al. 2004).

Conforme Blum (2009) comenta, quando as plantas apresentam um aumento na eficiência no uso da água intrínseca dos indivíduos (WUE), isso geralmente indica que estão utilizando a água de forma menos eficiente, levando a uma maior transpiração e, muitas vezes, a uma redução na produtividade e na tolerância à seca.

Os autores Pinheiro, et al. (2005) e Sobreira (2017) observaram que alguns genótipos de café Conilon que tinham uma relação eficiência no uso da água intrínseca dos indivíduos (WUE) menor, apresentavam maior tolerância ao estresse hídrico. Isso sugere que essas plantas, ao não perderem muita água, conseguem sobreviver melhor em condições de seca.

Figura 24 - Teste de médias da eficiência no uso da água intrínseca dos indivíduos (WUE) no ambiente 02.



Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott ($p < 0.05$).

As médias não possuem unidade de medida pois os dados são adimensionais.

Para as plantas se saírem bem sob estresse hídrico, elas precisam otimizar a captação de água e a troca gasosa, mesmo que isso signifique ter uma taxa de fotossíntese relativamente baixa em relação à quantidade de água que usam. Isso é crucial para a sobrevivência e produtividade em condições de seca.

A manutenção da área foliar e a busca por um melhor potencial hídrico, como exemplo o aprofundamento das raízes e uma melhor eficiência no uso da água, se evidencia entre os clones de *C. canephora*, sendo os mesmos tolerantes à seca, em uma comparação direta com um clone que apresenta uma maior sensibilidade, as mesmas características se evidenciam expressivamente nas plantas tolerantes à seca (DaMatta, et al. 2003; DaMatta & Ramalho, 2006).

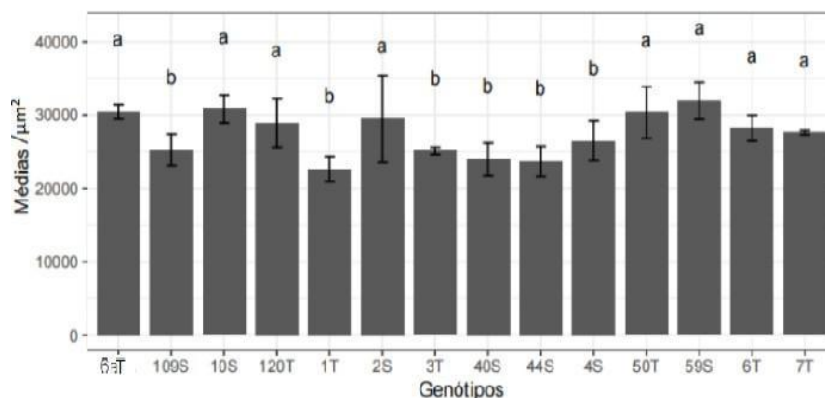
Em conclusão, os mecanismos adaptativos observados em *C. canephora*, como o aprofundamento do sistema radicular e o controle estomático eficiente, desempenham um papel crucial na eficiência no uso da água intrínseca (WUE) (Silva, 2010). Essas adaptações permitem a manutenção de potenciais hídricos foliares adequados, maximizando a absorção de água em camadas mais profundas do solo e minimizando a perda hídrica por transpiração durante a fotossíntese. A combinação dessas estratégias garante maior resiliência e estabilidade produtiva em condições de seca, sendo características essenciais em programas de melhoramento genético voltados para a seleção de genótipos mais eficientes e adaptados às mudanças climáticas (Silva, et al. 2010).

1.11 Análise de estômatos e venação

O estudo dos estômatos e da venação proporciona uma forte base morfológica para elucidar estudos fisiológicos, taxonômicos e de fatores ambientais, como stresses causados à planta, irradiação ou tolerância. A interpretação dos caracteres morfoanatômicos das folhas de *C. canephora* fornecem dados complementares que contribuem para a análise de novos clones da espécie.

No período mais chuvoso (ambiente 01) os clones 2S, 6aT, 6T, 7T, 10S, 50T, 59S e 120T, se apresentaram com médias superiores estatisticamente a dos demais clones em estudos (Figura 25).

Figura 25 - Teste de médias de Área total de venação no ambiente 01



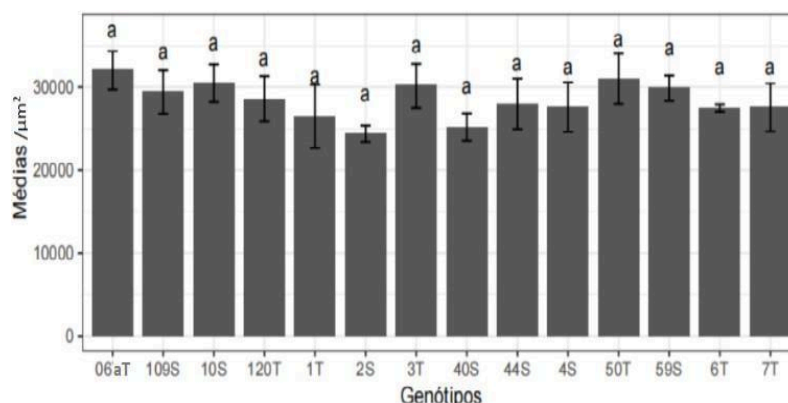
Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott ($p < 0.05$)

Todas as médias utilizadas estão em micrômetro quadrado = μm^2 .

Santana, et al. (2021) comentam que as variações na estrutura das folhas estão frequentemente relacionadas ao habitat, que é um fator crucial na plasticidade das plantas, permitindo que elas alterem sua morfologia conforme o ambiente.

A área total de venação das plantas coletadas no período de seca (ambiente 02) apresentou diferença estatística, evidenciando que o clima que provocou um maior déficit hídrico não influenciou nas médias de área total de venação dos clones em estudo (Figura 26).

Figura 26 - Teste de médias de Área total de venação no ambiente 02



Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott ($p < 0.05$).

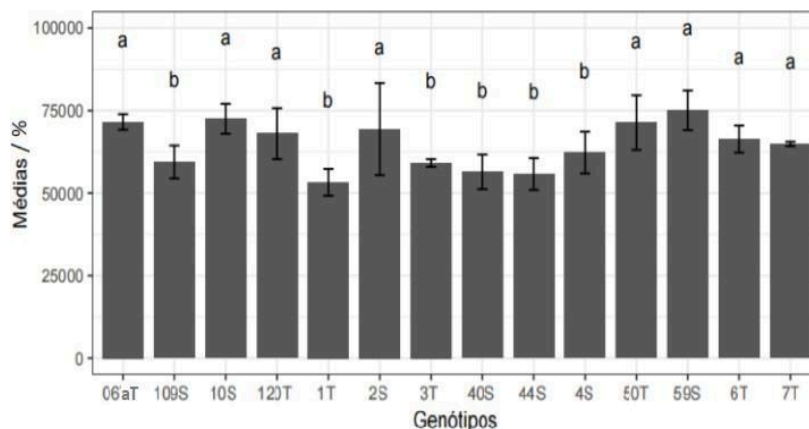
Todas as médias utilizadas estão em micrômetro quadrado = μm^2 .

Apesar das variações significativas na disponibilidade de água no solo e no ambiente, os clones avaliados não apresentaram alterações significativas na área

total de venação quando comparados entre si. Isso sugere que a adaptação ou modificação morfológica ocorreu de maneira consistente entre todas as plantas testadas em campo. Embora todas as plantas tenham perdido água, possivelmente em quantidades diferentes, os clones que inicialmente se diferenciavam sob condições de abundância hídrica tornaram-se morfológicamente semelhantes em condições de maior déficit hídrico, não apresentando diferenças estatisticamente significativas.

A porcentagem de área ocupada pela venação nas plantas coletadas durante o período chuvoso (ambiente 01) apresentou diferença estatisticamente significativa, indicando que a maior disponibilidade hídrica influenciou as médias de área de venação dos clones analisados. Nesse contexto, os clones 2S, 6aT, 6T, 7T, 10S, 50T, 59S e 120T destacaram-se significativamente em relação aos demais, apresentando valores superiores de área de venação sob condições de maior umidade (Figura 27).

Figura 27 - Teste de médias de porcentagem de área ocupada por venação no ambiente 01



Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott ($p < 0.05$).

Todas as médias utilizadas estão na porcentagem ocupada nas lâminas analisadas.

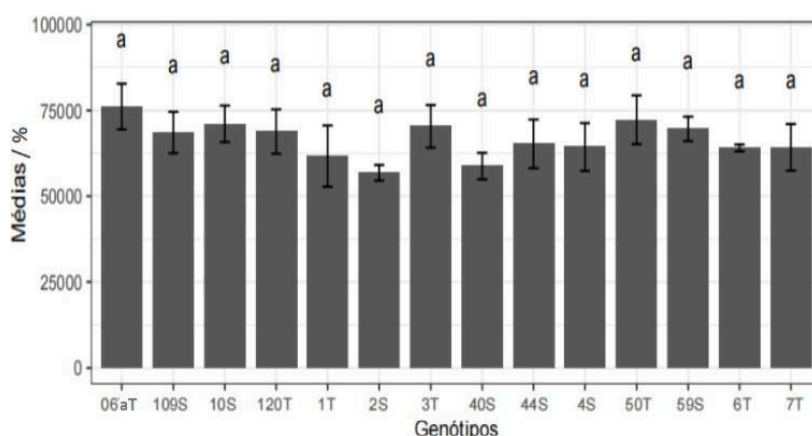
Em contrapartida as médias de porcentagem de área ocupada por venação no período que apresentou um maior déficit hídrico (ambiente 02), os clones apresentaram médias similares (Figura 28) estatisticamente utilizando o teste de médias Scott-Knott ($P < 0,05$).

A porcentagem de área ocupada por venação das folhas de café é um fator crucial para a condutância hidráulica foliar (Oliveira, 2022). A densidade de venação

está diretamente associada à eficiência no transporte de água e com a disponibilidade de água em algumas espécies (Brodrribb, et al. 2007; Brodrribb & Jordan 2011; Serrão, 2023). Em condições de alta irradiância, a densidade de venação tende a aumentar, facilitando o fluxo de água e ajudando a aclimatação do cafeeiro à luz (Guyot, et al. 2012; Sellin, et al. 2011; Souza, 2022). Essas adaptações estruturais, como a variação no número e diâmetro dos vasos (Martins, et al. 2014), são essenciais para manter a condutância hidráulica, especialmente em situações de estresse hídrico (Ávila, et al. 2020; DaMatta, 2018). Sob essas condições, as folhas tendem a aumentar o investimento na venação, visando otimizar o transporte de água e, assim, mitigar os efeitos do déficit hídrico provocado pelas condições ambientais adversas (Carins Murphy, et al. 2012; Esperança Júnior, 2022).

Evans e Poorter (2001) juntamente com Esperança Júnior (2022) observaram que a distância entre as nervuras e a densidade de venação podem ser ajustadas como uma resposta adaptativa da planta para atender suas necessidades fisiológicas em diferentes condições ambientais. Essas modificações na arquitetura da venação são estratégias para otimizar o transporte de água, nutrientes e fotoassimilados, além de melhorar a eficiência no fornecimento de recursos às células do mesofilo, especialmente em situações de estresse hídrico ou de variações na disponibilidade de nutrientes.

Figura 28 - Teste de médias de porcentagem de área ocupada por venação no ambiente 02

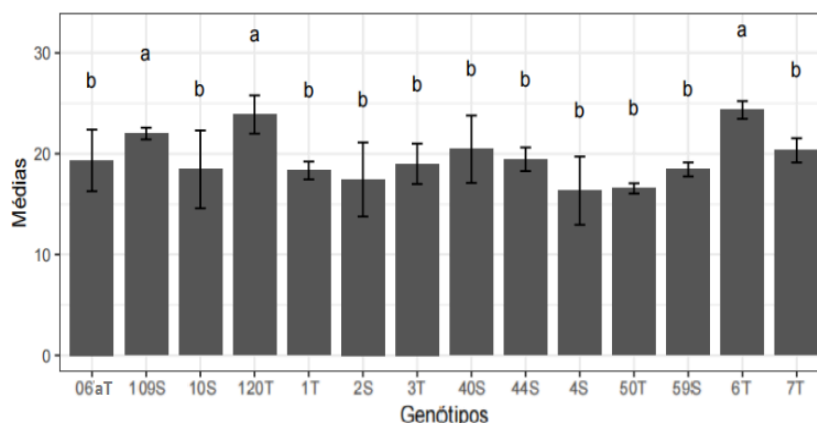


Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott ($p < 0.05$).

Todas as médias utilizadas estão na porcentagem ocupada nas lâminas analisadas.

A densidade de venação mais elevada pode proporcionar um transporte mais rápido e eficiente de água, ajudando a planta a manter a turgescência celular e a atividade fotossintética em condições adversas. Além disso, a modificação das distâncias entre as nervuras pode influenciar diretamente a resistência hidráulica das folhas, o que afeta o fluxo de água e a capacidade de resposta da planta ao estresse ambiental. Essas adaptações morfológicas refletem a plasticidade fenotípica da planta e sua capacidade de ajustar processos fisiológicos para maximizar a sobrevivência e o desempenho em ambientes variáveis (Borges, 2017). As médias dos clones 109S, 120T e 6T, se mostraram superiores às demais quanto ao número de estômatos presente nas folhas (Figura 29) na época mais chuvosas (ambiente 01), vale destacar que dentre os três clones acima mencionados, dois deles são os clones que deram origem a progênie em estudo sendo os mesmos 120T e o 109S.

Figura 29 - Teste de médias de número de estômatos no ambiente 01



(Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott ($p < 0.05$).)

Unidade de medida utilizada é adimensional, pois é um dado quantitativo.

Os clones 1T, 3T, 6aT, 6T, 7T, 10S, 40S, 59S e 109S apresentaram superiores estatisticamente (Figura 30) quanto ao teste de médias de número de estômatos no período com maior déficit hídrico (ambiente 02).

A quantidade de estômatos nas folhas de plantas de café desempenha um papel essencial na resposta dessas plantas a condições de déficit hídrico, uma vez que os estômatos são responsáveis pela regulação das trocas gasosas e pela transpiração. Em períodos de maior estresse hídrico, a capacidade de controle da abertura estomática surge como uma estratégia vital para a planta reduzir a perda

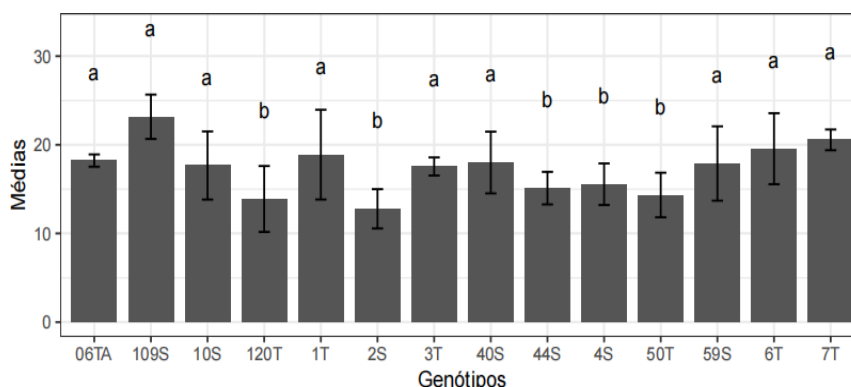
de água, mesmo que isso implique em um impacto temporário na fotossíntese e na assimilação de CO_2 . Portanto, o estudo dos estômatos é fundamental para compreender a eficiência hídrica e a adaptação de diferentes clones de café às adversidades climáticas.

A adição de silício foi investigada por Costa et al. (2022) como uma estratégia para mitigar os efeitos do estresse hídrico em mudas de cafeeiro. Verificou-se que doses de silício podem influenciar positivamente a estrutura e a função dos estômatos, melhorando a resistência da planta à seca. Sob condições de déficit hídrico, clones que apresentam maior densidade estomática ou maior capacidade de fechamento estomático têm maior eficiência no uso da água. No período de maior estresse hídrico (ambiente 02), clones como 1T, 3T, 6aT, 6T, 7T, 10S, 40S, 59S e 109S apresentaram médias estatisticamente superiores em relação ao número de estômatos (Figura 30), destacando-se pela sua capacidade de regular as trocas gasosas durante a seca.

Adicionalmente, Silva (2024) investigou a eficiência no uso da água em diferentes genótipos de *Coffea arabica* e concluiu que a redução na atividade estomática durante o estresse hídrico contribui para a conservação de água. Genótipos mais tolerantes à seca demonstraram uma capacidade superior de ajustar o comportamento dos estômatos, mantendo a fotossíntese ativa de maneira eficiente, apesar das condições adversas. Esses achados reforçam a importância da seleção de clones com características estomáticas adequadas para maximizar a resiliência ao estresse hídrico e otimizar o uso da água nas lavouras de café.

Sartori (2023) comparou a anatomia de variedades de café e observou que plantas com menor densidade de estômatos, especialmente em condições de seca prolongada, tendem a apresentar maior resistência à perda de água. Essas adaptações anatômicas refletem a importância do controle estomático na sobrevivência das plantas em ambientes áridos. Assim, os clones que apresentam uma regulação estomática mais eficiente, como os destacados em ambiente de maior déficit hídrico, são fundamentais para o desenvolvimento de cultivares de café mais resilientes e produtivas, mesmo sob condições climáticas desfavoráveis.

Figura 30 - Teste de médias de número de estômatos no ambiente 02



Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott ($p < 0.05$).

Unidade de medida utilizada é adimensional, pois é um dado quantitativo.

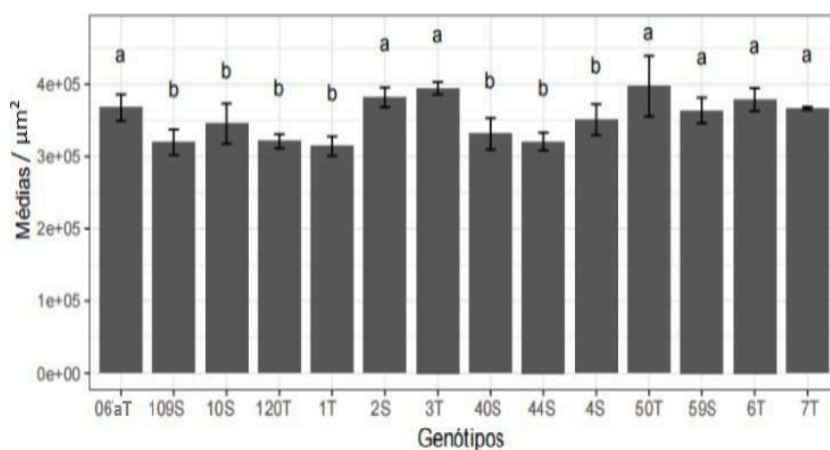
Quando analisamos o número de estômatos, que envolve a relação entre o número de estômatos e de células num mesmo campo, houve diferença entre os ambientes 1 e ambiente 2 entre os clones da progênie. De acordo com Cutter (1986), o índice estomático é razoavelmente constante para uma dada espécie, sendo afetado principalmente pela umidade. Com esse resultado pode-se inferir que o aumento do número de estômatos para os clones 109S e 6T se manteve em ambos os ambientes, sendo superior em ambos os períodos dos anos. E destacando que houve uma modificação dos clones 1T, 3T, 6T, 6aT, 7T, 10S, 40S, 59S e 109S que em período de maior déficit hídrico se equiparam a clones antes superior em número de estômatos.

Ferreira et al. (2015) realizaram um estudo na região norte do Espírito Santo, no qual foram analisadas as características anatômicas de trinta genótipos de café Conilon. Os resultados mostraram que, nesses genótipos, os estômatos podem ser classificados como paracíticos, devido à presença de duas células subsidiárias com eixos paralelos às células-guarda. Essa classificação difere dos dados obtidos por Carvalho et al. (2001), que analisaram as cultivares *Coffea canephora* Pierre cv. Conilon e *C. arabica* L. cv. Catuaí-Vermelho, com foco no processo fotossintético e na anatomia foliar. Dessa forma, ressalta-se a importância de investigar a área média dos estômatos nos clones estudados por Ferreira et al. (2015).

No ambiente 01 (período chuvoso) mesmo se apresenta em um mesmo “estande de teste” as plantas demonstraram diferença significativa estatisticamente, os clones 6aT, 2S, 3T, 50T, 59S, 6T e 7T se mostram superiores aos demais (Figura

31), sendo evidente que mesmo numa mesma condição há clones que se destacam dos demais. Vale lembrar que os clones 2S e 59S foram anteriormente classificados como suscetíveis à seca e mesmo assim, se mostram superiores, tolerantes, tais como 120T e 1T, referente a área média de estômatos.

Figura 31 - Teste de médias de área média de estômato no ambiente 01

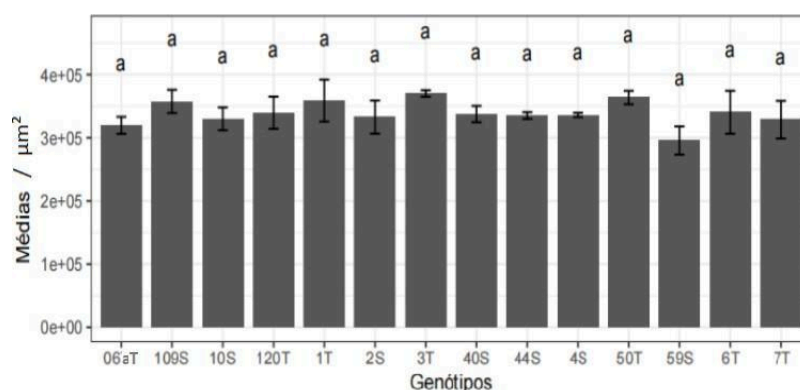


Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott ($p < 0.05$).

Todas as médias utilizadas estão em micrômetro quadrado = μm^2 .

Durante o período em que se observou o maior déficit hídrico (ambiente 02), os clones analisados demonstraram comportamento estatisticamente semelhante entre si, conforme ilustrado na Figura 32. Essa uniformidade sugere que os clones enfrentaram a perda de água de forma semelhante, o que resultou em uma área média semelhante para todos eles, sem diferenças estatísticas significativas. Esses resultados indicam que, sob condições adversas de disponibilidade hídrica, os clones não apenas reagiram de maneira similar, mas também revelaram uma flexibilidade fenotípica equivalente frente ao estresse hídrico. Essa observação é crucial para entender a resistência e a resiliência dos clones em ambientes desafiadores, o que pode ter implicações importantes para estratégias de manejo e seleção em programas de melhoramento genético.

Figura 32 - Teste de médias de Área média de estômato no ambiente 02



Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott ($p < 0.05$).

Todas as médias utilizadas estão em micrômetro quadrado = μm^2 .

Uma maior densidade estomática pode melhorar a captação de CO_2 , permitindo uma abertura estomática mais rápida e eficiente. Isso reduz o tempo de abertura dos estômatos, diminuindo a transpiração e promovendo uma melhor adaptação das plantas a condições de baixa disponibilidade hídrica (Dubberstein, et al. 2018).

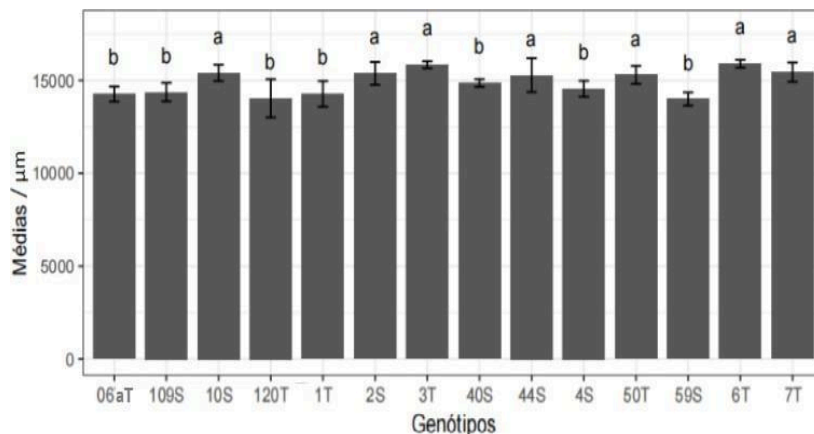
Na figura 33, podemos observar que os clones 2S, 3T, 6T, 7T, 10S, 44S e 50T, se destacam dos demais, os mesmos se apresentam superiores estatisticamente quanto a largura média dos estômatos no período mais chuvoso (ambiente 01).

Uma maior largura dos estômatos durante o período mais chuvoso geralmente proporciona “maior capacidade de troca gasosa” nas plantas. Isso se deve ao fato de que a abertura estomática regula a entrada de dióxido de carbono para a fotossíntese e a saída de vapor d’água durante a transpiração. Quando os estômatos estão mais abertos (maior largura), a planta consegue absorver mais CO_2 , o que pode aumentar a taxa fotossintética, promovendo maior crescimento e produtividade (Hetherington & Woodward, 2003; Lambers, et al. 2008; Taiz, et al. 2017).

Além disso, em condições de alta disponibilidade hídrica, como nos períodos mais chuvosos, as plantas podem manter os estômatos mais abertos sem o risco de perder muita água, uma vez que o ambiente é úmido e a perda por transpiração é compensada pela reposição de água do solo. No entanto, esse comportamento é vantajoso principalmente em condições de umidade alta. Durante períodos de seca,

a planta tende a fechar seus estômatos para conservar água, reduzindo essas trocas gasosas.

Figura 33 - Teste de médias de largura média dos estômatos no ambiente 01

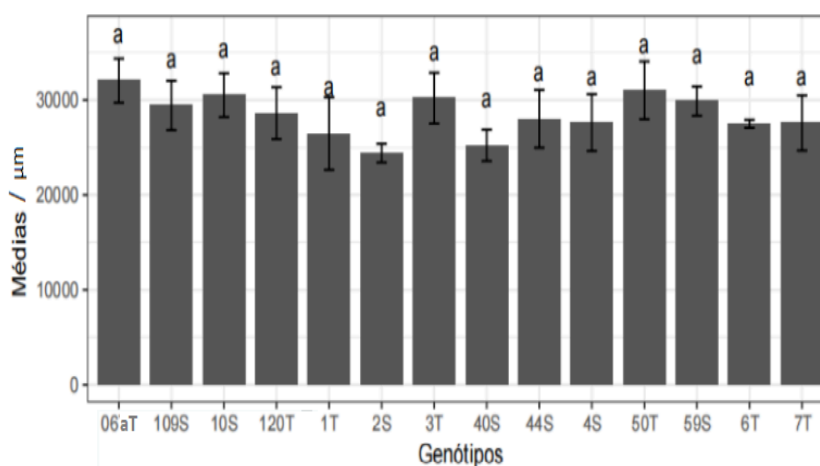


Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott ($p < 0.05$).

Todas as médias utilizadas estão em micrômetro = μm .

No período com maior déficit hídrico, todas as médias dos clones foram similares estatisticamente no teste de médias de largura média dos estômatos (Figura 34). Evidenciando que os clones em períodos com maior escassez de água, desidratam de modo similar, tornando clones antes desiguais, similares entre si, quando o foco se tornar a largura média dos estômatos.

Figura 34 - Teste de médias de largura média dos estômatos no ambiente 02



Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott ($p < 0.05$).

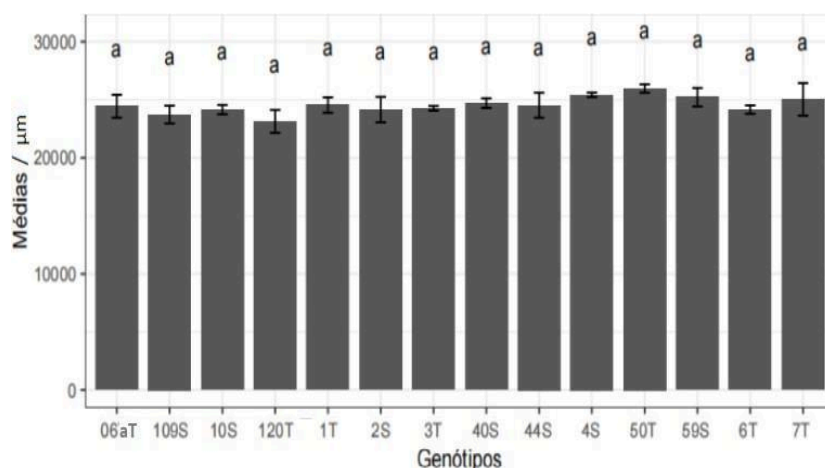
Todas as médias utilizadas estão em micrômetro = μm .

Demonstrando que um maior déficit hídrico influencia anatomicamente na largura dos estômatos, no período mais chuvoso (ambiente 01) as médias apresentaram diferenças estatística entre elas, contudo no período mais seco (ambiente 02) as médias se igualaram estatisticamente, de modo a comprovar que a falta de água interfere diretamente na largura dos estômatos, independentemente do clone/variedade. A mudança anatômica se mostra tão evidente que todos os clones se equipararam.

De acordo com Rocha (2005), a relação entre o comprimento e a largura média dos estômatos é um importante indicativo de sua forma. Quanto maior essa relação, mais elipsoidal tende a ser o formato dos estômatos, o que também está associado a uma maior funcionalidade estomática.

As análises do comprimento médio dos estômatos mostraram que todos os clones em campo apresentaram valores estatisticamente similares, ou seja, nenhum clone mostrou alteração significativa desta característica no ambiente, mas chuvoso (ambiente 01) conforme visto na figura 35. Esperava-se alterações no número de médio dos estômatos por mm² no limbo foliar, e clones com diferenças anatômicas relacionadas aos estômatos, pois período mais chuvoso (ambiente 01) as plantas de café se apresentam com folhas túrgidas, e com a presença de água possíveis alterações nos estômatos se evidenciam, porém, como visto não ocorreu alterações significativas.

Figura 35 - Teste de médias de comprimento médio dos estômatos no ambiente 01

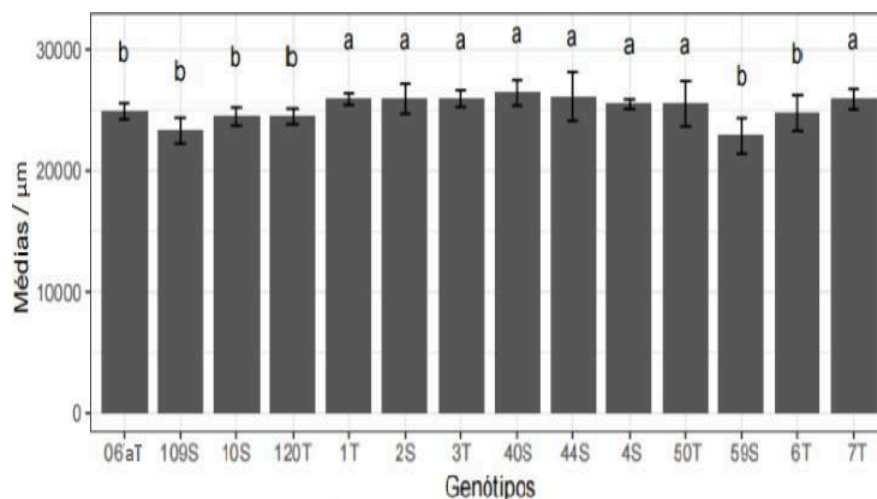


Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott ($p < 0.05$).

Todas as médias utilizadas estão em micrômetro = μm .

Apenas as médias dos clones 1T, 2S, 3T, 4S, 7T, 40S, 44S e 50T foram superiores estatisticamente aos demais no teste de médias de comprimento médio dos estômatos no ambiente 02 (Figura 36).

Figura 36 - Teste de médias de comprimento médio dos estômatos no ambiente 02



Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott ($p < 0.05$).

Todas as médias utilizadas estão em micrômetro = μm .

Morfologicamente os clones não apresentaram significância quanto ao comprimento médio dos estômatos na época mais chuvosa (ambiente 01), devido as plantas se apresentaram túrgidas, logo o mesmo não se aplica às médias encontradas no período mais seco, com um maior déficit hídrico (ambiente 02), a falta de água influenciou diretamente o comprimento médio dos estômatos, porém nesse mesmo período mais escasso de água os clones apresentaram médias de largura média dos estômatos similares estatisticamente, o mesmo se repete com a médias de Área média de estômato. Portanto os clones 1T, 2S, 3T, 4S, 7T, 40S, 44S e 50T mesmo apresentam uma área média e uma largura média similares estatisticamente, se destacam por possuírem estômatos mais compridos que os demais clones no mesmo período (período com maior déficit hídrico).

CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo evidenciam a variabilidade fenotípica entre os 14 clones avaliados, oriundos dos cruzamentos recíprocos entre os clones 120 e 109 de *Coffea canephora*. Em condições de escassez hídrica, nove clones se destacaram estatisticamente: 1T, 2S, 3T, 6aT, 7T, 10S, 40S, 44S e 59S. Entre eles, os clones 2S, 40S, 44S e 6aT apresentaram maior eficiência no uso da água (WUE), tornando-se potenciais candidatos para compor novas cultivares adaptadas a regiões sujeitas a períodos de seca.

As análises das características fisiológicas e anatômicas revelaram que teor de clorofilas A e B, taxa fotossintética (Photo), condutância estomática (Cond), dióxido de carbono intracelular (Ci), taxa de transpiração (Tmmol) e eficiência no uso da água (WUE) são indicadores importantes para a seleção de genótipos mais tolerantes à seca. Por outro lado, variáveis como área total de venação, porcentagem de área ocupada por venação, área média e largura dos estômatos não se mostraram eficazes para essa diferenciação no presente estudo.

Além disso, ao avaliar os cruzamentos, observou-se que tanto o cruzamento 120 × 109 quanto o 109 × 120 resultaram em clones com desempenho superior, sem evidência clara de herança materna para a tolerância à seca. Esse achado reforça a importância de explorar diferentes combinações genéticas dentro dos programas de melhoramento do cafeeiro, visando a obtenção de cultivares mais adaptadas ao déficit hídrico.

Este trabalho contribui diretamente para o programa de melhoramento do Incaper, fornecendo informações valiosas sobre a seleção de genótipos promissores para a cultura do café Conilon. Os produtores podem se beneficiar desses resultados ao adotar materiais genéticos mais eficientes no uso da água, aumentando a sustentabilidade e a produtividade em regiões com disponibilidade hídrica limitada. Dessa forma, os clones identificados neste estudo representam um avanço significativo para o fortalecimento da cafeicultura em condições de estresse hídrico.

REFERÊNCIAS

- ALVIM, S. J. T.; Desenvolvimento de solução integrada para auxílio no uso da Câmara de Pressão de Scholander em medidas de potencial hídrico foliar. 2021. <https://uenf.br/posgraduacao/producao-vegetal/wp-content/uploads/sites/10/2021/10/SILVIO-ALVIM-LIBERADA.pdf>
- AMÉGLIO, T.; ARCHER, P.; COHEN, M.; VALANCOGNE, C.; DAUDET, F. A.; DAYAY, S.; CRUIZIAT, P.; *Significance and limits in the use of predawn leaf water potential for tree irrigation*. Plant Soil, v. 207, p. 155-167, 1999.
- ANDRADE, M. A. F.; Relações hídricas e crescimento de plantas jovens de café sob diferentes regimes hídricos e dose de N e K. 2011. Disponível em: <http://www2.uesb.br/ppg/ppgagronomia/wp-content/uploads/2020/10/marcela-froiss.pdf>
- ANDRADE JÚNIOR, S.; Comportamento morfofisiológico de mudas de café conilon propagadas por estaquia e enxertia. 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufes.br/server/api/core/bitstreams/74213964-2431-4a53-9e0c-a32ff8c82c3b/content>
- APARECIDO, C. F. F.; Utilização de silício em *coffea arabica* L. e *coffea canephora* Pierre cultivados em diferentes regimes hídricos. 2021. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/024f3bda-8489-4e04-ac96-8124d33ff2ec/content>
- ARNHOLD, E.; Package in the R environment for analysis of variance and complementary analyses. Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science, v.50, n.6, p.488-492, 2013.
- AVILA, R. T.; CARDOSO, A. A.; DE ALMEIDA, W. L.; COSTA, L. C.; MACHADO, K. L.; BARBOSA, M. L.; DE SOUZA, R. P. B.; OLIVEIRA, L. A.; BATISTA, D. S.; MARTINS, S. C. V.; RAMALHO, J. D. C.; DAMATTA, F. M.; (2020) Coffee plants respond to drought and elevated [CO₂] through changes in stomatal function, plant hydraulic conductance, and aquaporin expression. Environmental and Experimental Botany 177: 104148
- BANKS, M.; MCFADDEN, C.; & ATKINSON, C.; (2000). Manual Enciclopédico do Café. Lisboa: Editorial Estampa.
- BATISTA, L. A, et al. Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. Revista Ciência Agronômica, v. 41, p. 475-481, 2010.
- BELHASSEN E. (Ed.); Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 1997, p. 57-70.
- BERTHAUD, J.; Les ressources génétiques pour l'amélioration des caféiers africains diploïdes. Evaluation de la richesse génétique des populations sylvestres et de ses mécanismes organisateurs. Conséquences pour l'application. Paris: ORSTOM, 1985, 379p. (Document ORSTOM n. 1988)
- BERTHAUD, J. L.; Incompatibilité chez *Coffea canephora*: Méthode de test et déterminisme génétique. Café Cacao Thé. Nogest-sur-Marne, v. 24, n.1, p. 167-174. 1980.

BHERING, L. L.; Rbio: Uma ferramenta para análise biométrica e estatística usando a plataforma R. *Melhoramento de Culturas e Biotecnologia Aplicada*, v. 17, p. 187-190, 2017.

BICA, M. V. M.; Integração lavoura-pecuária: com enfoque na recuperação de áreas degradadas no Município de São Gabriel/RS. 2015. Disponível em: <https://repositorio.unipampa.edu.br/jspui/handle/rii/4453>

BIANCHI, L.; GERMINO, G. H.; DE ALMEIDA SILVA, M.; Adaptação das plantas ao déficit hídrico. *Acta iguazu*, v. 5, n. 4, p. 15-32, 2016.

BLUM, A.; Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research*, v. 112, p. 119-123, 2009.

BLUM, A.; Respostas de culturas à seca e a interpretação da adaptação. *Plant growth regulation*, v. 20, p. 135-148, 1996.

BORGES, N. L.; DOS GOYTACAZES, C. Atributos funcionais foliares de *Myrcia insularis* Gardner O. Berg (Myrtaceae) em Floresta Estacional Semidecidual sobre Afloramento Rochoso e Restinga. 2017. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Biociências e Biotecnologia)–Campos dos Goytacazes–Universidade Estadual do Norte Fluminense–UENF.

BRAGANÇA, S. M.; CARVALHO, C. H. S. D.; FONSECA, A. F. A. D., & FERRÃO, R. G.; (2001). Variedades clonais de café Conilon para o Estado do Espírito Santo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36, 765-770.

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

Brodribb TJ, Jordan GJ (2011) Water supply and demand remain balanced during leaf acclimation of *Nothofagus cunninghamii* trees. *New Phytologist* 192: 437-448.

BUENO, L. C. S.; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, S. P.; Melhoramento de plantas: princípios e procedimentos. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 319 p.

CAMATTA, H.; Respostas fisiológicas ao uso de pó de rocha em substratos alternativos destinados à mudas de pimenta-do-reino. 2024. Disponível em: https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/handle/123456789/4978/TCC_Respostas_fisiologicas_ao_uso_de_p%C3%B3_de_rocha_em_substratos_alternativos_destinados_%C3%A0_mudas_de_pimenta-do-reino.pdf?sequence=1

CAMARGO, Â. P.; CAMARGO, M. B. P.; Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. *Bragantia*, v. 60, p. 65-68, 2001.

CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P.; *Microbiologia do solo*. Campinas: Sociedade Brasileira de ciência do solo, 1992.

CARINS Murphy MR, Jordan GJ, Brodribb TJ. 2012. Differential leaf expansion can enable hydraulic acclimation to sun and shade. *Plant, Cell & Environment* 35: 1407–1418.

CARVALHO, A.; Distribuição geográfica e classificação botânica do gênero *Coffea* com referência especial à espécie arábica. *Separata dos boletins da superintendência de serviços de café*. Campinas, SP: IAC, dez. 1945 a abr. 1946.

CARVALHO, F. G.; SERA, G. H.; ANDREAZI, E.; SERA, T.; FONSECA, I. C. D. B.;

CARDUCCI, F. C.; ... & COSTA, K. C.; (2017). Tolerância ao déficit hídrico em mudas de genótipos de café portadores de genes de diferentes espécies. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/8639>

CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M.; Comportamento de doenças do cafeeiro em sistema de plantio adensado. 2001. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/1214>

CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R.; Histologia Vegetal: Estrutura e Função de Órgãos Vegetativos. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.

CERNUSAK, L. A. et al. Large variation in wholeplant water-use efficiency among tropical tree species. *New Phytologist*, Malden, v. 173, n. 2, p. 294-305, Jan. 2007.

CHARRIER, A.; BERTHAUD, J.; Principles and methods in coffee plant breeding: *Coffea canephora* Pierre. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. (Eds.) *Coffee: agronomy*. London: Elsevier Applied Science, p. 167-195, 1988.

CHAVES, M. M. et al. How plants cope with water stress in the field? *Photosynthesis and growth*. *Annals Botany*, 89, p. 907-916, 2002.

CHEN, Y. P.; CHEN, Y. N.; LI, W. H. & XU, C. C. (2006). Characterization of photosynthesis of *Populus euphratica* grown in the arid region. *Photosynthetica*, 44, 622-626.

CHESEREK, J. J.; GICHIMU, B. M.; Drought and heat tolerance in coffee: a review. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*, Sapele, v. 2, n. 12, p. 498-501, 2012.

CHEVALIER, A.; L'évolution de la culture du Caféier à Madagascar. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, v. 26, n. 286, p. 390-398, 1946.

CHONÉ, X.; VAN LEEUWEN, C.; DUBORDIEU, D.; GAUDILERE, J. P. *Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status*. *Ann. Bot.*, v. 87, p. 477-483, 2001.

CLIFFORD, M.N.; (1985). Chemical and physical aspects of green coffee and coffee products, in: M. Clifford & WILLSON, K.C., K. Willson, (eds), *Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage*. Westport, Connecticut, Avi Publishing. pp.305-374.

COELHO, G. et al. Efeito de épocas de irrigação e de parcelamento de adubação sobre a produtividade do cafeeiro 'Catuaí'. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 33, n. 01, p. 67-73, 2009.

COLODETTI, T. V.; CHRISTO, L. F.; RODRIGUES, W. N.; MARTINS, L. D.; TOMAZ, M. A.; PIZETTA, S. C.; & BRINATE, S. V. B.; Teores de clorofila de genótipos de café conilon influenciados pela disponibilização de nitrogênio no solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 39., 2013, Poços de Caldas. Anais... Brasília, DF: Embrapa Café, 2013. (1 CD-ROM), 2 p. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/7298>

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). Café conilon - Boletim da safra de café. Brasília: Conab, 2024. Disponível em: [file:///C:/Users/PROFESSOR/Downloads/BoletimZdeZSafrasZcafZ-Zmaio_24%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/PROFESSOR/Downloads/BoletimZdeZSafrasZcafZ-Zmaio_24%20(2).pdf)

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). Café conilon -

Comparativo de área em produção, produtividade e produção. Brasília : Conab, 2022. Disponível em: file:///C:/Users/PROFESSOR/Downloads/site_Boletim_de_Cafe_4o_levantamento.pdf

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). Café conilon -Comparativo de área em produção, produtividade e produção. Brasília : Conab, 2023. Disponível em: file:///C:/Users/PROFESSOR/Downloads/E-book_BoletimZdeZSafrasZcafZ-ZdezZ23%20(1).pdf

CONAGIN, C. H. T. M.; MENDES, A. J. T.; Pesquisas citológicas e genéticas em três espécies de *Coffea*: auto-incompatibilidade em *Coffea Canephora* Pierre ex Froehner. *Bragantia*, v. 20, n. 34, p.787-804, 1961.

CORNIC, G. & GHASHGHAIE, J.; (1991) Effect of temperature on net CO2 assimilation and photosystem II quantum yield of electron transfer of french bean (*Phaseolus vulgaris* L.) leaves during drought stress. *Planta*. 185: 255-260

COSTA, R. C. C.; Microterraceamento da entrelinha do cafeeiro conilon influenciando os atributos físicos e químicos do solo. 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/3897>

COSTA, M. F. L. D.; Plasticidade ecofisiológica como mecanismo de adaptação à deficiência hídrica em plantas jovens de ipê branco *Tabebuia roseoalba* (Ridl). *Sand.(bignoniaceae)*. 2021.

CRUZ, C. D.; GENES-A software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *ActaSci. Agron.* 35: 271-276. 2013.

CUTTER, E. G.; Anatomia vegetal: parte I: células e tecidos. 2. ed. São Paulo: Roca, 1986. 304 p. In: Grisi, F. A., Alves, J. D., Castro, E. M. D., Oliveira, C. D., Biagiotti, G., & Melo, L. A. D.. Avaliações anatômicas foliares em mudas de café'catuaí'e'siriema'submetidasao estresse hídrico. *Ciência e Agrotecnologia*, 32, 1730-1736.(2008).

DA COSTA, M. S.; Análise da competitividade do café em Timor Leste em função da acessibilidade das plantações. 2012. Dissertação de Mestrado. Universidade dos Acores (Portugal).

DA COSTA, M. H.; TERRA, B. C. F.; MACIEL, A. L. R.; FERREIRA, J. P.; DOS ANJOS, P. G. S.; & LOPES, L. H.; PARÂMETROS AGRONÔMICOS DE MUDAS DE CAFEIRO SUBMETIDOS AO ESTRESSE HÍDRICO E DIFERENTES DOSES DE SILÍCIO. *15º JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA E 12 º SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO DO IFSULDEMINAS*, 14(1). (2022).

DAMATTA F.M.; AVILA, R.T.; CARDOSO, A.A.; MARTINS, S.C.; RAMALHO, J.C.; (2018) Physiological and agronomic performance of the coffee crop in the context of climate change and global warming: A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 66: 5264-5274.

DAMATTA, F. M.; CHAVES, A. R. M.; PINHEIRO, H. A.; DUCATTI, C.; LOUREIRO, M. E.; Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. *Plant Science*, v. 164, p. 111-117, 2003.

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*, v.

18, p. 55-81, 2006.

DAMATTA F.M.; RENA, A. B.; Tolerância do café à seca. In: ZAMBOLIN, L. (Ed.). Tecnologias de produção de café com qualidade. Viçosa: Universidade federal de Viçosa, p. 65100, 2001.

DE MARCO JÚNIOR, P.; & COELHO, F. M.; (2008). A polinização como um serviço do ecossistema: uma estratégia econômica para a conservação. Universidade de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

DE MELLO, P. C.; KRETER, A. C. D.; M. N. A Economia do Café no Século XIX. 2022. Disponível

em:

https://esags.edu.br/wp-content/uploads/2022/05/Livro_A-economia-do-cafe-no-seculo-XIX.pdf

DE MORAES CAMPOS, A. J.; SANTOS, S. M.; NACARATH, I. R. F. F.; Estresse hídrico em plantas: uma revisão. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 15, p. e311101523155-e311101523155, 2021.

DE MOURA NETO, A.; DE MOURA, B. S., SOUZA, L. L.; DO NASCIMENTO PORTELA, W.; DE ARAUJO LIMA, E.; JÚNIOR, Â. D. S. G.; ... & DE HOLANDA ROCHA, J. G. J.; (202). Teores de clorofila da rúcula em função de diferentes ambientes e doses de esterco caprino. *Brazilian Journal of Development*, 7(1), 6502-6512.

DE OLIVEIRA, F. B.; GODINHO, T. D. O.; DAN, M. L.; DE OLIVEIRA, C. H. R.; SILVA, E.; & GOMES, R.; Adubação nitrogenada no crescimento de *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth em sistema silvipastoril. 2020.

DE OLIVEIRA, I. P.; OLIVEIRA, L. C.; & DE MO, C. S. F. T.; Cultura de café: histórico, classificação botânica e fases de crescimento. *Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos*, v. 5, n. 4, 2012.

DE OLIVEIRA, L. D.; As contribuições da climatologia para prevenção e combate a incêndios florestais no Parque Estadual Serra do Rola Moça. 2023. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/58560>

DIAS, P. C.; ARAÚJO, W. L.; MORAES, G. A. B. K. D.; POMPELLI, M. F.; BATISTA, K. D.; CATEN, Â. T.; ... & DaMatta, F. M.; (2005). Crescimento e alocação de biomassa em duas progênies de café submetidas a déficit hídrico moderado. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/2090>

DO AMARAL, E. F.; MARTORANO, L. G.; BERGO, C. L.; DE MORAES, J. R. S. C.; LUNZ, A. M. P.; DE SOUZA, L. P.; ... & DE LIMA, M. N.; (2018). Condições agroclimáticas para subsidiar cultivos do café canéfora no Acre. Disponível em: <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-alice-doc-1092480/Description>

DO BRASIL, 4., 2005, Londrina, PR. Resumos expandidos... Brasília, DF: Embrapa Café, 2005.

DUARTE, R. D. M.; Um estudo microeconômico sobre as principais commodities agrícolas no Brasil. 2022. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/69848>

DUTRA, A. D.; SAMPAIO, A. H. R.; GUIMARÃES, M. J. M.; SILVA, R. O. D.; CALBO, A. G.; & COELHO FILHO, M. A.; (2011). Relação entre conteúdo relativo de água e potencial de turgor obtido com wiltmeter em folhas de mamoeiro. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/45499373.pdf>

DUBBERSTEIN, D.; PARTELLI, F. L.; AOYAMA, E. M.; OLIVEIRA, M. G.; & DALAZEN, J. O.; (2018). Características anatômicas foliares de 43 genótipos de cafeeiro conilon.

ECCARDI, F.; SANDALJ, V.; Coffee – a celebration of diversity. Sandalj Eccardi Company, Trieste, Italy, 228 p., 2002.

ESPERANÇA JÚNIOR, M. G. F.; Um Método eficiente para determinar a densidade de venação nas Glossopteris e suas aplicações. 2022. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/259344>

EVANS, J.R.; POORTER, H.; Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. *Plant, Cell and Environment*, v.24, p. 755-767. 2001.

FAHL, J. I.; Influência da irradiância e do nitrogênio na fotossíntese e crescimento de plantas jovens de café (*Coffea arabica*). 1989. Tese de Doutorado. [sn].

FASSARELLA, R. A.; Cooperativismo no setor cafeeiro no estado do Espírito Santo, 1950-1970. Editora Dialética, 2022.

FAZUOLLI, L. C.; TOMA-BRAGHINI, M.; MISTRO, J. C.; & SILVAROLLA, M. B.; (2007). Café robusta: uma nova opção para a cafeicultura paulista. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/6324>

FAZUOLI, L. C.; Genética e melhoramento do cafeeiro. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, N.; YAMADA, J. (Eds). *Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade do cafeeiro*. Piracicaba, SP: POTAFOS, 1986, p. 87-113.

FAZUOLI, L. C.; Genética e melhoramento do cafeeiro. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, N.; YAMADA, J. (Eds); *Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade do cafeeiro*. Piracicaba, SP: POTAFOS, 1986, p. 87-113.

FERRÃO, M. A. G.; DA FONSECA, A. F. A.; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, P. S.; FERRÃO, M. A. G.; DA FONSECA, A. F. A.; & VOLPI, P. S.; (2007). Origem, dispersão geográfica, taxonomia e diversidade genética de *Coffea canephora*.

FERRÃO, R. G.; MOREIRA, S. O.; FERRÃO, M. A. G.; RIVA, E. M.; ARANTES, L. D. O.; COSTA, A. D. F. S. D.; ... & GALVÊAS, P. A. O.; (Genética e melhoramento: desenvolvimento e recomendação de cultivares com tolerância à seca para o Espírito Santo. *Incaper em Revista*, v. 6, n. 4, p. 51-71, 2016.

FERRÃO, R.G.; SILVEIRA, J.S.M.; FONSECA, A.F.A.; BRAGANÇA, S.M.; FERRÃO, M.A.G.; EMCAPA 8141 Robustão Capixaba: variedade clonal de café conilon tolerante à seca. *Comunicado Técnico*, n. 98, 1999. 12p.

FERRÃO, R. G.; VOLPI, P. S.; FERRÃO, M. A. G.; BRAGANÇA, S. M.; DA FONSECA, A. F. A.; & VERDIN FILHO, A. C.; (2015). *Cultivares de café Conilon*. Disponível em:

<https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/699/1/livro2007cafeconilon7.pdf>

FERRÃO, R. G.; *Biometria aplicada ao melhoramento genético do café Conilon*. 2004. 256 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2004.

FERREIRA, A. D.; GILES, J. A. D.; VIANA, D. G.; AYOAMA, E. M.; & PARTELLI, F. L.; Características anatômicas de trinta genótipos de café Conilon na região norte

do Espírito Santo. (2015). Disponível em:

http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/7597/279_41-CBPC-2015.pdf?sequence=1

FERREIRA, M. J.; GONÇALVES, J. F. C.; FERRAZ, J. B. S.; Crescimento e eficiência do uso da água de plantas jovens de castanheira-da-amazônia em área degradada e submetidas à adubação. *Ciência Florestal*, v. 22, n. 2, p. 393-401, 2012.

FONSECA, A. F. A.; CARNEIRO, P. C. D.; SILVA, M. F. Genetic parameters in Conilon coffee. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, n. 1, p. 61-69, 2008.

FONSECA, A. F. A.; da (Org.); SAKIYAMA, N. S. (Org.); BOREM, A (Org.). *Café Conilon: do plantio à colheita*. Ed. Viçosa, MG: UFV, 2015.

FRANKS, S. J.; Plasticity and evolution in drought avoidance and escape in the annual plant *Brassica rapa*. *New Phytologist*, v.190, n.1, p.249-257, 2011.

FREITAS, M. A. M.; Déficit hídrico sobre indicadores de crescimento e fisiológicos de *Bidens pilosa* L. e *Bidens subalternans* DC. 2018. 38f. Dissertação (Agronomia: Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2018.

FREITAS, R. B.; et al. Influência de diferentes níveis de sombreamento no comportamento fisiológico de cultivares de café (*Coffea arabica* L.). *Ciência e agrotecnologia*, v. 27, p. 804-810, 2003.

GERAIS, V.; CONCLUSÕES; ANEXO, V. I. IV. CAPÍTULO 2: AVALIAÇÕES MORFOFISIOLÓGICAS EM PROGÊNIES DE CAFÉ CONILON PARA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS COM TOLERÂNCIA A SECA..... 63. Respostas morfofisiológicas e herança materna para tolerância à seca em progênies de café conilon., p. 8, 2017.

GUYOT G.; SCOFFONI, C.; SACK, L.; (2012) Combined impacts of irradiance and dehydration on leaf hydraulic conductance: insights into vulnerability and stomatal control. *Plant, Cell & Environment* 35: 857-871.

HETHERINGTON, A. M.; WOODWARD, F. I.; The role of stomata in sensing and driving environmental change. *Nature*, v. 424, n. 6951, p. 901-908, 2003.

HIRATA, E. K.; (2014). Respostas fisiológicas da rúcula ao cultivo sob telas fotoconversoras no inverno e verão. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UOES_de71f8956bcfd4b5a89b67fd60cebe55

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M.; Water relations in sugarcane and response to water deficits. *Field Crops Research*, v. 92, p. 185-202, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ. Estrutura da Cafeicultura. In: *Cafeicultura no Espírito Santo*. IBC-OEA. Cap. 2, p. 32-54, 1964.

JOHANSEN, D. A.; *Plant microtechnique*. New York, McgrawHill, 1940

KERBAUY, G. B.; (2009) *Fisiologia vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 452 p.

KIRKHAM, M. B. (2014) *Principles of Soil and Plant Water Relations*. 2 o Edição - Oxford: Elsevier, 572p.

KNUPPEL, C. A.; CARVALHO, R. D. S.; Castanheira, D. T.; Batista, F. K. O.; GUEDES, J. M.; GUIMARÃES, R. J.; & CARVALHO, M. D. F.; (2017). Taxa fotossintética e condutância estomática de cafeeiros cultivados com diferentes tipos

de manejo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 43., 2017, Poços de Caldas. Novas tecnologias para um bom café produzir. Brasília, DF: Embrapa Café, 2017.

KRAMER, P. J. Water relations of plants. Academic Press, New York, 1983. 489 p.

LAMBERS, H.; CHAPIN III, F. S.; PONS, T. L.; Plant physiological ecology. Springer Science & Business Media, 2008.

LAMOUNIER, W. M.; Comportamento dos preços no mercado "spot" de café do Brasil: análise nos domínios do tempo e da frequência. 2001.

LARCHER, W.; Ecofisiologia vegetal. São Paulo: Rima Artes e Textos, 2000. 531 p.

LICHTENTHALER, H. K.; The stress concept in plants: an introduction. In: Csermely P., (ed), Stress of Life: From Molecules to Man. Annals of the New York Academy of Sciences. v. 851, 1998, p. 187-98.

LISAR, S.Y.S.; MOTAFAKKERAZAD, R.; HOSSAIN, M.M.; RAHMAN I.M.M.; Water Stress in Plants: Causes, Effects and Responses, In Water Stress; Prof. Ismail Md. Mofizur Rahman Ed., InTech: New York, USA, 2012.

MARCOLAN, A. L.; RAMALHO, A. R.; MENDES, A. M.; TEIXEIRA, C. A. D.; FERNANDES, C. D. F.; COSTA, J. N. M.; ... & VENEZIANO, W.; Cultivo dos cafeeiros conilon e Robusta para Rondônia. Porto Velho: Embrapa Rondônia: Emater-RO, v. 3 p. 67, 2009.

MARQUES, T. A.; CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DA REPRESA DO TIJUQUEIRO LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE MORRINHOS-GO. Instituto Federal Goiano, IF Goiano, 2019.

MARSETTI, M. M. S.; BONOMO, R.; PARTELLI, F. L.; SARAIVA, G. S.; Déficit hídrico e fatores climáticos na uniformidade da florada do cafeeiro conilon irrigado. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v. 7, n. 6, p 371 - 380, 2013.

MARTINEZ, C. A.; OLIVEIRA, E. D.; MELLO, T. R. P.; & ALZATE-MARIN, A. L.; Respostas das plantas ao incremento atmosférico de dióxido de carbono e da temperatura. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8(8), 635-650. (2015).

MARTINS, C. A. S., et al. Balanço hídrico da cultura do café conilon nas condições edafoclimáticas do município de Ecoporanga – ES. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 7, n. 12, p. 1-16, 2011.

MARTINS, G. J. M.; Influência da dureza da água em suspensões de esmalte cerâmico. 2001. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/80296>

MARTINS, S.C.V; GALMÉS, J.; CAVATTE, P.C.; PEREIRA, L.F.; VENTRELLA, M.C.; DAMATTA, F.M.; (2014) Understanding the low photosynthetic rates of sun and shade coffee leaves: Bridging the gap on the relative roles of hydraulic, diffusive and biochemical constraints to photosynthesis. *PLoS One* 9: e95571.

MATOS, F. S. Folha seca: introdução à fisiologia vegetal. Editora Appris, 2020.

MAURI, R.; Adubação do café conilon irrigado por gotejamento: fertirrigação x fertilizantes de eficiência aprimorada. 2016. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/12029>

MCKOWN, A.D.; COCHARD, H.; SACK, L.; (2010) Decoding leaf hydraulics with a spatially explicit model: principles of venation architecture and implications for its evolution. *The American Naturalist* 175: 447-460.

MEDICI, L. O.; AZEVEDO, R. A.; CANELLAS, L. P.; MACHADO, A. T.; PIMENTEL, L. C. Stomatal conductance of maize under water and nitrog déficits. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 42, n.4, p. 599-601, 2007.

MENEZES-SILVA, P. E.; CAVATTE, P.C.; MARTINS, S.C.; REIS, J.V.; PEREIRA, L.F.; ÁVILA, R. T.; ... & DAMATTA, F. M.; A densidade da madeira, mas não a arquitetura hidráulica da folha, está associada à tolerância à seca em clones de *Coffea canephora*. *Árvores* , v. 29, p. 1687-1697, 2015.

Ministério da Agricultura e da Pecuária (MAPA). Projeções do agronegócio. Brasília: MAPA, 2024.
Disponível

em:<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2022-2023-a-2032-2033.pdf>

Ministério da Agricultura e da Pecuária (MAPA). Valor Bruto da Produção Agropecuária (VBP). Brasília: MAPA, 2022. Disponível em:

<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/valor-bruto-da-producao-agropecuaria-vbp>

MONTAGNON, C.; LEROY, T.; ESKEES, A. B. Varietal improvement of *Coffea canephora*. II. Breeding programmes and their results. *Plantation Recherche Développement* 5: 18-33, 1998.

MONTAGNON C., CUBRY P. ; LEROY T. Amélioration génétique du caféier *Coffea canephora* Pierre: connaissances acquises, stratégies et perspectives. *Cahiers Agricultures* n 21: 2012, p.2-3. MORFOFISIOLÓGICAS EM PROGÊNIES DE CAFÉ CONILON PARA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS COM TOLERÂNCIA A SECA..... 63. *Respostas morfofisiológicas e herança materna para tolerância à seca em progênies de café conilon.*, 8.

NASCIMENTO, S. P. D., BASTOS, E. A., ARAÚJO, E. C., FREIRE FILHO, F. R., & SILVA, E. M. D. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 15, n. 8, p. 853-860, 2011.

NETTO, A. T.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J. G.; LIMA, J. T.; PERINI, J. L. Plantas de *Coffea canephora* Pierre propagadas vegetativamente em cinco volumes de recipientes: influências sobre os teores de pigmentos fotossintéticos, a emissão da fluorescência da clorofila e as trocas gasosas. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2001, Vitória. Anais... Brasília: Embrapa Café, 2001. CD Rom

NOGUEIRA, A. et al. Photosynthesis and water use efficiency in twenty tropical tree species of differing succession status in a Brazilian reforestation. *Photosynthetica*, Praha, v. 42, n. 3, p. 351-356, Sept. 2004.

OLIVEIRA, A. D.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. JD. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. *Engenharia Agrícola*, v. 25, p. 86-95, 2005.

OLIVEIRA, U. S. Como a elevada [CO₂] pode impactar o desempenho hidráulico e as relações hídricas de cafeeiros cultivados sob diferentes intensidades de luz?. 2022. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/14218>

PARTELLI, F.L.; VIEIRA, H.D.; SANTIAGO, A.R.; BARROSO, D.G. Produção e desenvolvimento radicular de plantas de café 'Conilon' propagadas por sementes e por estacas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, n.6, p.949-954, 2006

PEREIRA, C. S., ZANETTI, V. H., SCHOFFEN, M., WIEST, G., & FIORINI, I. V. A..Caracteres de produção e índice ClorofiloG® de treze híbridos de milho no norte de Mato Grosso. *Agrarian*, v. 14, n. 52, p. 233-240, 2021.

PÉREZ, L. R. Implicaciones fisiológicas de la osmorregulación en plantas. *Agronomía Colombiana*, Bogotá, v. 24, p. 28-37, 2006.

PERUZZOLO, M. C.; DA CRUZ, B. C. F.; RONQUI, L. Polinização e produtividade do café no Brasil. *Pubvet*, v. 13, p. 152, 2019.

PIMENTEL, C. A relação da planta com a água. Seropédica: UFRural, 2004. 192 p

PINCELLI, R. P. (2010). Tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas.

PINHEIRO, H. A.; DAMATTA, F. M.; CHAVES, A. R. M.; LOUREIRO, M. E.; DUCATTI, Cal. Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. *Annals of Botany*, v. 96, n. 1, p. 101-108, 2005.

PRADO, F., LOUREIRO, M., PAIVA, R., ANDRADE, A., Ferrão, M. A. G., ANTUNES, W., ... & Almeida, A. M. (2018). Reciprocal grafting between clones with contrasting drought tolerance suggests a key role of abscisic acid in coffee acclimation to drought stress. Disponível em:

<https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/123456789/3012/1/BRT-Reciprocalgraftingbetweencloneswithcontra-ferrao.pdf>

PRAXEDES, S. C., DAMATTA, F. M., LOUREIRO, M. E., FERRAO, M. A., & CORDEIRO, A. T. (2006). Effects of long-term soil drought on photosynthesis and carbohydrate metabolism in mature robusta coffee (*Coffea canephora* Pierre var. kouillou) leaves. *Environmental and experimental botany*, 56(3), 263-273.

PREZOTTI, L. C., OLIVEIRA, J. A., GOMES, J. A., & DADALTO, G. G. Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo: 5ª aproximação. 2013.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo – 5ª aproximação. Vitória, ES, SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.

RAY, J. D.; SINCLAIR, T. R. Stomatal conductance of maize hybrids in response to drying soil. *Crop Science*, Madison, v. 37, p. 803-807, 1997.

R Core Team (2024). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.

RIBEIRO, W. R., RODRIGUES, R. R., PIZETTA, S. C., CAPELINI, V. A., & REIS, E. F. D. (2015). Atuação do déficit hídrico no solo como fator limitante da transpiração relativa e desenvolvimento inicial do cafeeiro. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/4205>

ROCHA, D. S. DESEMPENHO DE POPULAÇÕES DE MILHO E CONTROLE GENÉTICO DE CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS COM TOLERÂNCIA À SECA E PRODUTIVIDADE. 2019. Tese de Doutorado. INSTITUTO AGRONÔMICO.

ROCHA, H. S. Luz e sacarose na micropropagação da bananeira'prata anã: alterações morfoanatômicas. 2005. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Lavras.

RODRIGUES, R. R. Déficit hídrico no desenvolvimento inicial do cafeeiro conilon. 2013. 81f. Dissertação (Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2013.

RODRIGUES, Wagner Nunes. Comportamento de grupos de clones de café conilon, selecionados no norte, na região sul do estado do Espírito Santo. 2010. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/11406>

RONCHI, C. P., ARAÚJO, F. C. D., ALMEIDA, W. L. D., SILVA, M. A. A. D., MAGALHÃES, C. E. D. O., OLIVEIRA, L. B. D., & DRUMOND, L. C. D. (2015). Respostas ecofisiológicas de cafeeiros submetidos ao déficit hídrico para concentração da florada no Cerrado de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50(01), 24-32.

SAGER, R. E LANE, D. (1972). Base molecular da herança materna. *Anais da Academia Nacional de Ciências*, 69 (9), 2410-2413.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. The photosynthesis-transpiration compromise. In: SALISBURY, F. B. ; ROSS, C. W. *Plant physiology*. 4 nd. California: Wadsworth, 1992. p.66-92.

SANTANA, P. G., SPINELLI, V. M., ANDRADE, T. R., DE SOUZA, C. A., MORAES, M. S., & ROCHA, R. B. Avaliação da variabilidade de características foliares entre genótipos de *Coffea canephora*. 2021. Disponível em: <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-alice-doc-1139638/Description>

SARTORI, L. J. Anatomia comparada de duas variedades de cafeeiro em Minas Gerais. 2023. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/14307>

SELLIN A, SACK L, ÖUNAPUU E, KARUSION A (2011) Impact of light quality on leaf and shoot hydraulic properties: a case study in silver birch (*Betula pendula*). *Plant, Cell & Environment*, 34: 1079– 1087.

SENRA, J. et al. Seleção de genótipos de cafeeiro conilon para sistemas agroflorestais ou consorciados. *Conjecturas*, v. 22, n. 9, 2022.

SERRÃO, A. C. S. Variação das características anatômicas foliares e do caule no cipó *Banisteriopsis caapi* (Spruce ex Griseb.) Morton (Malpighiaceae) e sua correlação com diferentes condições de disponibilidade hídrica no Centro-Oeste da Amazônia brasileira. 2023.

SILVA, E. A.; MAZZAFERA, P. Influences of temperature and water in the coffee culture. *The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology*, Bethesda, v. 2, p. 32-41, 2008.

SILVA, P. E. M. 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*, v. 87, p. 49-57, 2013.

SILVA, P. C. Tolerância à seca e eficiência no uso da água de genótipos de café arábica. 2024.

SILVA, P. E. M. Diversidade funcional da partição de biomassa, ganho de carbono e do uso da água em *Coffea canephora* em resposta à disponibilidade hídrica. 2010. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/6167>

SILVA, V. A., ANTUNES, W. C., GUIMARÃES, B. L. S., PAIVA, R. M. C., SILVA, V. D. F., FERRÃO, M. A. G., ... & LOUREIRO, M. E. Resposta fisiológica de clone de café Conilon sensível à deficiência hídrica enxertado em porta-enxerto tolerante. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 2010. 45, 457-464.

SILVA, V. A., PRADO, F. M., ANTUNES, W. C., PAIVA, R. M. C., FERRÃO, M. A. G., ANDRADE, A. C., ... & ALMEIDA, A. M. (2018). Reciprocal grafting between clones with contrasting drought tolerance suggests a key role of abscisic acid in coffee acclimation to drought stress. *Plant Growth Regulation*, 85, 221-229.

SILVA, V. A. Caracterização fisiológica da tolerância à seca em *Coffea canephora*: contribuição relativa do sistema radicular e da parte aérea. 2007. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/446/201120f.pdf?sequence=1>

SILVA, E. C. A. D. (2013). Respostas fisiológicas, bioquímicas e enzimáticas em mudas de *Moringa oleifera* Lam. submetidas a estresses abióticos. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/URPE_6a1147d398419a01199df119cca1b18d

SILVA, M. D. A., SANTOS, C. M. D., VITORINO, H. D. S., & RHEIN, L. (2014). Pigmentos fotossintéticos e índice SPAD como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. *Bioscience Journal*, 173-181.

SIQUEIRA, T. V. de. A cultura do café: 1961-2005. In: BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 22, set. 2005. p. 205-270.

SMIT, M.A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. *Field Crops Research*, South Africa, v. 98, p. 91-97, 2006.

SOARES, A. R.; MANTOVANI, E. C.; RENA, A. B.; SOARES, A. A. Irrigação e fisiologia da floração em cafeeiros adultos na região da zona da mata de Minas Gerais. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.27, n.1, p.117-125, 2005.

SOARES, C. Q. G. Proteômica diferencial e caracterização fisiológica de dois clones de *Coffea canephora* sob déficit hídrico. 2008. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/287>

SOBREIRA, F. B. S. Respostas morfofisiológicas e herança materna para tolerância à seca em progênies de café conilon. 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/123456789/9146>

SOUZA, A. H. Efeitos interativos da concentração de CO₂ e da disponibilidade de luz sobre o crescimento, o desempenho fotossintético e a plasticidade fenotípica do cafeeiro. 2022. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/14268>

SOUZA, L.F. Utilização da variação dendrométrica como indicador para o manejo da irrigação de plantas de café. 65f. Tese (Produção Vegetal) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2009.

STREIT, N. M., CANTERLE, L. P., CANTO, M. W. D., & HECKTHEUER, L. H. H. (2005). As clorofilas. *Ciência Rural*, 35, 748-755.

STULL, R.B. An introduction to boundary layer meteorology. Springer Science &

Business Media, 1988.

TAIZ, L., ZEIGER, E., 2015. *Plant Physiology and Development*. 6. ed. Sinauer Associates Inc, Sunderland.

TAIZ, L., ZEIGER, E., MØLLER, I. M., & MURPHY, A. *Fundamentos de Fisiologia Vegetal-6*. Artmed Editora, 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 4. ed. Artmed, Porto Alegre, 2006. 819 p. Varginha: Procafé, 2002. 387 p

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

TEMÓTEO, A. S. Cultivares de café Conilon (*Coffea canephora*) sob estresse salino-hídrico. 2012. Disponível

em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/12338>

TOMAZ, M. A. *Guia de Acompanhamento das Aulas de Cafeicultura*. 2011.

TURNER, N.C. Stomatal behavior and water status of maize, sorghum and tobacco under field conditions. II. At low soil water potential. *Plant Physiology*, Rockville, v.53, n.3, p.360-5, 1974.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). *Coffe Annual Brasilia Brazil*: USDA, 2024, https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Coffee%20Annual_Brasilia_Brazil_BR2024-0012

VENTURIN, A. Z. Coeficiente de estresse hídrico para o cafeeiro conilon bseado na determinação do fluxo de seiva. 2016. 111f. Tese (Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2016.

VERÍSSIMO, V., CRUZ, S. J. S., PEREIRA, L. F. M., DA SILVA, P. B., TEIXEIRA, J. D., FERREIRA, V. M., & ENDRES, L. Trocas gasosas e crescimento vegetativo de quatro variedades de mandioca. *Revista Raízes e Amidos Tropicais*, v. 6, p. 232-240, 2010.

VERSLUES, P. E. et al. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. *The Plant Journal*, v. 45, p. 523-539, 2006.

VIANA, D. G., TENIS, L. H. O., ORTELAN, B. P., NASCIMENTO, A. F., FALQUETO, A. R., PIRES, F. R., & BONOMO, R. Condutância estomática em cafeeiro em função do uso de corretivos de solo. (2012). Disponível em: http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/4404/221_38-CBPC-2012.pdf?sequence=1

VIEIRA, V. H. R. Florada do cafeeiro em função de manejos de irrigação em duas safras agrícolas. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/35717>

VOLTAN, R. B. Q., FAHL, J. I., CARELLI, M. L. C., BARRETO, T. A., LOURES, R. A. D. A. (2007). Iniciação e diferenciação floral em cultivares de cafeeiro. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/2440>

WEIGEL, D.; JURGENS, G. Stem cells that make stems. *Nature*, v.415, p.751-754, 2002.

WICKHAM H, et al (2019). "Welcome to the tidyverse." *Journal of Open Source Software*, 4(43), 1686. doi:10.21105/joss.01686

APÊNDICES

Tabela 2. Análise de Variância do Teor de clorofila A / Teor de clorofila B no ambiente 01

FV	GL	SQ	QM	F Calc	p-value
Tratamento	13	1.6681	0.1283	3.5878	0.0027**
Blocos	2	0.1682	0.0841	2.3516	0.1152
Resíduo	26	0.9299	0.0358	-	-
Total	41	2.7662	0.2482	-	-

** significativo ao nível de 0,05

Tabela 3. Análise de Variância do Teor de clorofila A / Teor de clorofila B no ambiente 02

FV	GL	SQ	QM	F Calc	p-value
Tratamento	13	2.8917	0.2224	2.7034	0.0149**
Blocos	2	0.0158	0.0079	0.0957	0.909
Resíduo	26	2.1394	0.0823	-	-
Total	41	5.0469	0.3126	-	-

** significativo ao nível de 0,05

Tabela 4. Análise de Variância do Teor de clorofila Total no ambiente 01

FV	GL	SQ	QM	F Calc	p-value
Tratamento	13	1690.473	130.0365	2.4715	0.024**
Blocos	2	91.826	45.9131	0.8726	0.4297
Resíduo	26	1367.958	52.6138	-	-
Total	41	3150.257	228.5634	-	-

** significativo ao nível de 0,05

Tabela 5. Análise de Variância do Teor de clorofila Total no ambiente 02

FV	GL	SQ	QM	F Calc	p-value
Tratamento	13	890.0781	68.4675	3.3929	0.0039**
Blocos	2	69.8914	34.9457	1.7317	0.1968
Resíduo	26	524.6719	20.179	-	-
Total	41	1484.641	123.5922	-	-

** significativo ao nível de 0,05

Tabela 6. Análise de Variância de Fotossíntese no ambiente 01

FV	GL	SQ	QM	F Calc	p-value
Tratamento	13	51.1333	3.9333	3.4177	0.0037**
Blocos	2	4.1820	2.0910	1.8169	0.1826
Resíduo	26	29.9230	1.1509	-	-
Total	41	85.2383	7.1752	-	-

** significativo ao nível de 0,05

Tabela 7. Análise de Variância de Fotossíntese no ambiente 02

FV	GL	SQ	QM	F Calc	p-value
Tratamento	13	36.6885	2.8222	5.1964	0.001**
Blocos	2	2.7098	1.3549	2.4947	0.1021
Resíduo	26	14.1207	0.5431	-	-
Total	41	53.519	4.7202	-	-

** significativo ao nível de 0,05

Tabela 8. Análise de Variância de Condutância no ambiente 01

FV	GL	SQ	QM	F Calc	p-value
Tratamento	13	0.0054	4e-04	3.8627	0.0016**
Blocos	2	0.0012	6e-04	5.6706	0.009
Resíduo	26	0.0028	1e-04	-	-
Total	41	0.0094	1.0046	-	-

** significativo ao nível de 0,05

Tabela 9. Análise de Variância de Condutância no ambiente 02

FV	GL	SQ	QM	F Calc	p-value
Tratamento	13	0.0035	3e-04	3.2803	0.0048**
Blocos	2	0.0012	6e-04	7.267	0.0031
Resíduo	26	0.0021	1e-04	-	-
Total	41	0.0068	1.0131	-	-

** significativo ao nível de 0,05

Tabela 10. Análise de Variância do dióxido de carbono intracelular (Ci) no ambiente 01

FV	GL	SQ	QM	F Calc	p-value
Tratamento	13	52397.735	4030.595	3.059	0.0074**
Blocos	2	9703.625	4851.812	3.6823	0.0391
Resíduo	26	34257.984	1317.615	-	-
Total	41	96359.344	10200.022	-	-

** significativo ao nível de 0,05

Tabela 11. Análise de Variância do dióxido de carbono intracelular (Ci) no ambiente 02

FV	GL	SQ	QM	F Calc	p-value
Tratamento	13	132456.92	10188.994	3.5639	0.0028**
Blocos	2	35301.49	17650.746	6.1739	0.0064
Resíduo	26	74332.27	2858.934	-	-
Total	41	242090.68	30698.674	-	-

** significativo ao nível de 0,05

Tabela 12. Análise de Variância da taxa de transpiração (Trmmol) no ambiente 01

FV	GL	SQ	QM	F Calc	p-value
Tratamento	13	3.4185	0.2630	3.8151	0.0018**
Blocos	2	0.7327	0.3664	5.315	0.0116
Resíduo	26	1.7921	0.0689	-	-
Total	41	5.9433	0.6983	-	-

** significativo ao nível de 0,05

Tabela 13. Análise de Variância da taxa de transpiração (Trmmol) no ambiente 02

FV	GL	SQ	QM	F Calc	p-value
Tratamento	13	6.5779	0.5060	46.9297	0.001**
Blocos	2	0.1597	0.0798	7.4053	0.0028
Resíduo	26	0.2803	0.0108	-	-
Total	41	7.0179	0.5966	-	-

** significativo ao nível de 0,05

Tabela 14. Análise de Variância da eficiência do uso da água (WUE) no ambiente 01

FV	GL	SQ	QM	F Calc	p-value
Tratamento	13	50.4386	3.8799	3.0121	0.0081**
Blocos	2	0.1771	0.0886	0.0688	0.9337
Resíduo	26	33.4912	1.2881	-	-
Total	41	84.1069	5.2566	-	-

** significativo ao nível de 0,05

Tabela 15. Análise de Variância da eficiência do uso da água (WUE) no ambiente 02

FV	GL	SQ	QM	F Calc	p-value
Tratamento	13	93.2838	7.1757	4.2476	0.001**
Blocos	2	7.6405	3.8203	2.2614	0.1243
Resíduo	26	43.9233	1.6894	-	-
Total	41	144.8476	12.6854	-	-

** significativo ao nível de 0,05

Tabela 16. Análise de Variância Área total de venação no ambiente 01

FV	GL	SQ	QM	F Calc	p-value
Tratamento	13	346538811	26656832	3.6956	0.0022**
Bloco	2	6137678	3068839	0.4255	0.6579
Resíduo	26	187540727	7213105	-	-
Total	41	540217216	36938776	-	-

** significativo ao nível de 0,05

Tabela 17. Análise de Variância Área total de venação no ambiente 02

FV	GL	SQ	QM	F Calc	p-value
Tratamento	13	189341685	14564745	2.1699	0.0449**
Bloco	2	3263314	1631657	0.2431	0.786
Resíduo	26	174513545	6712059	-	-
Total	41	367118544	22908461	-	-

** significativo ao nível de 0,05

Tabela 18. Análise de Variância porcentagem de área ocupada por venação no ambiente 01

FV	GL	SQ	QM	F Calc	p-value
Tratamento	13	1915609931	147354610	3.6956	0.0022**
Bloco	2	6137678	16963964	0.4255	0.6579
Resíduo	26	1036684774	39872491	-	-
Total	41	2958432383	36938776	-	-

** significativo ao nível de 0,05

Tabela 19. Análise de Variância porcentagem de área ocupada por venação no ambiente 02

FV	GL	SQ	QM	F Calc	p-value
Tratamento	13	1122686815	86360524	2.2975	0.0344**
Bloco	2	20588543	10294271	0.2739	0.7626
Resíduo	26	977298415	977298415	-	-
Total	41	2120573773	1073953210	-	-

** significativo ao nível de 0,05

Tabela 20. Análise de Variância número de estômatos no ambiente 01

FV	GL	SQ	QM	F Calc	p-value
Tratamento	13	231.3783	17.7983	3.4429	0.0035**
Bloco	2	12.3333	6.1667	1.1929	0.3194
Resíduo	26	134.4074	5.1695	-	-
Total	41	378.119	29.1345	-	-

** significativo ao nível de 0,05

Tabela 21. Análise de Variância número de estômatos no ambiente 02

FV	GL	SQ	QM	F Calc	p-value
Tratamento	13	309.5112	23.8086	3.052	0.0075**
Bloco	2	55.5278	27.7639	3.5591	0.043
Resíduo	26	202.8241	7.8009	-	-
Total	41	567.8631	59.3734	-	-

** significativo ao nível de 0,05

Tabela 22. Análise de Variância Área média de estômato no ambiente 01

FV	GL	SQ	QM	F Calc	p-value
Tratamento	13	32607194199	2508245708	6.2392	0.001**
Bloco	2	305060552	152530276	0.3794	0.688
Resíduo	26	10452394588	402015176	-	-
Total	41	43364649339	3062791160	-	-

** significativo ao nível de 0,05

Tabela 23. Análise de Variância Área média de estômato no ambiente 02

FV	GL	SQ	QM	F Calc	p-value
Tratamento	13	14445079689	1111159976	2.7602	0.0133**
Bloco	2	1872535485	936267743	2.3257	0.1177
Resíduo	26	10466865605	402571754	-	-
Total	41	4	3	-	-

** significativo ao nível de 0,05

Tabela 24. Análise de Variância largura média dos estômatos no ambiente 01

FV	GL	SQ	QM	F Calc	p-value
Tratamento	13	17154958.1	1319612.2	4.3547	0.001**
Bloco	2	681904.3	340952.1	1.1251	0.3399
Resíduo	26	7878808.3	303031.1	-	-
Total	41	25715670.7	1963595.4	-	-

** significativo ao nível de 0,05

Tabela 25. Análise de Variância largura média dos estômatos no ambiente 02

FV	GL	SQ	QM	F Calc	p-value
Tratamento	13	7478426	575263.6	2.6178	0.0178**
Bloco	2	1382471	691235.5	3.1455	0.0598
Resíduo	26	5713532	219751.2	-	-
Total	41	14574429	1486250.3	-	-

** significativo ao nível de 0,05

Tabela 26. Análise de Variância comprimento médio dos estômato no ambiente 01

FV	GL	SQ	QM	F Calc	p-value
Tratamento	13	20154872.0	1550374.77	2.3608	0.0302**
Bloco	2	121225.8	60612.92	0.0923	0.9121
Resíduo	26	17074252.2	656702.01	-	-
Total	41	25715670.7	1963595.4	-	-

** significativo ao nível de 0,05

Tabela 27. Análise de Variância comprimento médio dos estômato no ambiente 02

FV	GL	SQ	QM	F Calc	p-value
Tratamento	13	44974188	3459552.9	2.4921	0.023**
Bloco	2	1145214	572606.8	0.4125	0.6663
Resíduo	26	36094061	1388233,1	-	-
Total	41	82213463	5420392.8	-	-

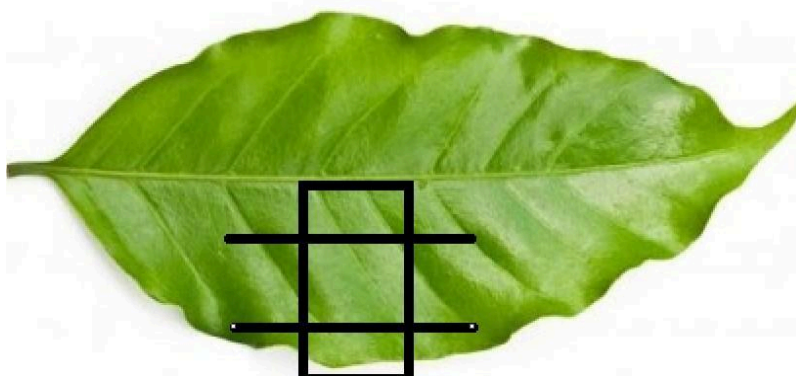
** significativo ao nível de 0,05

Figura 7. Posição na folha de café para a coleta de dados de clorofila



(Fonte: Autor)

Figura 8. Posição de corte na folha de café para quantificação dos estômatos e venação.



(Fonte: Autor)

Figura 5. Posição das folhas de café, para coleta das folhas.



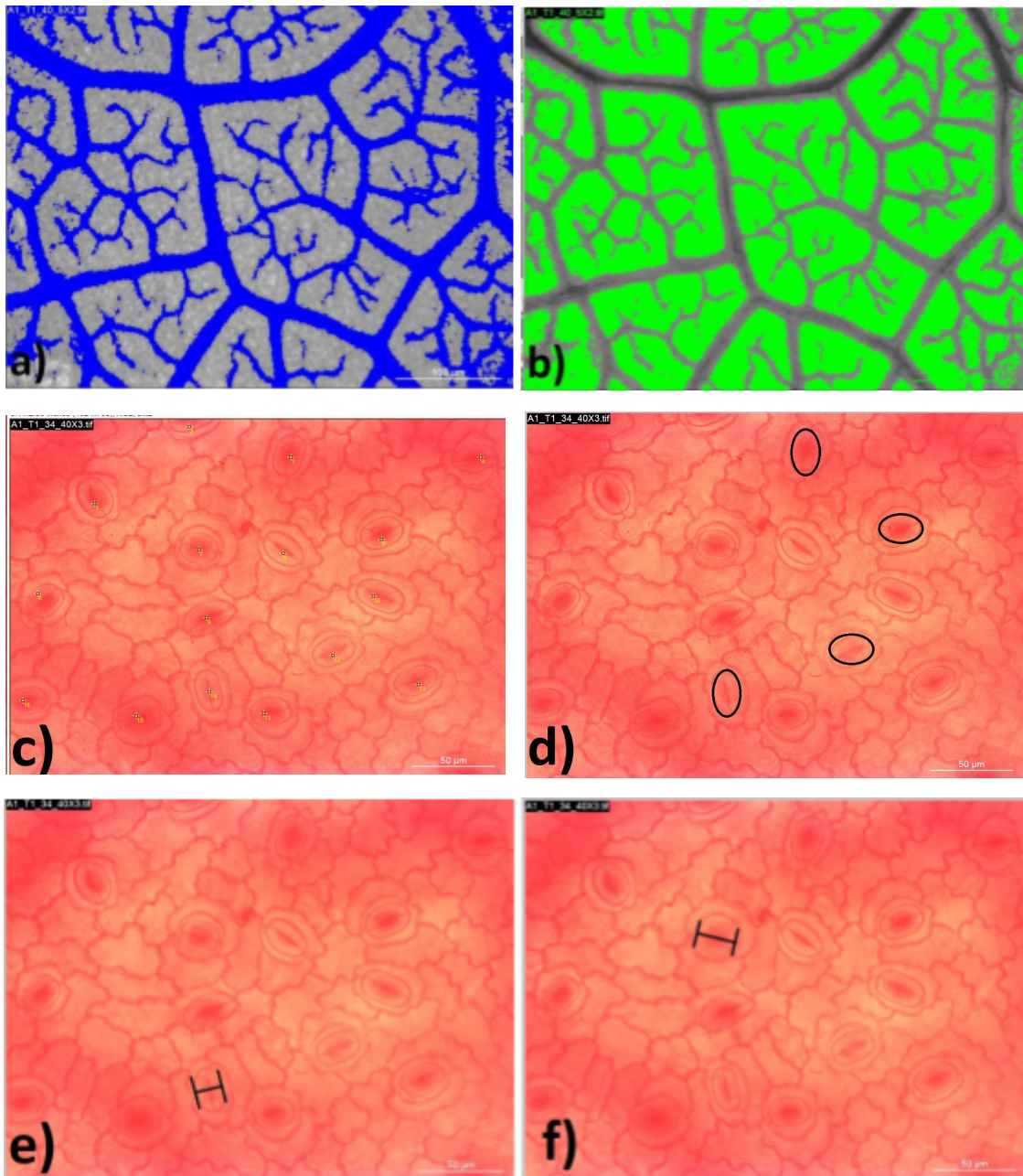
(Fonte: Autor)

Figura 6. Posição das folhas de café ao longo do pé, para coleta das folhas.



(Fonte: Autor)

Prancha histológica



a) Área total venação - 5X (μm^2); b) porcentagem área ocupada - 5X; c) Número de estômatos - 40X (50 μm); d) Área média de estômatos - 40X; e) largura média dos estômatos - 40X e f) comprimento médio dos estomas 40X.

Croqui das parcelas na área

ÁREA EXPERIMENTAL																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
BI I	16	13	8	10	6	12	17	19	18	20	11	7	3	14	9	4	1	15	5	2
BIII	14	19	16	13	1	8	7	18	1	2	17	10	2	4	9	29	6	3	11	5
BI III	12	3	1	15	11	14	19	20	6	18	2	4	13	10	7	16	9	17	8	5
BIIV	13	16	10	1	17	8	12	14	9	5	4	6	20	7	11	2	18	19	3	15

*Plantas marcadas em vermelho não fazem parte da progênie dos cruzamentos.

*Cada numeração acima corresponde a uma parcela que é formada por três plantas do mesmo genótipo.

Croqui da Identificação das plantas por placa (ID)

ÁREA EXPERIMENTAL																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
BI I		37		28	16; 17	34					31	20					1		13; 14	4
BIII	41			38	2	22	19										18	7; 8	32	
BI II	35			44; 45		42					5	10; 11	39	29						24
BIIV			30	3		23	36	40		15	12			21	33	6			9	43

*Cada numeração corresponde a uma planta dentro da parcela, por isso a presença de mais de um número no mesmo quadro.

Croqui de bordadura das plantas da progênie

ÁREA EXPERIMENTAL																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
BI I	xxx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xxx
BIII	xxx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xxx
BI III	xxx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xxx
BIIV	xxx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xXx	xxx
xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx

* Sendo x (minúsculo) plantas consideradas como bordadura.

** Sendo X (maiuscula) as plantas consideradas protegidas por bordadura.

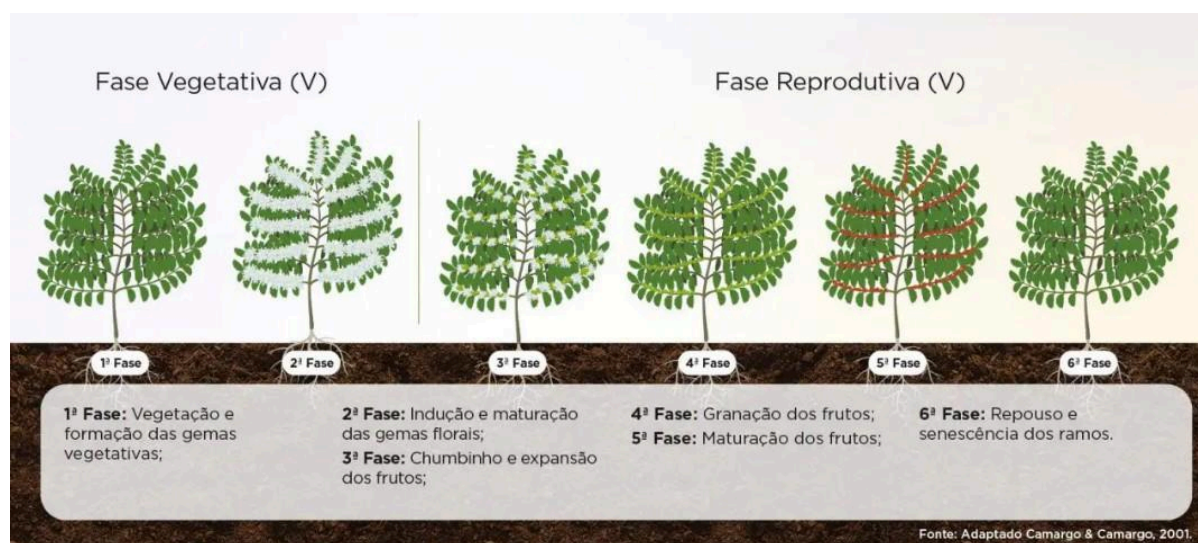
Distribuição das Plantas (ID) ao longo da área experimental, seu respectivo bloco e parcela.

Identificação dos genótipos			
ID	Genótipo	Bloco	Parcela
1	120 T	1	17
2	120 T	2	5
3	120 T	4	4
4	109 S	1	20
5	109 S	3	11
6	109 S	4	16
7	3 T	2	18
8	3 T	2	18
9	3 T	4	19
10	6 T	3	12
11	6 T	3	12
12	6 T	4	11
13	7 T	1	19
14	7 T	1	19
15	7 T	4	10
16	44 S	1	5
17	44 S	1	5
18	44 S	2	17
19	4 S	2	7
20	4 S	1	12
21	4 S	4	14
22	1 T	2	6
23	1 T	4	6
24	1T	3	19
28	40 S	1	4
29	40 S	3	14
30	40 S	4	2
31	2 S	1	11
32	2 S	2	19
33	2 S	4	15
34	50 T	1	6
35	50 T	3	1

Identificação dos genótipos			
ID	Genótipo	Bloco	Parcela
36	50 T	4	7
37	06 T	1	2
38	06 T	2	4
39	06 T	3	13
40	59 S	4	8
41	59 S	2	1
42	59 S	3	6
43	10 S	4	20
44	10 S	3	4
45	10 S	3	4

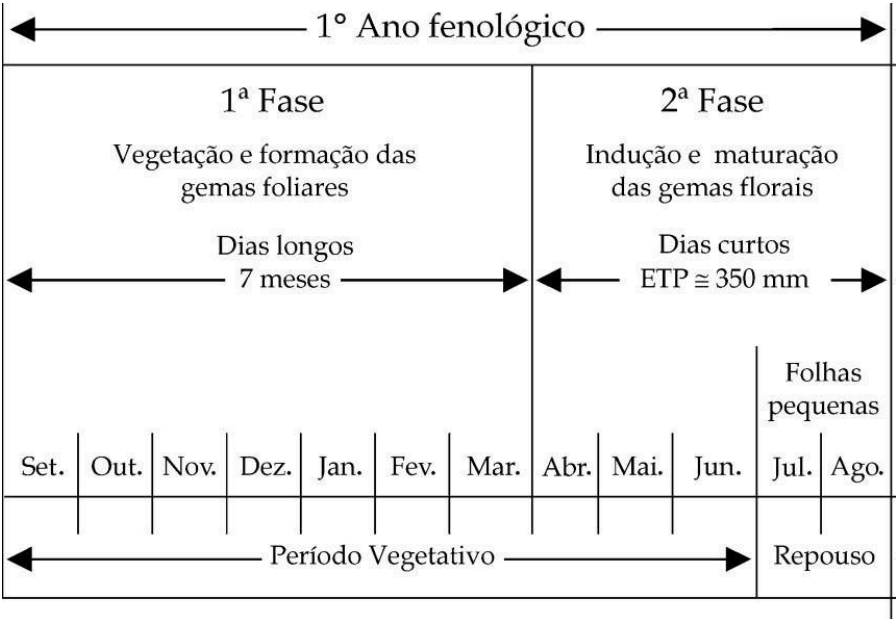
ANEXO

Figura 3. Fases Fenológicas do café.



(Fonte: Adaptado de Camargo & Camargo, 2001)

Figura 4. Esquematização das fases fenológicas nas condições climáticas tropicais do Brasil.



(Adaptado de CAMARGO & CAMARGO, 2001.)